

**Evaluación de la calidad del suelo en cultivos de *Coffea arabica* L. Var. Caturra,
en tratamientos de fertilización orgánica y convencional en Pitalito Huila.**

Ivan Rene Ortiz Molina y Milton Alexander Pérez Pérez

Proyecto De Grado Presentado Para Optar Por El Título De

Agrónomo

Director

Mg. Oscar Eduardo Valbuena Calderón

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia – UNAD

Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias Y Del Medio Ambiente ECAPMA

Programa Agronomía

CEAD Pitalito

2016

DEDICATORIA

Darle las gracias a Dios, como a nuestras familias, Ortiz Molina y Pérez Pérez, en el caso específico de Perez Perez esposa e hijos que concedieron el tiempo para realizar los estudios correspondientes en los ámbitos académicos que llevaron al logro como a la culminación del trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Como primero agradecer a Dios por permitirnos culminar con este proceso académico.

Al Magister Oscar Eduardo Valbuena Calderón, por ser el Director como el acompañante permanente en el proceso de investigación que culmina con un producto que servirá como orientación a los agricultores de la zona

A las Doctoras Nelly María Méndez Pedroza y Marta Vinazo quienes fueron el soporte académico dentro de la Universidad, Cead Pitalito.

A nuestros compañeros como amigos de estudios por su colaboración: Jaime Humberto Barrios Rodríguez, Linda Lucia Rojas Gómez. Paola Andrea Paladinez y Carolina Chilito

Al propietario del predio donde se realizó la investigación Daniel Santofimio Quiroga su esposa como hijos por su colaboración e integración al proyecto.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia Unad, Cead Pitalito, Escuela de ciencias pecuarias y de medio ambiente por sus valiosos aportes para el desarrollo de la investigación. En infraestructura y personal académico.

A los Ingenieros William Ignacio Montealegre, Luis Herney Salazar Nieto, Martha Adriana Peña Torres, Laura Cuellar y a los colaboradores de laboratorios Paola Andrea Canencio como al sinnúmero de compañeros que contribuyeron con la formación profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
2.	PLANTIAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
3.	ANTECEDENTES.....	12
4.	JUSTIFICACION.....	13
5.	OBJETIVOS.....	15
1.	OBJETIVO GENERAL.....	15
2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
6.	HIPÓTESIS.....	16
7.	MARCO DE REFERENCIA.....	17
8.	MARCO TEORICO.....	18
1.	Índice de calidad de suelo.....	18
9.	MARCO CONTEXTUAL.....	20
10.	MARCO CONCEPTUAL.....	21
1.	Indicadores físicos.....	23
2.	Indicadores químicos.....	23
3.	Importancia de la materia organica como indicador de calidad de suelo.....	24
11.	MARCO LEGAL.....	26
12.	METODOLOGIA.....	28
1.	Condiciones climáticas.....	28
13.	METODOLOGIA DE MUESTREO.....	29
14.	PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS DEL SUELO.....	30
1.	Procesos de laboratorios físicos y químicos.....	31
2.	Diseño experimental.....	32
3.	Procesamiento de la información y análisis de datos.....	32
4.	Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) y Análisis estadístico.....	34
15.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
1.	Relación entre los esquemas de manejo y el ICSA.....	40
16.	CONCLUSIONES.....	42

17. BIBLIOGRAFÍA..... 44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de la formulación del problema.	12
Figura 2 Ubicación del área de estudio - Mapa político Pitalito.....	20
Figura 3 Distribución de los lotes.	28
Figura 4 Toma de muestras en campo.	29
Figura 5 Procesos físicos y químicos en laboratorio.....	31
Figura 6 Procesos físicos y químicos en laboratorio.....	32

INDICE DE TABLAS

Cuadro 1 Promedios de los indicadores físicos y químicos de suelos en el cultivo de café (<i>Coffea arabica L.</i>) variedad caturra con un manejo de fertilización orgánico y convencional en Pitalito Huila	37
Cuadro 2 Resultados de Análisis de Componentes Principales de indicadores de calidad de suelos en cultivos de café (<i>Coffea arabica L.</i>) variedad caturra con un manejo de fertilización orgánico y convencional en Pitalito Huila	39
Cuadro 3 Sumatoria de variables del análisis de componentes principales para obtener el ICSA	39
Cuadro 4 Cuadro 4. Análisis del índice de calidad de suelo aditivo en el cual podemos determinar la calidad de suelo que tenemos con los datos obtenidos en el conjunto mínimo de datos (CMD).....	40

RESUMEN

Evaluación de la calidad del suelo en cultivos de *Coffea arabica* L. Var. Caturra, en tratamientos de fertilización orgánica y convencional en Pitalito, Huila. El objetivo de este trabajo fue establecer el Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) en tratamientos de fertilización orgánica y convencional en cultivos de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra en una finca demostrativa en Pitalito Huila. El estudio se llevó a cabo durante el año 2015. Se realizó un análisis de varianza ANAVA con el programa infoestat estudiantil versión 2014 y además se realizó la separación de las medias mediante la prueba de LSD Fisher ($P < 0.05$) a cada una de las variables físicas y químicas del suelo. El ICSA se obtuvo a partir de la sumatoria de todos los ICS de todos los indicadores, teniendo en cuenta que entre mayor sea el valor del ICSA mejor es la calidad del suelo del sistema en estudio. Las variables físicas seleccionadas fueron Arena y Arcilla, y las variables químicas, carbono orgánico (C.O.), P, Ca, Mg, bases totales (BT) y Ca/Mg obteniéndose ICSA mejor para el manejo orgánico y convencional.

Palabras claves: Índice Calidad de Suelo Aditivo, suelo, indicadores.

ABSTRACT

Assessment of soil quality in crops of *Coffea arabica* L. var. Caturra, in the treatment of organic and conventional fertilization in Pitalito, Huila. The aim of this study was to establish the Soil Quality Index Additive (ICSA) in the treatment of organic and conventional fertilization on crop coffee (*Coffea arabica* L.) variety caturra in a demonstration farm in Pitalito Huila. The study was conducted during 2015. ANOVA analysis of variance with the student version infoestat 2014 program was conducted and also the mean separation was performed using Fisher LSD test ($P < 0.05$) to each of the physical and chemical soil variables. The ICSA is obtained from

the sum of all ICS of all indicators, considering that the value of the ICSA the higher the better the soil quality of the system under study. Selected physical variables were sand, clay and chemical, organic carbon (OC), P, Ca, Mg, total bases (BT) and Ca / Mg obtained ICSA best for organic and conventional management.

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de calidad de suelos está estrechamente relacionada con la capacidad de proveer las condiciones para un buen desarrollo del ecosistema (Idowu et al., 2009). Existe una fuerte tendencia a desbalancear la estabilidad integral de los suelos, debido a que las tecnologías de producción intensivas, disminuyen directamente la calidad del suelo, puesto que afectan negativamente las propiedades físicas y químicas del mismo, reduciendo su calidad en el mediano plazo (FNC, 2012), especialmente por la fragilidad de la que son propios los ecosistemas intervenidos, puesto que las plantaciones de café están ubicadas en el Macizo Colombiano - Reserva de la Biósfera y catalogado como un Zona Estratégica del planeta (PNN, 2009).

En el Municipio de Pitalito entre el 2008 y 2012, el área con cafetales establecidos pasó de 11.725 a 15.477, es decir un aumento del 32% en tan solo tres (3) años; siendo reconocido como el Municipio con mayor producción a nivel nacional y con una tendencia de incremento (FNC, 2013). Este auge se presenta debido a la implementación de tecnologías de producción intensivas recomendadas por la Federación Nacional de Cafeteros en los sistemas de producción de café (*Coffea arabica L*), lo cual puede incrementar el rendimiento en producción.

2. PLANTIAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Municipio de Pitalito entre el 2008 y 2012, el área con cafetales establecidos pasó de 11.725 a 15.477, es decir un aumento del 32% en tan solo tres (3) años; siendo reconocido como el Municipio con mayor producción a nivel nacional y con una tendencia de incremento (FNC, 2013). Este auge se presenta debido a la implementación de tecnologías de producción intensivas recomendadas por la Federación Nacional de Cafeteros en los sistemas de producción de café (*Coffea arabica L*), lo cual puede incrementar el rendimiento en producción.

Sin embargo, aunque las cifras siguen en aumento, la implementación de sistemas tecnificados con tecnologías intensivas de producción, ha generado también impactos negativos, debido a que en la mayor parte de las zonas productoras se manejan cultivos a libre exposición de manera frecuente, exponiendo los suelos a los factores erosivos del ambiente (Sadeghian, 2010).

Existe una fuerte tendencia a desbalancear la estabilidad integral de los suelos, debido a que las tecnologías de producción intensivas, disminuyen directamente la calidad del suelo, puesto que afectan negativamente las propiedades físicas y químicas del mismo, reduciendo su calidad en el mediano plazo (FNC, 2012), especialmente por la fragilidad de la que son propios los ecosistemas intervenidos, puesto que las plantaciones de café están ubicadas en el Macizo Colombiano - Reserva de la Biósfera y catalogado como un Zona Estratégica del planeta (PNN, 2009).

