

Caracterización de la
FERTILIDAD DE LOS SUELOS
de la **zona cafetera**
de Colombia

*Siavosh Sadeghian Khalajabadi
Luz Adriana Lince Salazar
Rubén Darío Medina Rivera
Luis Carlos Imbachí Quinchua*



Comité Nacional

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Germán Ávila Plazas

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Martha Viviana Carvajalino Villegas

Ministro de Comercio, Industria y Turismo (designada)
Diana Marcela Morales Rojas

Director del Departamento Nacional de Planeación
Natalia Irene Molina Posso

Asesor del Gobierno en Asuntos Cafeteros
Rogelio Andrés Rodríguez Castillo

REPRESENTANTES GREMIALES

Período 1° enero/2023 - 31 diciembre/2026

Jorge Alberto Posada Saldarriaga (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Danilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)

Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)

Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Carlos Sánchez Serrano (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General

Germán Alberto Bahamón Jaramillo

Gerente de Operaciones

Carlos Arturo Azuero Perdomo

Gerente Financiero y Recursos Organizacionales

Reynaldo Díaz Medina

Gerente Comercial

Esteban Ordoñez Simmonds

Gerente Técnico

Gerardo Montenegro Paz

Director Investigación Científica y Tecnológica

Álvaro León Gaitán Bustamante

Comité Editorial

Marco Aurelio Cristancho A.
Ph.D. Microbiólogo. Fitopatología, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

Aída Esther Peñuela M.
Ph.D. Ing. Alimentos. Poscosecha, Cenicafé

Diana María Molina V.
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión de textos
y corrección de estilo

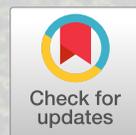
Sandra Milena Marín L.
M.Sc., Esp., Ing. Agrónoma. Divulgación y
Transferencia, Cenicafé

Diseño y diagramación
Luz Adriana Álvarez M.

Fotografías
Archivo Cenicafé

ISBN 978-958-8490-75-5 (en línea)

DOI (Digital Object Identifier) 10.38141/cenbook-0060
© FNC - Cenicafé - Fondo Nacional del Café
2025



Licencia Creative Commons CC de Atribución - sin
derivar - no comercial por la que este material puede
ser distribuido, copiado y exhibido por terceros solo si
se muestra en los créditos. No se puede realizar obras
derivadas y no se puede obtener ningún beneficio.



Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Autores

DISCIPLINA DE SUELOS

Siavosh Sadeghian Khalajabadi

Investigador Científico III
<https://orcid.org/0000-0003-1266-0885>

Luz Adriana Lince Salazar

Investigador Científico I (hasta marzo de
2025) orcid.org/0000-0003-4263-5357

DISCIPLINA DE BIOMETRÍA

Rubén Darío Medina Rivera

Investigador Científico II
<https://orcid.org/0000-0002-9753-9613>

Luis Carlos Imbachí Quinchua

Asistente de Investigación
<https://orcid.org/0000-0002-4356-694X>

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, CENICAFÉ

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (606) 8500707
www.cenicafe.org

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Página Contenido

- 4 **Introducción**
- 6 **Materiales y métodos**
- 8 **Caracterización de la fertilidad de los suelos por departamento**
- 9 **Glosario terminología suelos**
- 11 **Glosario de estadística**
- 13 **Literatura citada**

Catalogación en la publicación - *Biblioteca Nacional de Colombia*

Sadeghian Khalajabadi, autor

Caracterización de la fertilidad de los suelos de la zona cafetera de Colombia / Siavosh Sadeghian Khalajabadi [y otros tres]. -- Manizales, Caldas : Cenicafé, [2025].

Incluye datos curriculares del autor -- Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-958-8490-75-5 (PDF)

1. Fertilidad del suelo - Colombia 2. Café - Cultivo - Colombia
3. Suelos - Análisis - Colombia I. Lince Salazar, Luz Adriana, autora
II. Medina Rivera, Rubén Darío, autor III. Imbachí Quinchua, Luis Carlos, autor

CDD: 631.42209861 ed. 23

CO-BoBN- 00363

Este Libro es el resultado del proyecto de investigación **SUE02001 Caracterización regional de la fertilidad del suelo (2016-2023)** bajo el subprograma Fertilidad del suelo, financiado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) (Crossref Funder ID 100019597).

