

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva
de café (*Coffea arabica*) VAR. CATIMOR en el anexo Alto
Pitocuna del distrito de Río Negro. Satipo. 2018**

Deisy Huisa Altamirano

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Edwin Paucar Palomino.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección Regional de Agricultura Junín (DRAJ), por su apoyo en este proyecto de investigación.

Al Mg. Ing. Edwin Paucar Palomino, por su apoyo en la realización, agilización de los documentos y asesoramiento del proyecto de investigación. Al Dr. Ing. Andrés Alberto Azabache Leytón por su apoyo en la presente investigación y de igual manera al Ma. Ing. Roly Jaime Núñez Núñez, por su paciencia y tiempo para la realización de la tesis.

DEDICATORIA

A Dios, por la vida y la grandeza de sus manos.

A mis padres Alejandro y Reyna, A mis hermanos Noemí, Alex y Sandra, por su apoyo incondicional, alegría e inmenso amor, que me permitieron culminar mi carrera y ser una profesional de calidad al servicio de la sociedad.

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.3.1. Justificación tecnológica	3
1.3.2. Justificación social	4
1.3.3. Justificación ambiental.....	4
1.3.4. Importancia.....	4
1.4. Hipótesis y variables	5
1.4.1. Hipótesis general	5
1.4.2. Hipótesis específicas	5
1.4.3. Hipótesis alternativa	5
1.4.4. Descripción y operacionalización de las variables	6

CAPÍTULO II.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	12
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. La calidad del suelo.....	14
2.2.2. Indicadores de calidad del suelo.....	19
2.2.3. Evaluación de la calidad del suelo.....	26
2.2.4. Factores del suelo que inciden en la productividad del café.....	27
2.2.5. Efectos de la agricultura intensiva sobre la calidad del suelo.....	29
CAPÍTULO III.....	31
3.1. Método, tipo y nivel de la investigación.....	31
3.1.1. Métodos de la investigación.....	31
3.1.2. Tipo de la investigación.....	38
3.1.3. Nivel de la investigación.....	38
3.2. Diseño de la investigación.....	38
3.3. Población y muestra.....	38
3.3.1. Población.....	38
3.3.2. Muestra.....	39
3.4. Evaluaciones realizadas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4.1. Evaluaciones realizadas.....	40
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	40
3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos.....	41
CAPÍTULO IV.....	43
4.1. Resultados de la investigación.....	43
4.1.1. La textura del suelo.....	43
4.2. Resultados de las propiedades químicas.....	44
4.2.1. pH.....	44

4.2.2.	Materia Orgánica (MO) en el suelo	45
4.2.3.	Fósforo disponible	46
4.2.4.	Potasio disponible	47
4.2.5.	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	48
4.2.6.	Saturación de bases	49
4.2.7.	Acidez intercambiable.....	50
4.3.	Índices de Calidad de Suelo (ICS)	51
4.4.	Discusión de resultados.....	52
4.4.1.	Propiedades físicas	52
4.4.2.	Propiedades químicas	53
4.4.3.	Índices de Calidad del Suelo (ICS)	58
CONCLUSIONES		60
RECOMENDACIONES		62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		63
ANEXOS.....		67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Mapa base del distrito de Río Negro.....	34
Figura 02. Mapa base del Anexo Alto Pitocuna.....	35
Figura 03. Mapa del Anexo Alto Pitocuna.....	36
Figura 04. Mapa de las unidades muestrales.....	37
Figura 05. Muestreo 1 - Sr. Ignacio.....	39
Figura 06. Muestreo 2 - Sr. Alfonso.....	39
Figura 07. Muestreo 3 - Sr. Alejandro.....	40
Figura 08. Modelo teórico de la investigación.....	42
Figura 09. La textura del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.....	44
Figura 10. El pH del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.....	45
Figura 11. El contenido de materia orgánica del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.....	46
Figura 12. El contenido de fósforo disponible del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.....	47
Figura 13. El contenido de potasio disponible del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.....	48
Figura 14. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.....	49
Figura 15. La saturación de bases (SB) del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.....	50
Figura 16. La acidez intercambiable (AI) del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Operacionalización de las variables de estudio.....	6
Tabla 02. Indicadores físicos de la calidad del suelo.....	21
Tabla 03. Indicadores químicos de la calidad del suelo.....	22
Tabla 04. Indicadores biológicos de la calidad de suelo.....	23
Tabla 05. Propiedades indicadoras físicas, químicas y biológicas seleccionadas para determinar la calidad del suelo.....	24
Tabla 06. Métodos de análisis de suelos.....	32
Tabla 07. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....	33
Tabla 08. Índice de Calidad de Suelos (ICS).....	41
Tabla 09. Resultados de la proporción de arena, limo y arcilla y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.....	43
Tabla 10. Resultados del pH y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.....	44
Tabla 11. Resultados del contenido de materia orgánica y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.....	45
Tabla 12. Resultados del contenido de fósforo disponible y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.....	46
Tabla 13. Resultados del contenido de potasio disponible y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.....	47
Tabla 14. Resultados de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.....	48
Tabla 15. Resultados de la saturación de bases (SB) y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.....	49
Tabla 16. Resultados de la acidez intercambiable (AI) y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.....	50
Tabla 17. Índices de calidad del suelo (ICS) para tres campos cafetaleros.....	51