Dentro de las principales características físicas y químicas afectadas, algunas de largo, corto y mediano plazo, se encuentran la compactación, acidificación, y pérdida de

materia orgánica (Sadeghian, 2010), originando la disminución de coloides en el suelo, baja capacidad de intercambio catiónico y baja disponibilidad de nutrientes esenciales para el aprovechamiento de las plantas, disminuyendo de esta manera el rendimiento de producción por hectárea de café, lo cual plantea un sistema productivo insostenible en el mediano plazo.

3. ANTECEDENTES

El estudio se realizó en Pitalito-Huila, primer productor de café en Colombia y con más de 15.000 familias que dependen directamente del él. Los lotes muestreados se ubicaron en la vereda Betania del municipio de Pitalito Huila, la cual está ubicada cerca de la Biofábricas pertenecientes al proyecto de gestión de residuos sólidos de EMPITALITO E.S.P., en donde se produce abono orgánico según las características del Instituto Colombiano Agropecuario. Los 3 tratamientos seleccionados corresponden a 1 nivel de fertilización orgánica, 1 nivel de fertilización orgánico-mineral y 1 nivel de fertilización química recomendado por Federación Nacional de Cafeteros, para lo cual se realizarán 5 repeticiones en dos lotes y 4 repeticiones en uno de los tratamientos: en el mes 1 se realizara el muestreo es decir 14 lotes muestreados en donde se realizarán 14 análisis físico-químicos completos en total, de 21 variables cada uno, lo cual permitirá establecer los índices adecuados para la evaluación.

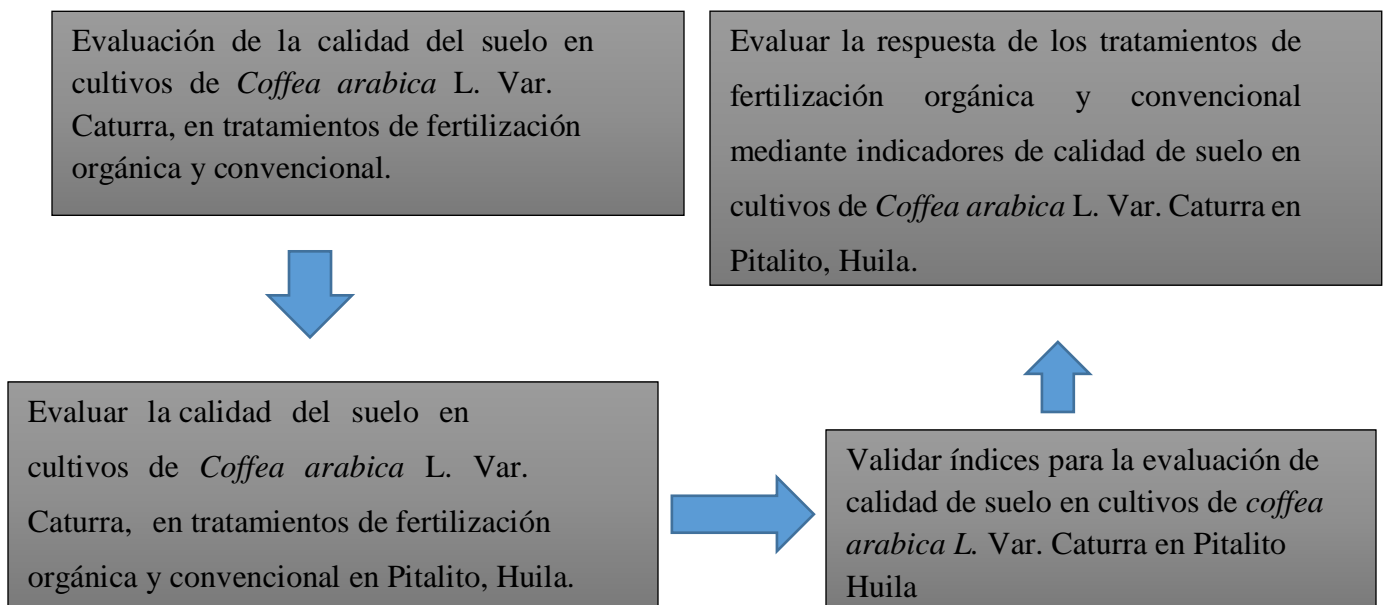


Figura 1 Esquema de la formulación del problema.

4. JUSTIFICACION

Políticas internacionales como garantizar la sostenibilidad ambiental (Objetivo del Milenio 7), nacionales gubernamentales como la Locomotora Biodiversidad, y no gubernamentales (iniciativas de ONG's), privadas gremiales y sectoriales, y en concordancia las políticas regionales de Huila Competitivo, y locales para el Municipio de Pitalito (Café, impulso Laboyano), se encuentran concebidos los conceptos de sostenibilidad de los sistemas de producción del sector primario y extractivo, especialmente el recurso suelo, por su alta importancia en términos de funciones para operatividad en los sistemas de producción agrícola, en este caso el cultivo de café (ONU, 2000; PND, 2010; Gobernación del Huila, 2009; PMD, 2012).

Debido a que el Municipio de Pitalito es el mayor productor de café en Colombia (FNC,2013), en donde más de quince mil (15.000) familias dependen económicamente de manera directa de este cultivo, es imperativo realizar investigaciones que permitan garantizar la sostenibilidad de los sistemas de producción cafetalero, pues se generará un impacto positivo a nivel ambiental y económico. Al evaluar la calidad de suelo entre dos tratamientos de fertilización para cultivos de café, se dará respuesta a sectores como: instituciones, academia, técnico, científico y productivo, para identificar las prácticas que puedan garantizar la sostenibilidad de los suelos.

Es así que se pretende validar índices de calidad de suelo y así establecer los rangos adecuados de evaluación que permitan determinar la calidad del suelo en función de los tratamientos de fertilización implementados, proponiendo de esta manera la necesidad de

encontrar alternativas al continuo deterioro de este fundamental recurso para el desarrollo sustentable de los sistemas de producción de café.

5. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del suelo en cultivos de *Coffea arabica* L. Var. Caturra, en tratamientos de fertilización orgánica y convencional en Pitalito, Huila

2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Evaluar la respuesta de los tratamientos de fertilización orgánica y convencional mediante indicadores de calidad de suelo en cultivos de *Coffea arabica* L. Var. Caturra en Pitalito, Huila.

Validar índices para la evaluación de calidad de suelo en cultivos de *Coffea arabica* L. Var. Caturra en Pitalito, Huila.

6. HIPÓTESIS

Tras la realización de este estudio de investigación se espera evaluar la calidad del suelo mediante el uso de indicadores e índices de calidad que permitan establecer los componentes más relevantes sobre la calidad o salud del suelo, con la impresión de tratamientos de fertilización ricos en materia orgánica como variables independientes para el experimento.

Se espera informar a la comunidad científica, técnica y a nivel de productores, las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de fertilización sobre la economía del cultivo y la valoración ambiental que se tiene al conservar y recuperar el recurso suelo, como capital de trabajo para los productores en el largo plazo. Esta información será transmitida mediante un evento de transferencia tecnológica, con la presentación de una cartilla de resultados impresa.

7. MARCO DE REFERENCIA

El recurso suelo es fundamental para la sostenibilidad de los agroecosistemas porque cumple tres funciones esenciales: actúa como medio para el crecimiento de plantas y desarrollo de la actividad biológica, regula la reserva y flujo de agua, y degrada compuestos contaminantes para el ambiente (Larson y Pierce 1994). El concepto de calidad de suelos se define con base en las diferentes facetas de esas tres funciones del suelo como: la capacidad del suelo para funcionar en un ecosistema, para mantener y mejorar la productividad biológica, la calidad ambiental y la salud de plantas y animales (Doran y Parkin 1994)

La calidad del suelo es el estado de existencia de un suelo relativo a un estándar, o en términos de un grado de excelencia, siendo un componente crítico de la agricultura sostenible. Teniendo en cuenta que el término Calidad del Suelo es relativamente nuevo, es bien sabido que los suelos varían en calidad y que esta cambia en respuesta a uso y manejo que se implemente. El sistema suelo se caracteriza por atributos que varían entre límites específicos y se interrelacionan funcionalmente, de tal manera que estos atributos pueden ser utilizados para cuantificar la calidad del suelo (Larson y Pierce 1994).

El término Calidad del Suelo también conocido como Salud del Suelo, es utilizado por varios autores como equivalentes, pero no siempre como sinónimos pues incluyen los mismos componentes: productividad, ambiente y salud. En este trabajo se utiliza el término “calidad de suelos” porque se asocia más con la capacidad productiva de un suelo para un uso específico (Doran y Zeiss 2000) y describe características físicas, químicas y su relación con los componentes del agroecosistemas.