Citación sugerida:

Sadeghian, S., Lince-Salazar, L. A., Medina-Rivera, R., & Imbachí, L. C. (2025). *Caracterización de la fertilidad de los suelos de la zona cafetera de Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0060>



Introducción

La fertilidad del suelo puede definirse como **“la cualidad que le permite a un suelo proporcionar nutrientes en cantidades adecuadas y balanceadas para el crecimiento de plantas o cultivos específicos”** (Soil Science Society of America, 2008; Havlin et al., 2017). La fertilidad es uno de los componentes de la productividad general del suelo, que se ocupa del estado de la disponibilidad de los nutrientes y la capacidad para proporcionarlos a partir de sus propias reservas y de las aplicaciones externas para la producción de cultivos (Roy et al., 2006).

La fertilidad del suelo está determinada por la interacción de muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (**Tabla 1**), las cuales varían en el espacio y el tiempo, como respuesta a los factores y procesos de formación (Tomczyk et al., 2024). La variabilidad espacial puede darse a cortas y largas distancias, desde unos pocos centímetros hasta varios kilómetros; adicionalmente, la mayoría de estas propiedades cambian con la profundidad.

Dado el efecto que tiene la fertilidad del suelo en la productividad y la calidad de las cosechas, se hace necesario conocerla con el fin de realizar prácticas tendientes a mejorarla y mantenerla, y es por ello que la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) han llevado a cabo un número importante de estudios para conocer la fertilidad de los suelos de la zona cafetera de Colombia en diferentes niveles de detalle. Ejemplos de estos son: el trabajo desarrollado a escala departamental por Sadeghian



& Duque (2017), el cual sirvió de soporte para proponer formulaciones generales de fertilizantes; la caracterización realizada a escala municipal en los departamentos de Huila (Sadeghian et al., 2019) y Valle del Cauca (Patiño et al., 2007), y la identificación de la acidez en algunas regiones de Colombia (Sadeghian, 2016; Sadeghian, 2022).

Existen diferentes herramientas para evaluar la fertilidad del suelo, siendo el análisis químico la más estudiada y divulgada. Mediante éste se diagnostica la disponibilidad de los nutrientes y otras propiedades del suelo que afectan el crecimiento de las plantas; sin embargo, para que los resultados de los análisis de suelos sean útiles es necesario que las metodologías empleadas en el laboratorio correlacionen de manera confiable con la toma de los nutrientes; además, y para poder generar

una recomendación práctica en términos de la dosis del fertilizante, debe haberse calibrado la disponibilidad del nutriente en el suelo en función de la producción en el campo (Sadeghian, 2022).

A raíz de que la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) ha promovido el uso del análisis de suelos en las últimas cuatro décadas, **en la actualidad se cuenta con una base de datos con cerca de 350.000 registros históricos provenientes de 22 departamentos y 475 municipios**. Esta base de datos se utilizó para conocer la fertilidad de los suelos de la región cafetera del país y, se espera que los resultados presentados en este libro contribuyan, como punto de partida, para identificar tendencias generales de fertilidad por departamento y sean de utilidad en la planificación regional de los recursos.

Tabla 1. Factores que afectan la producción potencial de los cultivos. Tomado de Havlin et al. (2017).