RESUMEN

Durante el año 2019 se evaluaron tres campos cafetaleros de agricultura intensiva en Alto Pitocuna con los objetivos de: (i) determinar la variabilidad de los caracteres físico-químicos que presenta el suelo, considerando dos profundidades, en tres campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018, y (ii) determinar el nivel de calidad del suelo. Se planteó como hipótesis que las propiedades físico-químicas del suelo son altamente variables, las cuales determinan una baja calidad del suelo. Se evaluaron 8 propiedades del suelo: textura, pH, fósforo disponible, potasio disponible, Materia Orgánica (MO), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), saturación de bases y acidez intercambiable, en términos de su variabilidad a dos profundidades: de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm, en campos con café: El Solitario de 10 años de producción, Virgen de las Nieves de 18 años de producción y San Martín de 14 años de producción de *Coffea arabica* Var. Catimor. Se concluyó que los suelos presentaron bajos niveles de fósforo, potasio y Materia Orgánica, el pH fue extremadamente ácido a moderadamente ácido, la textura fue fina a moderadamente fina, la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) fue baja a moderadamente baja, la saturación de bases fue alta y la acidez cambiante fue baja. El índice de calidad del suelo fue moderado en los suelos estudiados.

Palabras clave: *Coffea arabica*, calidad del suelo, agricultura intensiva.

ABSTRACT

During 2019, three intensive agricultural coffee fields were evaluated in Alto Pitocuna with the objectives of: (i) determining the variability of the physical-chemical characters that the soil presents, considering two depths, in three fields of intensive coffee agriculture (*Coffea arabica*) Var. Catimor in the district of Río Negro, Satipo, 2018, and (ii) determine the level of soil quality. It was hypothesized that the physical-chemical properties of the soil are highly variable, which determine a low quality of the soil. 8 properties of the soil were evaluated: texture, pH, available phosphorus, available potassium, Organic Matter (OM), Cation Exchange Capacity (CEC), base saturation and exchangeable acidity, in terms of their variability at two depths: from 0 - 30 cm and 30 - 60 cm, in fields with coffee: El Solitario of 10 years of production, Virgen de las Nieves of 18 years of production and San Martín of 14 years of production of *Coffea arabica* Var. Catimor. It was concluded that the soils presented low levels of phosphorus, potassium and Organic Matter, the pH was extremely acidic to moderately acidic, the texture was fine to moderately fine, the Cation Exchange Capacity (CEC) was low to moderately low, the saturation of bases was high and changeable acidity was low. The soil quality index was moderate in the soils studied.

Keywords: *Coffea arabica*, soil quality, intensive agriculture.

INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo refleja una combinación de propiedades físicas, químicas y biológicas. Algunas de estas propiedades son relativamente no cambiables, y son propiedades inherentes que ayudan a definir un tipo particular de suelo. La textura del suelo es un ejemplo de ello. Otras propiedades, como el contenido de materia orgánica, pueden ser significativamente cambiadas por el manejo del suelo. Estas propiedades cambiables del suelo pueden indicar el estado de la calidad relativa del suelo y su potencial ¹.

La disminución de la calidad de los suelos en el mundo, es creciente, siendo diversa la causa, como alteraciones de la estructura, compactación, reducción del nivel de materia orgánica, pérdida de suelos por erosión, reemplazo paulatino de áreas pastoriles y forestales en áreas netamente agrícolas o el agotamiento de su fertilidad ².