8. MARCO TEORICO

1. *Índice de calidad de suelo*

Desde el inicio de la preocupación de la sociedad científica para analizar la disminución en la calidad del suelo, todavía no hay criterios universales para evaluar los cambios puntuales que ahí ocurren. Para poner este concepto en funcionamiento, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo, también conocidas como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Bautista *et. al.*, 2004).

Para que las variables/propiedades físicas y químicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones (Doran y Parkin, 1994): describir los procesos del ecosistema, integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir, ser sensitivas a variaciones de clima y manejo, ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo, ser reproducibles, ser fáciles de entender, ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Existen diferentes criterios para elegir los indicadores de calidad de suelos más adecuados. En general, se deben seguir cinco (5) criterios: que los indicadores sean sensitivos a variaciones en el manejo, que estén correlacionados con las funciones del suelo, que sean útiles para esclarecer procesos del agroecosistema, que sean útiles y comprensibles para los que manejan el suelo, y que sean fáciles y accesibles de medir (Doran y Zeiss 2000). También hay que considerar que se pueden usar indicadores que no

sean tan precisos pero que la información que proporcionen sea generalizable y pueda ser extrapolada a diferentes escalas o regiones (Karlen et al. 1997).

Debido a que existen muchas propiedades para evaluar la calidad del suelo, y que estas pueden variar significativamente de en cada sitio dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo, las más comúnmente utilizadas como indicadores Físicos son: Densidad aparente, Estructura, Textura y Resistencia a la Penetración; y Químicos: pH, Acidez, Ca, Mg, K, P, Cu, Mn, Zn, Fe, C total, N total, C/N, Capacidad de Intercambio Cationico y Materia Orgánica (Cerda, *et. al.*, 2012), (Cantú, *et. al.*, 2007), Larson y Pierce (1991) y Doran y Parkin (1994).

9. MARCO CONTEXTUAL

Área de ubicación del estudio y caracterización agroecológica.

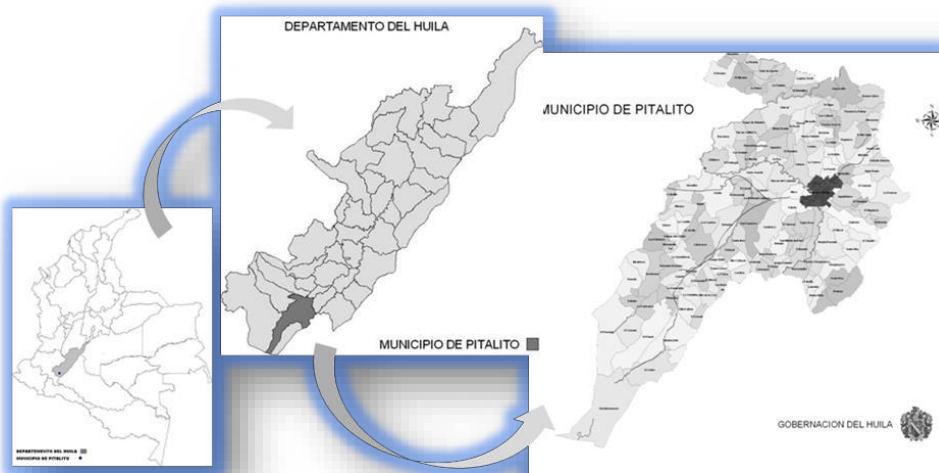


Figura 2 Ubicación del área de estudio - Mapa político Pitalito

El estudio se desarrolló en cultivos de café localizados en el Municipio de Pitalito – Huila, con alturas que varían desde los 1360 - 1740 m.s.n.m, en condiciones de pendiente moderada del 20-30%, y características agroclimáticas especiales para la producción cafetera; precipitación media anual de 1300 mm, temperatura promedio de 20 °C, promedio de luz al día de 8 horas y humedad relativa del 85%.(Velásquez 2004).

10. MARCO CONCEPTUAL

Aunque existen diversas metodologías para el análisis de Calidad del Suelo, los métodos utilizados para su valoración corresponden únicamente a lo derivado de agricultura convencional, de tal manera que los datos obtenidos no obedecen a la realidad del suelo en términos de sustentabilidad, pues en la agricultura de Revolución Verde, el suelo es tratado solamente como la capa de soporte para el desarrollo de actividades económicas (Astier *et al.*, 2002).

Debido a esto, existen algunas propuestas de análisis de suelos para evaluar su verdadero contenido en términos holísticos, que muestran la parte química, biológica y física de manera equilibrada, que se encuentran relacionados a la sostenibilidad del suelo en el tiempo y además aplican de manera integral a cada uno de los sistemas en donde se esté realizando la evaluación (Astier, *et al* 2002).

El análisis de la calidad de suelos permite detectar cambios, provee los aspectos básicos para evaluar la sostenibilidad del manejo del sistema y tiene relación directa con la producción sostenible; por tales razones, la calidad del suelo es el indicador primario del manejo sostenible de suelos y se considera un componente crítico de la agricultura sostenible (Doran y Parkin 1994, Larson y Pierce 1994, Karlen et al. 199).

Los sistemas de evaluación de la calidad de suelos, incluyen métodos de indexación como el Análisis de Componentes Principales (ACP) y Opinión de Expertos (OE) para establecer paquetes mínimos de información; así como métodos para la calificación (scoring) de indicadores que se transforman para ser comparados; y métodos de indexación para ayuda en la toma de decisiones como el aditivo y por jerarquización (Andrews, *et al.*

2002) (Cerdea, *et. al.*, 2012). Los sistemas de evaluación también aplicados a determinación de la calidad del suelo en aquellos degradados, plantean índices generados por Análisis de Componentes Principales (ACP) con identificación de variables construidas mediante combinación lineal (Torres, *et. al.* 2006).

Por otra parte, autores como Santanta *et. al.* (1998) utilizaron sistemas de identificación de indicadores mediante evaluaciones dinámicas de propiedades físicas y químicas del suelo; asimismo, Geissert e Ibáñez (2008) evaluaron la calidad de suelos en México, mediante la evaluación de propiedades indicadoras físicas y químicas; y en Irán se determinaron índices e indicadores mediante Análisis Factorial (AF) de correlación lineal, que correspondió a un previo Análisis de Componentes Principales (Ayoubi, *et. al.* 2011).

Otros métodos más complejos con ecuaciones matemáticas estadísticas como los de Larson y Pierce (1994), han servido como referencia para otros autores que han tratado de simplificar el método e incorporar nuevas variables e índices que pueda ser utilizado por cualquier tipo de persona, ya sea un investigador, extensionista o productor. Algunas de estas variaciones fueron planteadas por Diack, *et. al.*, (1999), donde se desarrolló un modelo basado en los siguientes pasos: 1) Identificación de objetivos de calidad del suelo, 2) Establecer los criterios de calidad de suelo, 3) Priorizar criterios de acuerdo a los objetivos, 4) Dar un valor o peso a cada uno de los criterios y 5) Sumar los parámetros asignados para obtener valores numéricos.

Existen también algunos métodos más prácticos y que dependen del conocimiento técnico del agricultor, para acercarse a índices de calidad de suelos y que determinan de manera rápida el acercamiento en términos de sostenibilidad de los

agroecosistemas, en donde se escogen criterios fácilmente evidenciables en campo y que no requieren de estudios especializados, luego se da una valoración de acuerdo al peso que se considera ocupan dentro del agroecosistema y finalmente se compara contra lo que se propone como un valor ideal, dando la posibilidad de graficar redes de comportamiento (Altieri y Nicholls, 2002).

1. Indicadores físicos

Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad (Bautista *et. al.*, 2004), (Sadeghian, *et. al.*, 2007), (Ferreas, *et. al.*, 2007) (Campitelli, *et. al.* 2010).

2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo – planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (Bautista *et. al.*, 2004). Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de

intercambio de catiónico, materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable (Arshad, *et. al.*, 2002), (Obando, *et. al.*, 2004).

3. Importancia de la materia orgánica como indicador de calidad de suelo

De acuerdo a Magdoff (1995) y Schnitzer (1982) generalmente se pueden encontrar tres diferentes tipos de MO en los suelos: 1) organismos vivos, 2) MO activa muerta y 3) materiales bien descompuestos (humus) y relativamente estables. El componente vivo de la MO del suelo está formado por varios grupos de organismos, incluyendo los virus, los hongos, los protozoarios, las bacterias, los pequeños y medianos artrópodos, las lombrices de tierra, los nematodos, siendo algunos de estos organismos fitoparásitos.

La mayoría de los organismos del suelo se alimentan de los residuos de las plantas, materiales orgánicos u otros organismos del suelo y no causan problemas en los cultivos. De hecho son muy importantes en los procesos de ciclaje de nutrientes, control de plagas, fortalecimiento de los agregados del suelo y la producción de humus (Magdoff 1995).