Condición física	Propiedad química	Propiedad biológica
<p>Textura</p> <p>Profundidad efectiva</p> <p>Densidad aparente e infiltración</p> <p>Capacidad para retener agua</p> <p>Característica del agua retenida</p> <p>Contenido del agua</p> <p>Temperatura</p> <p>Topografía</p>	<p>Contenido total de carbono y nitrógeno</p> <p>pH</p> <p>Conductividad eléctrica</p> <p>Contenidos de macro y micronutrientes</p> <p>Contenido de elementos tóxicos</p>	<p>Biomasa microbiana</p> <p>Potencial de mineralización de nitrógeno y azufre</p> <p>Respiración del suelo</p> <p>Relación carbono de biomasa/ carbono orgánico total</p> <p>Relación respiración/biomasa</p>

Materiales y métodos

Base de datos

Entre los años 2016 y 2020 se colectó información de los resultados de análisis de suelos realizados desde el año 1989 en lotes destinados al cultivo de café en 22 departamentos de Colombia. Los resultados corresponden a muestras tomadas de 0 a 20 cm de profundidad y analizadas en los diferentes laboratorios del país con los métodos que se presentan en la **Tabla 2**. Las propiedades evaluadas incluyen: pH, materia orgánica (MO), fósforo disponible (P), bases intercambiables (calcio-Ca²⁺, magnesio-Mg²⁺ y potasio-K⁺), aluminio intercambiable (Al³⁺) y la clasificación textural. Adicionalmente, se calculó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), la suma de las bases intercambiables (SBI) y la saturación de Al³⁺ (SAI), mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{CICE} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Al}^{3+} <1>$$

$$\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} <2>$$

$$\text{SAI} = \text{Al}^{3+} \times 100/\text{CICE} <3>$$

Con esta información se construyó una base de datos, para cada departamento y municipio donde se habían llevado a cabo los muestreos. Posteriormente, se realizó una depuración de la base de datos, considerando como valores atípicos o extremos aquellos que no cumplen con los criterios de: 3,0<pH<7,5, MO≤30%, P≤500 mg kg⁻¹, Ca²⁺≤30 cmol_c kg⁻¹, Mg²⁺≤10 cmol_c kg⁻¹, K⁺≤5 cmol_c kg⁻¹ y Al³⁺≤10 cmol_c kg⁻¹. Por último, se retiraron de la base de datos aquellos municipios que contaban con menos de 25

registros; quedando de esta manera un total de **344.652 registros, correspondientes a 459 municipios**.

Tabla 2. Propiedades del suelo consideradas en el estudio y los respectivos métodos analíticos, descritos por el IGAC (2006).

Propiedad	Unidad	Método analítico
pH		Potenciométrico, relación suelo:agua desionizada 1:1 p/p
Materia orgánica	%	Walkley-Black y valoración por colorimetría a 585 nm
Fósforo-P	mg kg ⁻¹	Extracción con Bray II, coloración Bray-Kurtz y lectura por colorimetría a 660 nm
Potasio-K ⁺	cmol _c kg ⁻¹	Extracción con acetato de amonio 1 N a pH 7,0 y lectura por espectrofotometría de absorción atómica
Calcio-Ca ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	
Magnesio-Mg ²⁺	cmol _c kg ⁻¹	Extracción con KCl 1 N y valoración por espectrofotometría de absorción atómica
Aluminio-Al ³⁺	cmol _c kg ⁻¹	
Textura		Al tacto o por Bouyucos

Análisis de datos

Para cada departamento y municipio se estimaron el promedio, mediana, mínimo, máximo y coeficiente de variación, de las propiedades químicas del suelo, así como la frecuencia relativa de los datos en los diferentes rangos de fertilidad según la calibración para el cultivo de café en Colombia (**Tabla 3**). Además, se estimaron las frecuencias de los datos en el rango considerado de baja fertilidad para café en Colombia: pH≤5,0, MO≤8,0%,

Tabla 3. Clasificación de rangos de fertilidad del suelo para el cultivo de café en Colombia. Adaptado de Sadeghian (2018).