El principal uso de los suelos tropicales para cultivos permanentes, está precedido por el corte y la eliminación de los árboles de importancia económica y la quema de biomasa aérea restante. Este tipo de agricultura migratoria está alterando los factores climáticos y los patrones ecológicos, debido a la eliminación de los bosques naturales ³. Estos métodos de intervención de la tierra a menudo conducen a una reducción de los niveles de nutrientes en los suelos y, en consecuencia, afectan los patrones dinámicos de los ciclos biogeoquímicos ⁴.

El suelo, como el aire y el agua, es un componente integral de nuestro ambiente y junto con el agua constituye el más importante recurso natural. El uso acertado de este vital recurso es esencial para el desarrollo sostenible y para la alimentación de la creciente población mundial. En décadas anteriores, varios estudios han tratado con la selección de criterios adecuados para evaluar la calidad del suelo. Sin embargo, el monitoreo de cambios en la calidad del suelo, resultado de diferentes sistemas de manejo, ha sido lento. Se requiere la selección de indicadores clave y sus valores límite, que deben ser mantenidos para el normal funcionamiento del suelo, y monitorear los cambios (dirección, tasa, magnitud, extensión, etc.), y determinar tendencias en mejora o deterioro en la calidad del suelo de los diferentes ecosistemas ⁵.

La calidad del suelo está asociado a dos factores fundamentales: las propiedades inherentes y dinámicas del suelo ⁶, y la evaluación de la calidad misma que se da en función del uso y vocación del suelo ⁷. De ahí que, para que este concepto sea utilizable es necesario contar con variables que puedan ser usadas para evaluar la condición del suelo,

sugiriendo así los indicadores, como parámetros que representan una condición actual o brindan información acerca de cambios o tendencias en la calidad del suelo ⁸. Por lo mencionado, un indicador es un atributo simple de suelo que puede ser medido para evaluar la calidad, con respecto a una función determinada. Por tanto, es importante seleccionar los atributos apropiados, dada la naturaleza compleja del suelo y el gran número de parámetros que pueden ser determinados en este ⁶.

Un indicador de calidad del suelo es una variable que resume o simplifica información relevante, y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible dicha información, de tal forma, que haga perceptible un fenómeno o condición de interés. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque también pueden ser variables cualitativas o nominales u ordinales, especialmente cuando no se dispone de información cuantitativa, o el atributo no es susceptible a ser cuantificado ⁷.

Particularmente, los indicadores de calidad del suelo son considerados como herramientas de medición que deben ofrecer información sobre sus propiedades del suelo, procesos que allí ocurren y características generales del mismo. Estos son medidos para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado ⁸.

Por lo expresado, la calidad del suelo en plantaciones de café caracterizados por una agricultura intensiva, debe ser evaluada para analizar la situación actual de las propiedades físico-químicas e identificar los puntos críticos respecto a su uso sostenible y posibles impactos antes de plantear prácticas de manejo del suelo.

La autora.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, la población del mundo supera los 6 000 millones de personas. Cada una de esas personas requiere de una ingesta diaria aproximada de 2 700 kcal en promedio. En el año 1950, 2 500 millones de personas disponían de menos de 2 450 kcal per cápita, lo cual significa que, durante los últimos 50 años, el aumento de la producción agrícola mundial ha sido 1.6 veces superior a la producción total conseguida para el año mencionado, diez mil años después de que se iniciara la historia de la agricultura. Este extraordinario incremento de la producción de alimentos se explica en razón: de la difusión en los países desarrollados de la revolución agrícola moderna (caracterizada por la motorización, la mecanización en gran escala, la selección, la utilización de productos químicos y la especialización) y su expansión en algunos sectores de los países en desarrollo; la existencia, más notable en los países en desarrollo, de una revolución verde (caracterizada por la selección de determinadas variedades de cereales y otras plantas domésticas de alto rendimiento adecuadas a las regiones cálidas, y por la utilización de productos químicos), una forma de revolución agrícola moderna que no depende de una motorización mecanizada en gran escala ^{9, 10}.