Los organismos del suelo ocupan diferentes posiciones en la cadena trófica. Las fuentes de alimentos y los hábitos de consumo crean una interdependencia entre los organismos en los diferentes niveles de la cadena trófica, de tal manera que encontramos los consumidores primarios, secundarios y terciarios. Los primarios del suelo son los primeros organismos que utilizan los residuos orgánicos como fuente de energía. Muchos hongos, bacterias, nematodos y algunas lombrices de tierra son considerados como consumidores primarios. La actividad alimenticia de estos consumidores facilita el consumo

de los residuos por los consumidores secundarios; por ejemplo, los excrementos de las lombrices de tierra son mucho más ricos en nutrientes que el suelo circundante, y por lo tanto representa una fuente de nutrientes para los organismos ubicados en el nivel superior de la cadena trófica (Magdoff 1995).

Los consumidores secundarios son aquellos que generalmente se alimentan de los consumidores primarios. Este grupo incluye protozoarios, nematodos, colémbolos y ácaros, los cuales son bien conocidos como depredadores de bacterias y hongos. De acuerdo a Habte y Alexander (1978), la presencia de poblaciones activas de consumidores de bacterias y hongos puede ayudar a mantener la diversidad de poblaciones de estos organismos en el suelo.

11.MARCO LEGAL

Convention on Biological Diversity (CDB). (2011-2020). Tratado internacional jurídicamente vinculante con tres objetivos principales: la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Su objetivo general es promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible.

La constitución Política 1991. En los artículos 8, 95 numeral 8 y 36. “Provee una combinación de obligaciones del Estado y de los ciudadanos junto a un derecho individual.). Es así como se advierte un enfoque que aborda la cuestión ambiental desde los puntos de vista ético, económico y jurídico: Desde el plano ético se construye un principio biocéntrico que considera al hombre como parte de la naturaleza, otorgándoles a ambos valor. Desde el plano económico, el sistema productivo ya no puede extraer recursos ni producir desechos ilimitadamente, debiendo sujetarse al interés social, al ambiente y al patrimonio cultural de la nación; encuentra además, como límites el bien común y la dirección general a cargo del Estado. En el plano jurídico el Derecho y el Estado no solamente deben proteger la dignidad y la libertad del hombre frente a otros hombres, sino ante la amenaza que representa la explotación y el agotamiento de los recursos naturales; para lo cual deben elaborar nuevos valores, normas, técnicas jurídicas y principios donde prime la tutela de valores colectivos frente a valores individuales. ”

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. “Por su parte decreta y reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial" Decreto 1376. 27 de Junio de 2013.

El consejo Municipal de Pitalito Huila. En ejercicio de sus facultades constitucionales,

legales y reglamentarias, en especial las conferidas en la Ley 388 de 1997. establecio por sus decretos reglamentarios y demás leyes complementar. Capítulo 2. Áreas de conservación y protección del Medio Ambiente Artículos 71. Políticas de manejo ambiental. Artículo 72. Estrategias para el manejo ambiental. Artículo 73. Medidas para la protección del medio ambiente.

12. METODOLOGIA

El estudio se desarrolló en un cultivo de café (*Coffea arabica*) ubicado en la vereda Betania del municipio de Pitalito Huila con una altura de 1.750 msnm en la finca la primavera del propietario Daniel santofimio, esta cuenta con una topografía ondulada con pendientes que se encuentran entre 40-70%.

1. Condiciones climáticas

Pitalito cuenta con un clima húmedo con variaciones térmicas durante todo el año, predominando así el clima templado entre unos 18 a 21 °C. Hacia la mitad del año en los meses de mayo, junio y julio se presenta un periodo húmedo moderado, alcanzando así temperaturas hasta de 12 a 14 °C. (FNC.2015). Al momento del muestreo las condiciones agroclimáticas presentes en la zona temperatura entre 17 y 22°C, correspondiendo al periodo seco. Humedad relativa entre 54 y 60 %.y Las lluvias oscilaron entre 1.000 y 2.000 mm.

El área se dividió en catorce (14) lotes de estudio con un sistema de bloques al azar, cada lote con un promedio 240,75 m², y 107 árboles aproximadamente. Además se realizó este mismo muestreo en 5 lotes en la zona de bosque que serán utilizados como testigo del análisis.

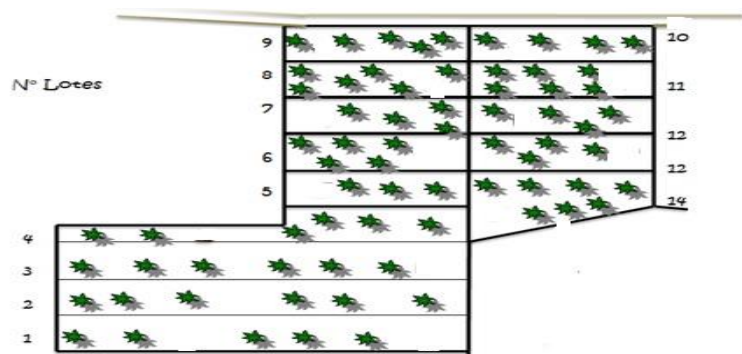


Figura 3 Distribución de los lotes.

13. METODOLOGIA DE MUESTREO

Para la toma de muestra se utilizó la metodología utilizada por la federación nacional de cafeteros (FNC), estas muestras se tomaron por cada lote de estudio, en cada lote se sacaron 3 contra muestras para poder homogenizarlas y sacar la muestra principal, los pasos seguidos para la obtención de la muestra fueron.

En cada sitio se toma un poco de tierra dentro de la gotera de los árboles, a una profundidad de 30 centímetros en el suelo con barreno o pala, el suelo recolectado de los sitios del lote se mezcla muy bien para homogenizar y quitar los materiales no deseados de esta después de esto se realizó el secado de la muestra en un lugar donde no se contaminara y a la sombra, ya terminado este proceso se empacaron las muestras en bolsas plásticas con sus respectivos datos de la zona de muestreo.

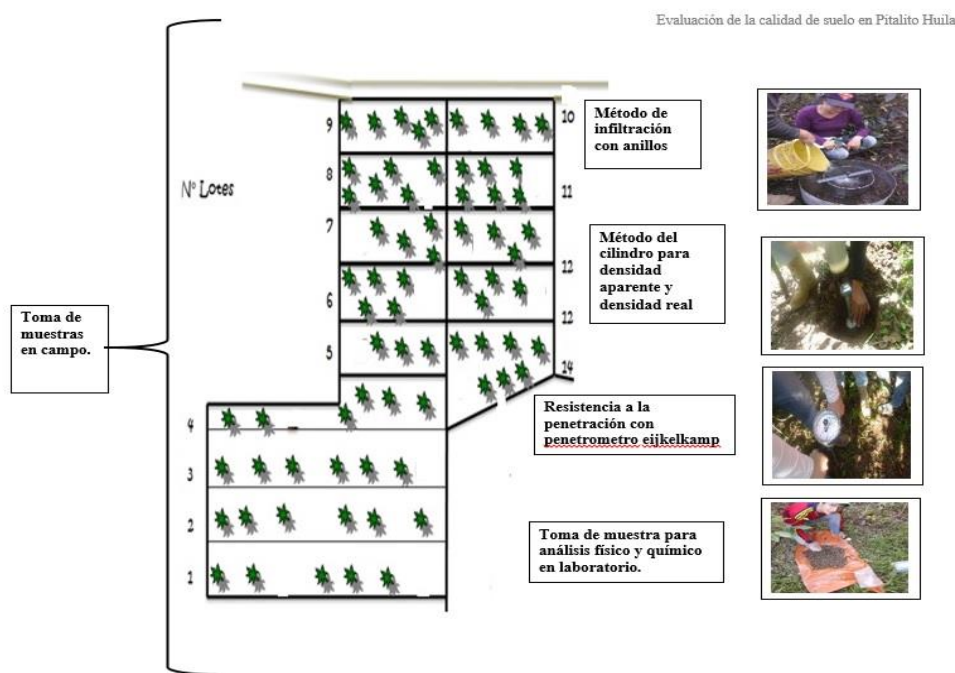


Figura 4 Toma de muestras en campo.

14. PARÁMETROS QUÍMICOS Y FÍSICOS DEL SUELO

En cada lote se tomó una muestra compuesta hasta una profundidad de 30 cm donde se realizaron las siguientes determinaciones químicas: pH (relación suelo: agua de 1:1), acidez, Aluminio e Hidrógeno intercambiable por método de titulación, Materia Orgánica (MO) (perdida por ignición), Carbono Orgánico (volumetría), Fósforo asimilable (Bray II modificado), Potasio, Calcio y Magnesio (Acetato de amonio 1N y neutro), Capacidad de Intercambio Catiónico (Acetato de amonio 1N y neutro), bases totales (Ca, Mg, Na y K) y Saturación de bases intercambiables (Extracción con acetato de amonio 1N y neutro), Nitrógeno Total (Kjeldahl), Acidez intercambiable (volumetría), bases totales (espectrofotometría de absorción atómica) (Zamudio et al., 2006). Para las variables físicas se determinaron densidad aparente mediante el método de cilindro de volumen conocido, Densidad real (picnómetro), Textura (Bouyoucos), Resistencia (penetrómetro de mano análogo) infiltración (anillos de infiltración) (Zamudio et al., 2006), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), agua disponible (AD), Conductividad Hidráulica (CH) y punto de saturación (estimación) (Saxton y Rawls, 2004).