Propiedad	Unidad	Bajo	Medio	Alto
pH	Adimensional	< 5,0	5,0 – 5,5	> 5,5
Materia orgánica (MO)	%	< 8,0	8,0 – 16,0	> 16,0
Fósforo (P)	mg kg ⁻¹	< 10	10,0 – 20,0	> 20,0
Potasio (K ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	< 0,2	0,2 – 0,4	> 0,4
Calcio (Ca ²⁺)	cmol _c kg ⁻¹	< 1,5	1,5 – 3,0	> 3,0
Magnesio (Mg ²⁺)	cmol _c kg ⁻¹	< 0,6	0,6 – 0,9	> 0,9
Aluminio (Al ³⁺)	cmol _c kg ⁻¹	< 0,5	0,5 – 1,0	> 1,0
CICE	cmol _c kg ⁻¹	< 3,0	3,0 – 6,0	> 6,0
Saturación de aluminio	%	< 15,0	15,0 – 30,0	> 30,0

$P \leq 10$ mg kg⁻¹, $Ca^{2+} \leq 1,5$ cmol_c kg⁻¹, $Mg^{2+} \leq 0,6$ cmol_c kg⁻¹, $K^+ \leq 0,2$ cmol_c kg⁻¹, $Al^{3+} > 1,0$ cmol_c kg⁻¹, $CICE^+ \leq 4,5$ cmol_c kg⁻¹, $SBI \leq 3,0$ cmol_c kg⁻¹, $SAI > 40\%$ y texturas arenosas, arcillosas y limosas (adaptado de Sadeghian, 2018). En cuanto a la textura, se determinó la frecuencia en cada clase: arenosa (A), limosa (L), arcillosa (Ar), franca (F), franco arcillosa (FAr), franco arenosa (FA), franco arcillo arenosa (FArA), franco arcillo limosa (FArL), franco limosa (FL), arenoso franca (AF), arcillo arenosa (ArA) y arcillo limosa (ArL). Se definió a las texturas arenosas, arcillosas o limosas como las más críticas. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software SAS v9.4.

Por último, para cada departamento se agruparon los municipios según el grado de similitud entre sus propiedades edáficas. Lo anterior se logró a través de un análisis de conglomerado no supervisado (análisis jerárquico), mediante el método de agrupación McQuitty con distancia euclidea.

Los departamentos con información de menos de cuatro municipios fueron excluidos de este análisis.

Mapas de fertilidad

Soportado en la información correspondiente a la frecuencia de muestras en el rango de baja fertilidad de los municipios se elaboraron para cada departamento mapas de cada propiedad del suelo. De modo similar, se generó un mapa con la agrupación de los municipios, según el grado de similitud entre sus propiedades.

Presentación de la información

La información resultante se presenta en formato digital, en orden alfabético correspondiente al nombre del departamento. Todos los departamentos conservan una estructura de edición similar, con el fin de facilitar la consulta de información específica.

Caracterización de la fertilidad de los suelos por departamento

A continuación encontrará, en orden alfabético, los departamentos de la **zona cafetera de Colombia** a los que se realizó la **caracterización de la fertilidad de los suelos**, lo invitamos a hacer clic en el departamento de su interés para conocer más información al respecto:



ANTIOQUIA  Ver pdf	BOLÍVAR  Ver pdf	BOYACÁ  Ver pdf	CALDAS  Ver pdf	CAQUETÁ  Ver pdf	CASANARE  Ver pdf	CAUCA  Ver pdf
CESAR  Ver pdf	CUNDINAMARCA  Ver pdf	HUILA  Ver pdf	LA GUAJIRA  Ver pdf	MAGDALENA  Ver pdf	META  Ver pdf	NARIÑO  Ver pdf
NORTE DE SANTANDER  Ver pdf	PUTUMAYO  Ver pdf	QUINDÍO  Ver pdf	RISARALDA  Ver pdf	SANTANDER  Ver pdf	TOLIMA  Ver pdf	VALLE DEL CAUCA  Ver pdf