Por cientos de años, la agricultura contribuyó de manera considerable a la diversidad de especies y de hábitats, dando origen a muchos de los paisajes de hoy. Sin embargo, durante el último siglo, la agricultura moderna intensiva, como consecuencia de los altos insumos de plaguicidas y fertilizantes sintéticos y de la especialización del monocultivo, ha tenido un impacto nocivo sobre la diversidad de los recursos genéticos de las variedades de cultivos y de razas de animales, sobre la diversidad de las especies silvestres de la flora y de la fauna y sobre la diversidad de los ecosistemas ¹⁰. El cultivo de café con diferentes sistemas de siembra, como: tradicional, tecnificado, semi sombra y sombra, tiene en sus prácticas de manejo del suelo más importantes el uso de materia orgánica y la fertilización en base a análisis de suelo ¹¹. Cuando el suelo donde se cultiva café tiene buenas condiciones físicas y químicas, las raíces son largas, profundas y se expanden en el suelo, lo cual posibilita un amplio suministro de los nutrientes y el agua requeridos por la planta ¹¹. Entonces la calidad del suelo, expresada como la interacción de las propiedades físicas y químicas constituye una evaluación necesaria con fines de una producción sostenible de café, considerando que el sistema de producción intensivo exige optimizar no solo el suelo, como factor de producción, sino también los demás factores, como son el clima y la planta.

1.1.2. Formulación del problema

a) Problema general:

¿Cuál es la calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018?

b) Problemas específicos:

- ¿Qué variabilidad presentan las características físico-químicas del suelo, a dos profundidades, en tres campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018?

- ¿Cuál es el nivel de calidad del suelo en tres campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad de los caracteres físico-químicos que presenta el suelo, a dos profundidades, en tres campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.
- Determinar el nivel de calidad del suelo en tres campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación tecnológica

La determinación de la calidad del suelo, en base a sus parámetros físico-químicos, en una plantación de café, de nivel intensivo, representará una base para el manejo sostenible del suelo, con fines de incremento de la productividad. Esta información puede ser base para otros campos de cultivo de café, de similares características y especialmente para la mejora tecnológica de este cultivo, preservando el ambiente.

1.3.2. Justificación social

La determinación de la calidad del suelo en campos de producción intensiva de café, aporta en la planificación de la producción considerando un esperado incremento, en base a las propiedades del suelo, beneficiando de esa manera a este sector de productores de café en la Selva Central del Perú; además, permite tener una base sólida para eventuales efectos adversos climáticos o fitosanitarios que han venido afectando los niveles de productividad. Es la calidad del suelo la que sustenta una buena productividad, la cual atenúa efectos adversos de los factores planta y clima.

1.3.3. Justificación ambiental

Los datos de la evaluación del trabajo de investigación sobre la calidad del suelo son de utilidad como antecedente para otras investigaciones que abarquen el análisis de cultivos perennes o semiperennes como el cacao y cítricos; al ser utilizados, forman parte de una guía para optimizar los factores o características y dimensiones recomendadas, y así generar beneficios ambientales que corresponden a los objetivos básicos del estudio. La evaluación, tanto para los productores como para los investigadores, permite generar nuevos conocimientos y posibilidad de proponer tecnología que contribuya a la sostenibilidad productiva, agrícola y ambiental.

1.3.4. Importancia

La evaluación de la calidad del suelo, conlleva a caracterizar el suelo, en este caso de un manejo intensivo en café en una zona de Selva Alta, donde los factores de producción deben ser manejados cuidadosamente, dada la fragilidad del sistema agropecuario, y evitar afectar la sostenibilidad ambiental de la zona productiva.

Los efectos de impacto negativo en una producción agrícola intensiva conducen a la deforestación o degradación de los suelos, que son directamente incidentes en la sostenibilidad ambiental, a través de pérdida de la fertilidad del suelo y deforestación, que desequilibran el ecosistema, y que conducen a la aparición de plagas y enfermedades. Evaluar la calidad del suelo, es uno de los factores base para la sostenibilidad.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

H_i: La calidad del suelo es baja en campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

H₀: La calidad del suelo no es baja en campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

1.4.2. Hipótesis específicas

H₁: Las propiedades físico-químicas del suelo, a dos profundidades, son altamente variables en tres campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

H₀: Las propiedades físico-químicas del suelo, a dos profundidades, no son altamente variables en tres campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

H₂: La calidad es baja en tres suelos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

H₀: La calidad no es baja en tres suelos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

1.4.3. Hipótesis alternativa

H_a: La calidad es media a baja en tres suelos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.

1.4.4. Descripción y operacionalización de las variables

Tabla 01. Operacionalización de las variables de estudio.