1. Procesos de laboratorios físicos y químicos

Evaluación de la calidad de suelo en Pitalito Huila

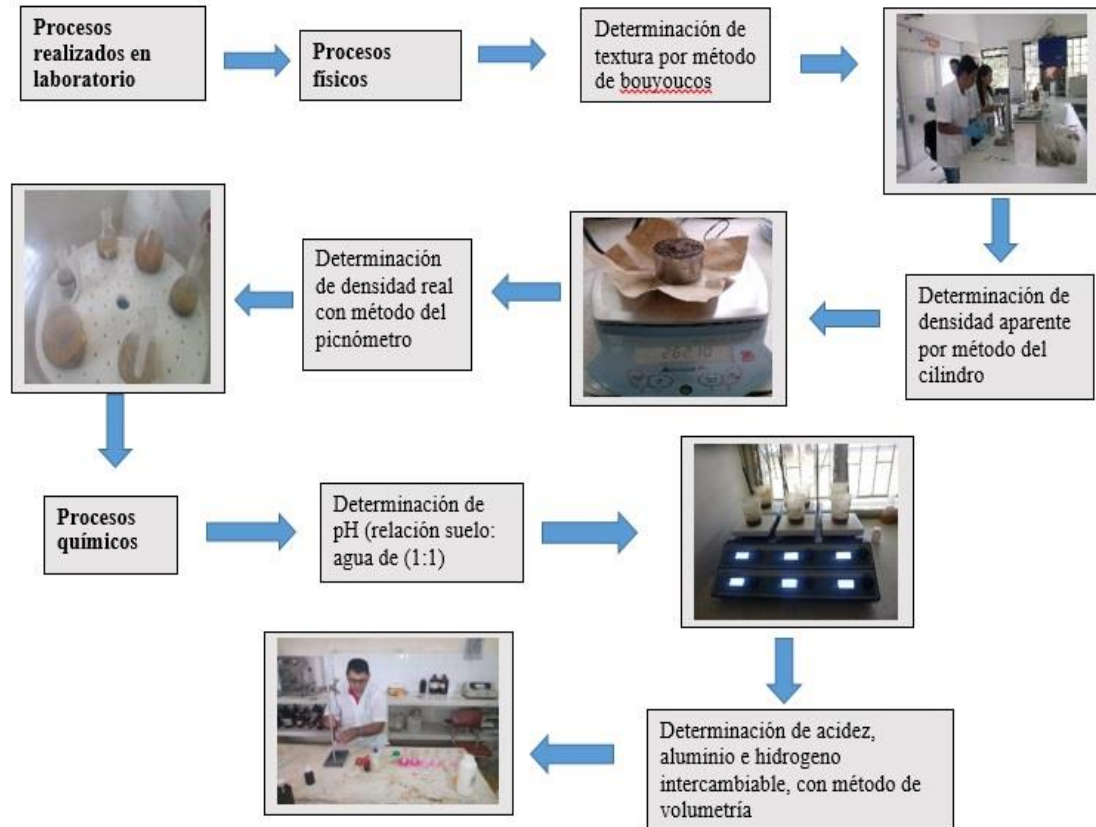


Figura 5 Procesos físicos y químicos en laboratorio.

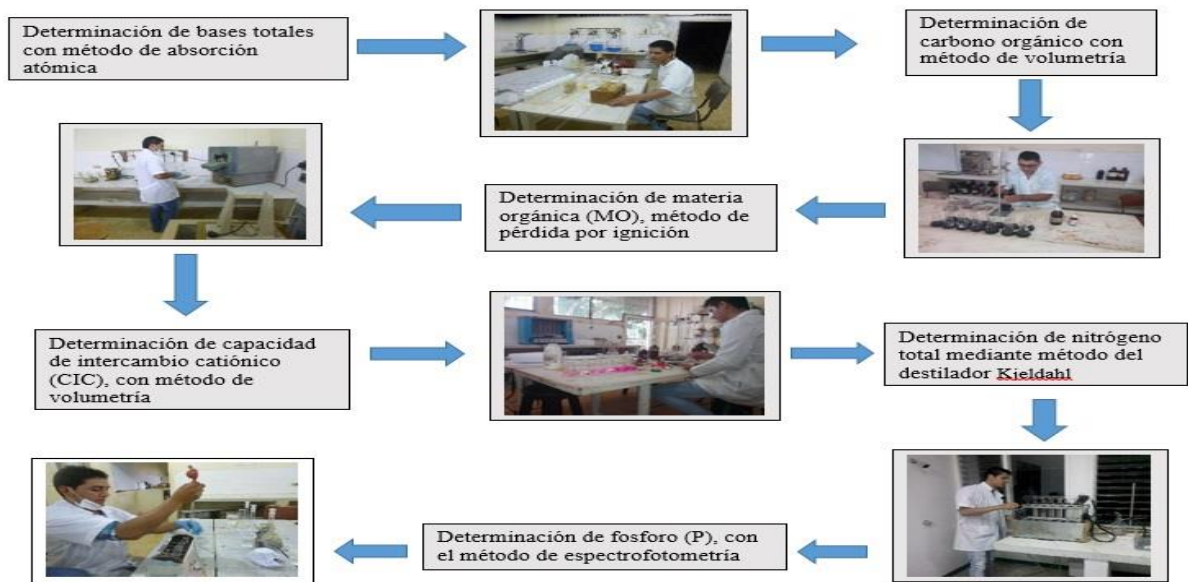


Figura 6 Procesos físicos y químicos en laboratorio

2. Diseño experimental

Para el análisis de los indicadores físicos y químicos de suelo se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo factorial 3 x 2 con los tratamientos: T1= Químico, T2= Orgánico y T3= Orgánico Mineral x 1 épocas del año. El cultivo con área de 3.370 m² fue dividido en catorce lotes de muestreo, con un diseño de bloques completamente al azar. Cada uno de los lotes cuenta con un área aproximada 204,75 m² y 107 árboles de café en promedio.

3. Procesamiento de la información y análisis de datos

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANAVA) con el programa InfoStat Estudiantil versión 2014, Las medias se separaran mediante la prueba de LSD Fisher con una confiabilidad del 95%.

El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_{pi} + P_j + T_pP_{ij} + E_r$$

Donde,

Y_{ij} = variable de respuesta física y química del suelo en el i-ésimo tratamiento de fertilización en el j-ésimo nivel de profundidad del suelo.

μ = media general

T_{pi} = efecto del tratamiento de fertilización en el i-ésimo nivel de profundidad

P_j = efecto del j-ésimo nivel de profundidad

T_pP_{ij} = efecto de la interacción en el i-ésimo nivel de la tratamiento de fertilización y el j-ésimo nivel de profundidad.

E_r = error experimental

Como variables de trabajo, se usaron las características físicas básicas del suelo, las cuales serán determinadas por triplicado, algunas *in situ* (Resistencia a la penetración, profundidad efectiva, color) y otras en las instalaciones del laboratorio de física de suelos del SENA – Tecnoparque Agroecológico Yamboró, y el laboratorio de la UNAD – CEAD Pitalito, de acuerdo con las metodologías recomendadas por Zamudio *et al.* (2006).

Variables físicas de suelo: Los métodos usados para la determinación de las características físicas de las muestras de suelo son modificadas de Zamudio *et al.* (2006). Densidad aparente mediante método del cilindro, Textura en campo, Penetrabilidad con Penetrómetro de mano *Eijkelkamp*®.

Variables químicas de suelo: Los métodos que se usaran para la determinación de las características químicas de las muestras de suelo, según sugerencias de Zamudio *et al.* (2006) son pH, mediante el método de Potenciómetro, Al Intercambiable, Carbono Orgánico, Fósforo asimilable, Potasio, Calcio, Magnesio, Capacidad de Intercambio Catiónico, Saturación de bases intercambiables y Materia Orgánica. El análisis químico será realizado por un laboratorio acreditado por el Instituto Colombiano Agropecuario.

4. Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) y Análisis estadístico

A cada una de las variables físicas y químicas del suelo se les realizó pruebas de estadística descriptiva y análisis de separación de medias mediante la prueba de LSD Fisher ($P < 0.05$). A partir de las variables que presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre esquemas se realizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) (D'Hose *et al.*, 2013), solamente se consideraron aquellos con un valor de respuesta de la variación ≥ 1 (Chen *et al.*, 2013; Yao *et al.*, 2013) y fueron retenidas de cada CP para el Conjunto Mínimo de Datos (CMD), las variables altamente ponderadas dentro del 10% mayor o menor del valor absoluto más alto (Andrews *et al.*, 2002; Mastro *et al.*, 2008). De acuerdo a los resultados de comparación de métodos de indexación de calidad de suelos propuestos por Andrews *et al.* (2002) y Qi *et al.* (2009) se obtuvo el CMD y para verificar posibles redundancias y así retener mayor número de indicadores (Yao *et al.*, 2013) se correlacionaron las variables.

A partir la identificación de estos indicadores se realizaron los cálculos matemáticos para establecer el índice de calidad suelo aditivo por cada esquema de manejo (Cerda, 2008; Delgado et al., 2010; Chavarría, 2012) de acuerdo a un análisis factorial lineal (Cerda et al., 2012). Esta combinación de métodos ha sido muy usada para explorar relaciones entre grandes números de variables y facilitar la interpretación de los resultados (Andrews et al., 2002). Para el cálculo del ICSA, se tomó como referencia la metodología de valoración lineal propuesta por Andrews et al. (2002), donde se explica que para unos indicadores un mayor valor indica una mejor calidad y que para otros un menor valor indica una mejor calidad; por ello los indicadores se clasificaron en:

- Mayor es mejor: indicadores cuyos valores altos son considerados como buenos.
- Menor es mejor: Indicadores cuyos valores bajos son considerados como buenos.

Se calculó un índice de calidad de suelo (ICS) para cada indicador de cada una de las parcelas en estudio, mediante las siguientes fórmulas:

- Mayor es mejor: $ICS = \text{valor de cada indicador} / \text{valor más alto del indicador}$
- Menor es mejor: $ICS = \text{valor más bajo del indicador} / \text{valor de cada indicador}$

Mediante estas fórmulas se obtienen valores ponderados entre 0-1, para cada uno de los indicadores soportado mediante los umbrales, mínimos y máximos de cada una de las propiedades, tanto químicas como físicas del suelo, obteniendo los valores más altos y más bajos reportados por cada variable, teniendo en cuenta los límites que afectan producción del cultivo (e.g. $CO > 5$ se considera como el valor más alto reportado, que condiciona la aplicación de materia orgánica al suelo (Sadeghian, 2010b); y así finalmente calcular el ICSA para cada una de las parcelas en estudio.

15.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se presentan diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los esquemas de manejo de suelo (Cuadro 1) ya que se realiza la toma de muestras antes de establecer los diferentes tratamientos de fertilización, por lo tanto el manejo que se ha venido haciendo en este cultivo es de manera tradicional tal como lo indica la federación nacional de cafeteros (FNC).

Cuadro 1. Promedios de los indicadores físicos y químicos de suelos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra con un manejo de fertilización orgánico y convencional como lo indica la federación nacional de cafeteros (FNC), en una finca demostrativa en el municipio de Pitalito Huila en el año 2015.

Table 1. Averages of physical and chemical indicators of soil in the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L.) variety caturra with handling of organic and conventional fertilization as indicated by the National Federation of Coffee Growers (FNC) at a demonstration farm in the municipality of Pitalito Huila in 2015.

Variable	Unidad	ORGÁNICO		ORGÁNICO-MINERAL		QUÍMICO		p-value
		Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.	
FISICAS								
arenas	(%)	38,03±	2,66A	41,48±	2,98A	38,54±	2,66A	0,6670
limos	(%)	23,2±	1,63A	26,46±	1,83A	24,69±	1,63A	0,4397
arcillas	(%)	38,77±	2,75A	32,06±	3,08A	36,77±	2,75A	0,2960
AD	(cm ³ agua/cm ³ suelo)	0,13±	0,01B	0,11±	0,01A	0,11±	0,01AB	0,1201
CH	(cm/hr)	0,26±	0,05A	0,33±	0,05A	0,26±	0,05A	0,4045
ST	(cm ³ agua/cm ³ suelo)	0,51±	0,01A	0,48±	0,01A	0,5±	0,01A	0,2862
CC	(cm ³ agua/cm ³ suelo)	0,34±	0,03A	0,29±	0,04A	0,35±	0,03A	0,4135
PM	(cm ³ agua/cm ³ suelo)	0,21±	0,03A	0,18±	0,03A	0,23±	0,03A	0,4413
Rpenent.	(Mpascales)	1,56±	0,11AB	1,47±	0,12A	1,85±	0,11B	0,0882
V. Infilt.	(mm/h)	410,4±	91,88A	609±	102,73A	654±	91,9A	0,1875
DA	g/cm ³	1,22±	0,05A	1,09±	0,05A	1,19±	0,05A	0,1855
DR	g/cm ³	2,42±	0,15B	2,13±	0,17AB	1,89±	0,15A	0,1000

Variable	Unidad	ORGÁNICO		ORGÁNICO-MINERAL		QUÍMICO		p-value
		Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.	
QUÍMICAS								
pH	Und	3,74±	0,08A	3,98±	0,09A	3,98±	0,08A	0,1343
AcInter	(meq/100g)	4,53±	0,33A	4,16±	0,37A	4,17±	0,33A	0,6714
C.O.	%	1,38±	0,12A	1,62±	0,14A	1,43±	1,12A	0,4534
M.O	%	16,02±	1,26A	20,2±	1,4B	17,18±	1,26AB	0,1222
CIC	(meq/100g)	26,97±	1,61A	28,67±	1,80A	25,41±	1,61A	0,4317
P	(mg/Kg M.S)	1,77±	0,07A	1,66±	0,08A	1,69±	0,07A	0,5382
N	%	1,08±	0,07A	1,22±	0,08A	1,05±	0,07A	0,3235
Ca	(meq/100g)	0,95±	0,21A	0,98±	0,23A	1,03±	0,21A	0,9568
Mg	(meq/100g)	0,18±	0,06A	0,17±	0,06A	0,17±	0,06A	0,9813
K	(meq/100g)	0,48±	0,09A	0,29±	0,10A	0,23±	0,09A	0,1707
Na	(meq/100g)	0,43±	0,45A	0,46±	0,50A	0,59±	45,0A	0,9663
BT	(meq/100g)	29,09±	1,98A	30,70±	2,22A	27,96±	1,98A	0,6645
Ca/Mg	%	3,04±	0,79A	3,48±	0,89A	4,62±	0,79A	0,3832
Mg/K	%	0,58±	0,18A	0,58±	0,20A	0,72±	0,18A	0,8263
Ca/K	%	3,04±	0,79A	3,48±	0,89A	4,62±	0,79A	0,3832
(Ca+Mg)/K%		3,64±	0,97A	4,05±	1,08A	5,38±	0,97A	0,4434
Sat. Bases	%	85,69±	1,30A	86,05±	1,45A	86,44±	1,30A	0,9212
Sat Na Int	%	0,01±	0,01A	0,02±	0,02A	0,02±	0,01A	0,9764
Sat. Al Int	%	69,94±	5,03A	68,4±	5,63A	69,12±	5,03A	0,9792

Cuadro 1 Promedios de los indicadores físicos y químicos de suelos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra con un manejo de fertilización orgánico y convencional en Pitalito Huila

PMP = Punto Marchitez Permanente, CC = Capacidad de Campo, PS = Punto de Saturación, AD: Agua Disponible, CH: Conductividad Hidráulica, RP = Resistencia a la Penetración, V. Infil: Velocidad de Infiltración, DA: Densidad Aparente, AcInter: Acidez Intercambiable, Ca: Calcio, Mg: Magnesio, K: Potasio, Na: Sodio, BT: Bases Totales, CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico, P: Fosforo, C.O. = Carbono Orgánico, M.O. = Materia Orgánica, N: Nitrógeno, Sat. Bases: Saturación de Bases.

PMP = Permanent Wilting Point, CC = Field Capacity PS = Saturation Point, AD: Water Available, CH: Hydraulic Conductivity, RP = Resistance To Penetration, V. Infil = Infiltration Rate, DA = Bulk Density, Acinter = Exchangeable Acidity, Ca = Calcium, Mg = Magnesio K:

Potassium, Na: Sodium, BT = Total Bases, CIC: Cation Exchange Capacity, P: Phosphorus, CO = Organic Carbon, M. O. = Organic Matter, N: Nitrogen, Sat. Bases: Bases Saturation.

Cuadro 2. Resultados de Análisis de Componentes Principales de indicadores de calidad de suelos en cultivos de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra con un manejo de fertilización orgánico y convencional como lo indica la federación nacional de cafeteros (FNC), en una finca demostrativa en el municipio de Pitalito Huila en el año 2015.

Table 2. Results of Principal Component Analysis of indicators of soil quality in coffee crop (*Coffea arabica* L.) variety caturra with handling of organic and conventional fertilization as indicated by the National Federation of Coffee Growers (FNC), on a farm demonstration in the town of Pitalito Huila in 2015.