Glosario terminología suelos

Acidez activa	La actividad de los iones de hidrógeno en la fase acuosa de un suelo. Se mide y se expresa como un valor de pH.
Acidez intercambiable	Representada principalmente por el aluminio (Al^{3+}), retenido en las cargas negativas de los coloides del suelo, mediante fuerzas electrostáticas.
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Suma total de cationes intercambiables que un suelo puede adsorber. Expresado en centimoles de carga por kilogramo ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) de suelo.
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)	La cantidad de cargas catiónicas que un material (generalmente suelo o coloides del suelo) puede contener al pH del material, medida como la suma de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y Al^{3+} intercambiables, expresada como moles o centimol de carga por kilogramo de material.
Catión	Un ion cargado positivamente que durante la electrólisis es atraído por el cátodo cargado negativamente.
Complejo de cambio	Conjunto de coloides dotados de cargas negativas capaces de retener o adsorber iones de cambio en el suelo.
Fertilidad del suelo	Cualidad de un suelo para proporcionar elementos químicos esenciales que demanda una especie/cultivo en particular, para su crecimiento, en cantidades adecuadas y balanceadas.
Macronutrientes	Nutrientes que son requeridos por las plantas en cantidades relativamente grandes. Se incluyen N, P, K, Ca, Mg y S.
Macronutrientes primarios	Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K).
Macronutrientes secundarios	Calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S).

Materia orgánica del suelo

La fracción orgánica del suelo que incluye residuos vegetales, animales y microbianos, en diversas etapas de descomposición, biomasa de microorganismos del suelo y sustancias producidas por las raíces de las plantas y otros organismos del suelo. Se determina comúnmente como el carbono orgánico total en una muestra de suelo que se pasa a través de un tamiz de 2 mm.

Micronutriente

Nutrientes que son requeridos en cantidades pequeñas por las plantas, principalmente hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

Nutrientes minerales

Aquellos nutrientes que se toman en forma inorgánica y cuyo origen es principalmente el suelo.

Nutrientes

Elementos químicos que son absolutamente esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Porcentaje de saturación de aluminio (SAI)

Proporción que ocupa el aluminio en el complejo de intercambio, expresada en porcentaje:

$$\text{SAI} = \frac{\text{Aluminio intercambiable (cmol}_c \text{ kg}^{-1})}{\text{Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol}_c \text{ kg}^{-1})} \times 100$$

Relación calcio magnesio (Ca/Mg)

La disponibilidad de Ca y Mg para las plantas, además de sus contenidos en la fase intercambiable y en la solución del suelo, puede estar influenciada por la proporción relativa de estos dos elementos. Esto, debido a la competencia entre estos dos nutrientes. Relaciones de Ca/Mg menores que 1,0 (Ca menor que magnesio) pueden generar deficiencias de Ca para las plantas, y relaciones mayores que 6,0, deficiencias de Mg.

Suelo

Cuerpo natural dinámico compuesto de minerales y sólidos orgánicos, gases, líquidos y organismos vivos que pueden servir como medio para el crecimiento de las plantas.

Textura del suelo

Proporciones relativas de arenas, limos y arcillas.

Glosario de estadística

Análisis de componentes principales

Técnica aplicada para reducir la dimensión del espacio de análisis de un conjunto de datos multivariado, además de extraer características importantes y permitir la visualización de la información.

Análisis de conglomerado (análisis cluster)

Técnica de análisis multivariado que busca la agrupación natural de individuos en grupos o conglomerados. Existen diferentes métodos de agrupación, la mayoría de estos dependen de la determinación de una métrica o regla que establece la proximidad, homogeneidad o cercanía de los individuos.

Análisis multivariado

Conjunto de técnicas estadísticas que se centra en el análisis simultáneo de variables. Si el análisis se centra en una sola variable, se denomina análisis univariado.

Base de datos

Colección organizada de datos con un orden y estructura en la cual se define el nivel de agregación de los datos.

Coefficiente de variación (CV)

Medida de variabilidad relativa que se obtiene como la razón entre la desviación típica y el promedio de una variable, por lo general se expresa como un porcentaje. Comúnmente, un CV igual o menor a 30, indica baja variabilidad relativa, lo que sugiere que los datos son más homogéneos. Esta medida es útil para comparar la variabilidad entre conjuntos de datos con escalas o unidades diferentes.