Variables	Tipo	Definición	Dimensiones	Indicadores
Características fisicoquímicas del suelo	Independiente	Características del suelo, que son el resultado de los factores y procesos de formación del suelo ¹² .	Acidez intercambiable.	Niveles de concentración (% / dS/m): Ácido. Neutro. Alcalino. Alto. Medio. Bajo. Clases texturales.
			Contenido de materia orgánica.	
			Cantidad de fósforo disponible.	
			Cantidad de potasio disponible.	
			Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).	
			Concentración de iones hidrógeno.	
			Concentración de sales solubles.	
			Distribución de tamaño de partículas.	
Calidad del suelo	Dependiente	Medida de la habilidad del suelo para realizar funciones ecológicas particulares ¹² .	Saturación de bases.	Alta.
			Nivel de la calidad del suelo.	Media.
				Baja.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la tesis titulada: "Evaluación de la calidad del suelo, en el sistema productivo orgánico La Estancia, Madrid, Cundinamarca" se tuvo como objetivos: (i) describir el agroecosistema orgánico de la Finca La Estancia, con el fin de conocer su estructura, funcionamiento y manejo, (ii) analizar las características físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes edades de manejo orgánico, y (iii) evaluar la calidad del suelo en el subsistema agrícola de la Finca La Estancia. Se realizó una caracterización de todo el agroecosistema, con el propósito de precisar los efectos de su estructura, funcionamiento y manejo del sistema productivo, sobre el suelo. Se escogieron cuatro lotes para realizar las evaluaciones de calidad del suelo, uno control (sin uso), y tres lotes de diferentes edades de manejo (20 años, 10 años y 3 años), sembrados con hortalizas orgánicas. Como resultado se obtuvo un sistema complejo, que incluyó 33 especies cultivadas y 4 especies animales, requiriendo poca intervención para el manejo de plagas y enfermedades. Una alta calidad de suelos para todos los lotes estudiados. Los indicadores de las propiedades químicas sobrepasaron por mucho los estándares establecidos, excepto el Carbono orgánico donde los lotes obtuvieron porcentajes entre 4.2 y 5 mientras el estándar establecido es de 6.59 %. En los indicadores físicos se observó

un mayor impacto sobre el suelo, posiblemente debido al laboreo permanente, esto se evidenció especialmente en la estructura, donde el Control que no es arado presentó la mejor condición de sus agregados, mientras los lotes de hortalizas presentaron calidades decrecientes de su estructura a medida que tenían más años siendo arados. Biológicamente la actividad de lombrices y de invertebrados, se manifestó con mayores abundancias en los lotes con menos años de manejo; no se observó ningún patrón lógico con relación al arado, donde se hubiese esperado mayor abundancia en el Control. La respiración biológica presentó mayor actividad en el Control. Se concluyó que todos los lotes evaluados presentaron una calidad de suelo alta lo que posiblemente indica un manejo adecuado del suelo y sostenibilidad productiva. Sin embargo, se evidencian que dos factores podrían ser mejorados, los cuales aumentarían la calidad de los suelos con uso (lotes de hortalizas), que son: el tipo de laboreo del suelo y la aplicación de materia orgánica ¹³.

En la investigación titulada: “Evaluación de la Calidad de Suelos mediante el uso de Indicadores e índices” se tuvo como objetivo desarrollar y aplicar un grupo mínimo de indicadores del estado del recurso suelo para evaluar la calidad del suelo en agroecosistemas con Mollisols de bajo a moderado desarrollo. La metodología se probó en una unidad ambiental homogénea, con Hapludols typic, bajo diferentes sistemas de uso y manejo en una cuenca pedemontana de Sur Oeste de la provincia de Córdoba. A las propiedades medidas (carbono orgánico, pH, saturación de bases, agregados estables en agua, velocidad de infiltración, densidad aparente y el espesor del horizonte A, se le establecieron rangos de calidad a partir de los cuales se normalizaron los indicadores. Los indicadores seleccionados son un número mínimo de variables con alto grado de agregación, fáciles de medir y repetibles, representando las condiciones locales. Estos indicadores de estado del recurso suelo no son universales ya que fueron elegidos en función del tipo de ambiente y suelo de la región en estudio ⁷.

En la tesis titulada: “Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica”, desarrollado entre enero y julio de 2005, se tuvo como objetivo identificar