INDICADOR	OBJETIVO CALIDAD DE SUELOS (PRODUCCIÓN)	T- QUIMICO		T- ORGANICO		T- ORGANICO MINEAL	
		MEDIA	VALOR	MEDIA	VALOR	MEDIA	VALOR
QUIMICOS							
C.O.	Valor máximo encontrado en suelos de la región es 5% (Carvajal et al., 2009)	16,02	1	17,18	1	20,2	1
P	El máximo es 30 ppm (Sadeghian, 2008)	1,77	0,08	1,69	0,06	1,66	0,08
Ca*	Valor máximo adecuado para café con 5<pH5,5, reportado por CENICAFE de 3 (Sadeghian, 2008)	0,95	0,32	1,03	0,34	0,98	0,33
Mg*	Valor mínimo reportado por CENICAFE 0,9 meq/100 g (Sadeghian, 2008)	0,18	0,20	0,17	0,19	0,17	0,19
BT	Valor de suelos con fertilidad alta (IICA, 1988)=25	29,09	1	27,96	1	30,7	1
Ca/Mg*	Valor reportado para Pitalito por (Salamanca y Sadeghian, 2005) es 3,9	3,04	0,78	4,62	1	3,48	0,89
FISICOS							
Arena*	Valor reportado para Pitalito por (Salamanca y Sadeghian, 2005) es 31,86	30,03	0,94	38,54	1	41,48	1
Arcilla*	El valor reportado para pitalito por (Salamanca y Sadeghian, 2005) es de 35,62	38,77	1	36,77	1	32,08	0,90

Cuadro 2 Resultados de Análisis de Componentes Principales de indicadores de calidad de suelos en cultivos de café (*Coffea arabica L.*) variedad caturra con un manejo de fertilización orgánico y convencional en Pitalito Huila

Cuadro 3 Sumatoria de variables del análisis de componentes principales para obtener el ICSA de indicadores de calidad de suelos en cultivos de café (*Coffea arabica L.*) variedad caturra con un manejo de fertilización orgánico y convencional en Pitalito Huila

Table 3 variables Sum of principal component analysis to obtain the ICSA indicators of soil quality in coffee crop (*Coffea arabica L.*) variety caturra with handling of organic and conventional fertilization in Pitalito Huila

INDICADOR	T- QUIMICA	T- ORGANICO	T- ORGANICO MINERAL
	ÍNDICE	ÍNDICE	INDICE
QUÍMICOS			
C.O.	1	1	1
P	0,06	0,06	0,06
Ca*	0,32	0,34	0,33
Mg*	0,2	0,19	0,19
BT	1	1	1
Ca/Mg*	0,78	1	0,89
FÍSICOS			
Arena*	0,94	1	1
Arcilla*	1	1	0,9
ICSA	5,3	5,59	5,36

Cuadro 3 Sumatoria de variables del análisis de componentes principales para obtener el ICSA

Cuadro 4. Análisis del índice de calidad de suelo aditivo en el cual podemos determinar la calidad de suelo que tenemos con los datos obtenidos en el conjunto mínimo de datos (CMD).

Table 4. Analysis of the quality index soil additive which can determine the quality of soil we have with the data obtained in the minimum data set (CMD).

Índice de Calidad de Suelo	Escala	Clase
Muy alta calidad	6,40 - 8,00	1
Alta calidad	4,80 - 6,39	2
Moderada calidad	3,20 - 4,79	3
Baja calidad	1,60 - 3,19	4
Muy baja calidad	0,00 - 1,59	5

Fuente: Autor (Modificado de Cantú 2007)
Source: Author (Modified Cantu 2007)

Cuadro 4 Cuadro 4. Análisis del índice de calidad de suelo aditivo en el cual podemos determinar la calidad de suelo que tenemos con los datos obtenidos en el conjunto mínimo de datos (CMD).

1. *Relación entre los esquemas de manejo y el ICSA*

Se observe que las diferencias no son significativas entre los indicadores físicos y químicos lo cual nos indica que los datos obtenidos en el conjunto mínimo de datos son similares por cada tratamiento obteniendo un índice de calidad de suelo aditivo (ICSA) dentro del mismo rango, observando que el tratamiento orgánico tiene el resultado más alto pero todos los tratamientos se clasifican como suelos de alta calidad.

Se estableció una tabla de valores con base en los umbrales, mínimos y máximos de los ocho indicadores de calidad del suelo, de manera que reflejaran aquellos limitantes de la producción en el cultivo y sirvieran como referencia para transformar los datos de variables a indicadores en escala 0-1. Los indicadores más representativos fueron BT y CO respectivamente, los cuales reflejan condiciones del potencial de fertilidad de un suelo.

El ICSA calculado demostró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de fertilización con confiabilidad del 95%, al igual se evidenció la diferencia mediante calificación por rangos de los valores obtenidos como Alta Calidad y Muy Alta Calidad respectivamente. En este estudio se propuso una tabla de interpretación de resultados del ICSA, de manera que se pueda ofrecer datos fácilmente transferibles acerca de la calidad del suelo analizado y se pueda comparar igualmente dos o más conjuntos de prácticas realizadas en un agroecosistema de café.

16. CONCLUSIONES

Este estudio permitió identificar las diferentes variables que se deben analizar para poder contar con una información acertada para determinar la calidad de suelo con la que cuenta la zona del estudio, además con los diferentes tratamientos de fertilización utilizados los cuales fueron de gran ayuda para poder determinar los índices de calidad de suelo que era uno de los objetivos de la investigación.

En este estudio se realizan la validación de índices de calidad de suelo realizando un análisis con la tabla CMD, en la cual se analizan ocho indicadores que son los más representativos de la calidad de suelo para el cultivo de café, por lo tanto se realiza la validación de los índices de calidad con el ICSA la cual nos indica que las diferencias entre T- orgánica, T- química y T- orgánico mineral son muy pocas ya que se encuentran dentro del mismo rango de calidad de suelo teniendo como referencia la tabla de interpretación de calidad de suelo.

El ICSA permite identificar que los tratamientos no cuentan con diferencias significativas sin embargo podemos notar que la valoración del índice más alto lo tiene el T-orgánico teniendo en cuenta que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango dos en la tabla de interpretación de calidad de suelo el cual nos indica que contamos con un suelo de alta calidad.

En este estudio se propuso una tabla de interpretación ICSA con la finalidad de que los datos puedan ser fácilmente transferibles acerca de la calidad de suelo analizado para que pueda ser comparado con muchas más investigaciones que se relacionen con agroecosistemas de café.

RECOMENDACIONES

- Continuar con la investigación debido a que entre mayor sea el número de años de estudio, se tendrá más sensibilidad sobre los indicadores e índice.
- Incluir la época del año (lluviosa – seca) como fuente de variación en la medición de indicadores.
- Hacer transferencia de los resultados obtenidos a los diferentes actores: productores, investigadores, academia, etc.

17. BIBLIOGRAFÍA

Andrews, S.S., D.L. Karlen, and C.A. Cambardella. 2004. The soil management assessment framework. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1945–1962.

Andrews, S.S., D.L. Karlen, and J.P. Mitchel. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agric. Ecosyst. Environ.* 90:25-45.

Arcila, J., F. Farfán, A.M. Moreno, L. F. Salazar, y E. Hincapié. 2007. *Sistemas de producción de café en Colombia*. 1 Ed. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - CENICAFÉ. Chinchiná, Colombia.

Askari, M. S, and N. M. Holden. 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma* 230:131-142.

Cantú, M., A. Becker., J. Bedano, y H. Schiavo. 2007. Evaluación de la calidad de los suelos mediante el uso de indicadores e índices. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, Argentina. *Cienc. Suelo* 25: 173 – 178.

Cardona, C., y S. Sadeghian. 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *Cenicafe* 56(4): 348-364.

Carvajal, A., A. Feijoo, H. Quintero, y M. Rondón. 2009. Carbono Orgánico del Suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos Colombianos. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 9: 222 – 235.

CENICAFE (Centro Nacional en Investigación en Café), 2014. Informe anual 2014
CENICAFE. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Fondo Nacional del Café.
Colombia.

Cerda, R. 2008. Calidad de los suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.),
banano (*Musa* AAA) y plátano (*Musa* AAB) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Tesis MSc.,
CATIE, Turrialba, CRC.

Cerda, R., E. Somarriba, A. Tapia, W. Peña, and J. Crozier. 2012. Assessment of soil quality
in agroforestry systems. Agroforesterie cacao: durabilité et environnement – Yaoundé, Costa de
Marfil.

Chavarría, N., A. Tapia, G. Soto, y E. Virginio. 2012. Efecto de diferentes sistemas de manejo
sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. Intersedes
13(26):85-105.