Correlación lineal

Medida que corresponde a la fuerza de la relación lineal existente entre dos variables o atributos.

Dato

Respuesta a una medición expresado como un atributo (dato cualitativo) o una cantidad numérica (dato cuantitativo).

Dendrograma

Es una representación gráfica en forma de árbol que muestra las relaciones jerárquicas entre objetos o grupos, basada en su similitud. Es comúnmente utilizado en análisis de agrupamiento jerárquico para visualizar cómo los elementos se agrupan de manera progresiva. Cada rama representa un clúster, y la altura de las uniones entre ramas (*Height*) indica el nivel de similitud o distancia en el que los elementos o grupos se fusionan.

Desviación típica o estándar	Equivale a la raíz cuadrada positiva de la varianza y representa la dispersión de un conjunto de datos con respecto a la media de los mismos. No debe confundirse con la desviación cuadrada media.
Distancia euclidiana	Medición que corresponde a la distancia entre dos puntos en un segmento en línea recta.
Estadística descriptiva	Forma en la cual se denotan los métodos estadísticos que corresponden al cálculo de medidas para la descripción de un conjunto de datos sin llegar al análisis de probabilidades o a un nivel inferencial para la interpretación.
Frecuencia	Número de veces que se presenta un dato en un conjunto de registros.
Máximo observado	Valor más grande entre los datos obtenidos en la medición de una variable numérica.
Mediana	Medida de centralidad que corresponde al valor que divide la distribución de la variable en dos partes iguales, después de ordenar todos los datos desde el mínimo hasta el máximo observado.
Métodos jerárquicos	Métodos estadísticos basados en la matriz de distancias o similitudes entre los elementos de una muestra y establecen una jerarquía a partir de estas distancias.
Mínimo observado	Valor más pequeño entre los datos obtenidos en la medición de una variable numérica.
Regresión	Ecuación que representa la relación entre una variable dependiente (explicada) en función de una o un conjunto de variables independientes (explicativas). Generalmente se usa para estimar el comportamiento de la variable explicada a partir del conocimiento de las variables explicativas. Este tipo de funciones pueden ser lineales o no lineales.
Valor centroide	El centroide o centro geométrico corresponde a la posición de la media aritmética calculada entre todos los puntos de una figura, plano o superficie.
Variable	Característica medible o atributo que se mide a un objeto o individuo.

Literatura citada

- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers : an introduction to nutrient management*. (8a ed.). Pearson.
- Hoosbeek, M. R. (1998). Incorporating scale into spatio-temporal variability: Applications to soil quality and yield data. *Geoderma*, 85(2), 113–131. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00016-0)
- Patiño, M. A., Sadeghian, S., & Montoya, E. C. (2007). *Caracterización de la fertilidad de los suelos de la zona cafetera del Valle del Cauca*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0030>
- Roy, R. N., Finck, A., Blair, G. J., & Tandon, H. L. (2006). *Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Sadeghian, S. (2022). *Nutrición de café. Consideraciones para el manejo de la fertilidad del suelo*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0017>
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo una limitante común para la producción de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 466, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0466>
- Sadeghian, S., Alarcón, V. F., Díaz-Poveda, V., Lince-Salazar, L. A., & Rey-Sandoval, J. C. (2019). Fertilidad del suelo y manejo de la nutrición. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 80–105). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_4
- Sadeghian, S., & Duque, H. (2017). Formulaciones generales de fertilizantes: alternativas para una nutrición balanceada de los cafetales en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 483, 1–4. <https://doi.org/10.38141/10779/0483>
- Soil Science Society of America. (2008). *Glossary of Soil Science Terms 2008*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/2008.glossarysoilscienceterms>
- Wilding, L., & Drees, L. R. (1983). Spatial Variability and Pedology. En L. P. Wilding, N. E. Smeck, & G. F. Hall (Eds.), *Developments in Soil Science* (Vol. 11, pp. 83–116). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70599-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70599-3)