Chen, Y. D., H. Y. Wang, J. M. Zhou, L. Xing, B. S. Zhu, Y. C. Zhao, and X. Q. Chen. 2013.
Minimum Data Set for Assessing Soil Quality in Farmland of Northeast China. *Pedosphere*
23:564-576.

Delgado, E., J. Trejos, M. Villalobos, G. Martínez, D. Lobo, J. C Rey, G. Rodríguez, F. E.
Rosales, y L. E. Pocasangre. 2010. Determinación de un índice y salud de suelos para
plantaciones bananeras en Venezuela. *Interciencia* 35: 927 – 933.

D'Hose, T., M. Cougnon, A. De Vlieghe, B. Vandecasteele, N. Viaene, W. Cornelis, E.
Bockstaele, and D. Reheul. 2013. The positive relationship between soil quality and crop
production: A case study on the effect of farm compost application. *Appl. Soil Ecol* 75:189-198.

Diacono, M., and F. Montemurro. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev* 30: 401–422.

Doran, J.W., and M.R. Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15:3-11.

Farfán, F. 2014. 1 Ed. *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Manizales, Caldas, COL.

Farfán, F., y R. A. Jaramillo. 2009. Sombrío para el cultivo de café según nubosidad de la región Avances Técnicos Cenicafe 379: 1-9.

Fox, J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *JSS* 14(9):1-42.

Gómez, G. L., R. A. Caballero, y J. V. Baldión. 1991. *Ecotopos cafeteros de Colombia*. 1 Ed. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Bogotá, COL.

González, H. 2012. Opciones para el manejo eficiente de los fertilizantes: actualidad y perspectivas. En: Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafe. 1 Ed. Informe anual de actividades Disciplina Suelos. Chinchiná, COL.

González, H., S. Sadeghian, y A. Jaramillo. 2014. Épocas recomendables para la fertilización de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafe* 442: 1-12.

Gugino, B.K., O. J. Idowu, R. R. Schindelbeck, H. M. van Es, D. W. Wolfe, B. N. Moebius-Clune, J. E. Thies, and G. S. Abawi, 2009. *Cornell soil health assessment training manual*. Cornell University College of Agriculture and Life Sciences. NY, USA.

Hartl, W., B. Putz, and E. Erhart. 2003. Influence of rates and timing of biowaste compost application on rye yield and soil nitrate levels, *Eur. J. Soil Biol.* 39: 129–139.

He, Z., X. Yang, B. A. Kahn, P. J. Stoffella, and D. V. Calvert. 2001. Plant nutrition benefits of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and micronutrients from compost utilization, In P.J. Stoffella, and B. A. Kahn, editors, *Compost utilization in horticultural cropping systems*. CRC Press LLC, USA p. 307–317.

Husson, F., J. Josse, S. Le, and J. Mazet. 2012. *FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R*. R package version 1.18. <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>.

Idowu, OJ., H. M van Es, G. S. Abawi, D. W. Wolfe, R.R. Schindelbeck, B. N. Moebius-Clune, and B. K. Gugino. 2009. Use of an integrative soil health test for evaluation of soil management impacts. *Renew Agric .Food Syst* 24:214–224.

Karlen, D.L., C.A. Ditzler, and S.S. Andrews. 2003. Soil Quality: Why and How? *Geoderma* 114: 145 – 156.

MADR (Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural) 2006. Resolución No. 187 – Mediante la cual se adopta el Reglamento para la Producción de Productos Agropecuarios Ecológicos. República de Colombia. Bogotá, Colombia.

Mandal, B., B. Majumder, P. K. Bandyopadhyay, G. C. Hazra, A. Gangopadhyay, R. N. Samantaray, A. K. Mishra J. Chaudhury, M. N. Saha, and S. Kundu. 2007. The potential of cropping systems and soil amendments for carbon sequestration in soils under long-term experiments in subtropical India, *Global Change Biol.* 13: 357–369.

Masto, R. E., P. K. Chhonkar, T. J. Purakayastha, A. K. Patra, and D. Singh. 2008. Soil quality indices for evaluation of long-term land use and soil management practices in semi-arid sub-tropical India. *LDD* 19: 516–529.

Morvan, X., N. Saby, D. Arrouays, C. Le Bas, R. J. A. Jones, P. Bellamy, M. Stephens, M. and M. G. Kibblewhite. 2008. Soil monitoring in Europe: a review of existing systems and requirements for harmonisation. *Sci.Total Environ.* 391 1-12.

Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Módulo de enseñanza agroforestal No. 5. 1 Ed. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, CRC.

Nardi, S., F. Morari, A. Berti, M. Tosoni, and L. Giardini. 2004. Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilisers, *Eur. J. Agron.* 21: 357–367.

Nosrati, K. 2013. Assessing soil quality indicator under different land use and soil erosion using multivariate statistical techniques. *Environ. Monit. Assess* 185(4): 2895-2907.

Obando, F.H., J. Montes, y M. Zuluaga. 2004. Desarrollo de indicadores de calidad inherente y dinámica de andisoles en el departamento de Caldas. I Taller Nacional sobre Indicadores de Calidad del Suelo. 20 – 22 de Octubre. CIAT. COL.

Paz-Kagan, T., M. Shachak, E. Zaady, and A. Karnieli. 2014. A spectral soil quality index (SSQI) for characterizing soil function in areas of changed land use. *Geoderma* 230:171-184.

Paz-Kagan, T., M. Shachak, E. Zaady, y A. Karnieli. 2014b. Evaluation of ecosystem responses to land-use change using soil quality and primary productivity in a semi-arid area, Israel. *Agric.Ecosyst.Environ* 193:9-24.

Prieto-Mendez, J., F. Prieto-García, O. Acevedo-Sandoval, y M. Méndez. 2013. Indicadores e Índices de Calidad de los Suelos (ICS) Cebaderos del Sur del Estado de Hidalgo, México. *Agron. Mesoam.* 24 : 83-91.

Qi, Y., J. L. Darilek, B. Huang, Y. Zhao, W. Sun, and Z. Gu. 2009. Evaluating Soil Quality Indices in an Agricultural Region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* 149:325-334.

R Development Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna, AUT <http://www.R-project.org/>.

Rezaei, S. A., R. J. Gilkes, and S. S. Andrews. 2006. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma* 136:229-234.

Rosatto-Moda, L., R. D. Mello-Prado, L. Castellanos-González, A. Reyes-Hernández, G. Caione, y C. N. Silva-Campos. 2014. Solubilización de fuentes de fósforo asociadas a un compuesto orgánico enriquecido con biofertilizantes. *Agrociencia* 48:489-500.

Sadeghian, S. 2008. Fertilidad del Suelo y Nutrición del Café en Colombia. CENICAFE. Caldas, COL.

Sadeghian, S. 2010a. Evaluación de la fertilidad del suelo para una adecuada nutrición de los cultivos. Caso café. *Suelos ecuatoriales* 41:46-64.

Sadeghian, S. 2010b. La materia orgánica: componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. 1 Ed. Cenicafé. COL.

Sadeghian, S., y H. González. 2012. Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. *Avances Técnicos Cenicafé* 424: 1-8.

Sadeghian, S., y H. González. 2014. Respuesta de almácigos de café a diferentes fuentes y dosis de Nitrógeno. *Avances Técnicos Cenicafe* 447: 1-4.

Santanta, D.P., F. Bahia, and F. C. Antonio. 1998. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. *World Congress of Soil Science*, 16. Montpellier, FRA.

Saxton, K. E., and W. Rawls. 2004. Soil texture triangle: Hydraulic properties calculator. [http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index, htm](http://hydrolab.arsusda.gov/soilwater/Index.htm).

Tittarelli, F., G. Petruzzelli, B. Pezzarossa, M. Civilini, A. Benedetti, and P. Sequi. 2007. Quality and agronomic use of compost. In L.F. Díaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier, E. Stentiford, editors., *Compost science and technology*, Waste management series 8, Elsevier Ltd. HOL. p119–145.

Valbuena, O. 2014. Tesis de maestria, Evaluación de la calidad de suelo en plantaciones de *Coffea arabica* L. var. Caturra, en tecnologías de producción intensiva y tradicional en Pitalito-Huila.

Velásquez, E., P. Lavelle, and M. Andrade. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biol. Biochem.*39:3066-3080.

Veum, K. S., K. W. Goyne, R. J. Kremer, R. J. Miles, and K. A. Sudduth. 2014. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. *Biogeochemistry* 117:81-99.

Yao, R., J. Yang, P.Gao, J. Zhang, and W. Jing. 2013. Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil Tillage Res.* 128:137-148.

Yemefack, M., V.G. Jetten, and D.G. Rossiter. 2006. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems. *Soil Tillage Res.* 86: 84-98.

Zamudio-Sánchez, A. M., M. L. Carrascal-Carrascal, C. E. Pulido-Roa, J. F. Gallardo, E. A. Ávila-Pedraza, M. A. Vargas-Alfonso, y D. F. Vera-Raigosa. 2006. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. 6a ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi —IGAC—. Bogotá, COL.