variables físicas, químicas y especies clave del suelo que podrían ser usadas como indicadores de la calidad de los suelos de los cafetales de Turrialba. Las variables comparadas fueron: poblaciones de nematodos, lombrices de tierra, actinomicetos, colémbolos y presencia de microparásitos; densidad aparente del suelo, textura, resistencia a la penetración, porcentaje de humedad, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, zinc, manganeso y hierro. Las fincas tuvieron el mismo tipo de suelo: Inceptisol. Dos muestras fueron tomadas, una en la época seca (marzo - abril) y la otra en la época lluviosa (junio). Tres bosques y tres fincas de café sin sombra fueron usados como testigos. Se utilizó un diseño completamente al azar, con tipo de manejo y época como factores y diez tratamientos, los cuales fueron definidos por diferentes combinaciones de tres plantas de sombra, banano (*Musa* sp.), poró (*Erythrina* sp.) y laurel (*Cordia alliodora*) con el café. Los tratamientos fueron: Café - *Erythrina* Orgánica (CEO), Café - *Erythrina-Cordia* Orgánica (CECO), Café - *Erythrina - Musa* Orgánica (CEMO), Café - *Musa* - Orgánica (CMO), Café - *Erythrina* Convencional (CEC), Café - *Erythrina - Musa* Convencional (CEMC), Café - *Musa* Convencional (CMC), Café - *Erythrina - Cordia* Convencional (CECC), Café en Pleno sol (PS) y Bosque (B). Se calculó un índice de calidad de suelo aditivo para comparar la calidad de los suelos bajo los diferentes sistemas de manejo, usando la producción biológica como el objeto principal de la calidad del suelo. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y entre el manejo orgánico y convencional. Bajo las condiciones del estudio, los resultados sugieren que las fincas bajo el manejo orgánico evidencian una mejor producción biológica y funciones básicas del ecosistema a comparación que las fincas de manejo convencional y de pleno sol ¹⁴.

En la investigación titulada: "Soil Quality Assessment in Rice Production Systems: Establishing a Minimum Data Set", se planteó los siguientes objetivos: (i) identificar indicadores de calidad del suelo que discriminen sistemas de manejo y clases texturales del suelo, (ii) establecer un grupo mínimo de datos de indicadores de calidad del suelo, y (iii) probar si este grupo mínimo de datos está correlacionado con el rendimiento. Se evaluó la calidad del suelo en 21 campos de arroz (*Oriza sativa*) bajo tres sistemas

de producción de arroz (semi-directa, pre-geminada, y convencional) en cuatro clases texturales del suelo en la región Camaquá de Rio Grande do Sul, Brasil. Se evaluaron 29 propiedades físicas, químicas y biológicas, para caracterizar la calidad del suelo a nivel regional. La calidad del suelo se evaluó en base al análisis factorial y discriminante. La densidad de volumen, el agua disponible, y los micronutrientes (Cu, Zn, y Mn) fueron las propiedades más fuertes en diferenciar las clases texturales del suelo. La materia orgánica, las lombrices de tierra, los micronutrientes (Cu y Mn) y el diámetro promedio de poros fueron las propiedades más prominentes en la evaluación de diferencias en calidad del suelo entre los sistemas de manejo de arroz. El manganeso fue la propiedad más fuertemente correlacionada con el rendimiento (r^2 ajustada = 0.365; $p = 0.001$)¹⁵.

En la investigación titulada: "Evaluating soil quality índices in an agricultural región of Jiangsu Province, China", tuvo como objetivos: (i) evaluar la calidad del suelo del Condado de Zhangjiagang, (ii) evaluar la función de diferentes métodos de indicadores, y (iii) seleccionar un método de indicador regional adecuado y modelo de índice de calidad del suelo. Este estudio analizó 431 muestras de suelo, utilizando el Índice Integrado de Calidad y el Índice de Calidad Nemero en combinación con tres métodos de selección de indicadores: Grupo Total de Datos, Grupo Mínimo de Datos y Grupo de Datos Delphi. Un total de 22 parámetros de suelo fueron usados con el método de Grupo Total de Datos. Estas seis combinaciones de métodos de evaluación de calidad del suelo fueron analizadas para determinar cuál es el más adecuado para evaluar calidad del suelo en el condado. Todos los métodos de evaluación revelaron que el Condado tuvo alta calidad del suelo con Antrosols (Inceptisols) que con Cambosols (Entisols). El análisis de regresión y correlación mostró que los Índices Integrados de Calidad se desempeñan mejor que el Índice de Calidad Nemero, en tres métodos de selección de indicadores y el índice integral de calidad fue 9 % superior que el Índice de Calidad Nemero. Aunque los métodos de Grupo Total de Datos es el más preciso, se concluyó que usando el Índice de Calidad Integrado y el método Grupo Mínimo de Datos puede adecuadamente representar el método Grupo Total de Datos ($r^2 = 0.65$) para así ahorrar tiempo y dinero¹⁶.

En la investigación titulada: “Soil quality índices and their application in the hilly loess plateau región of China”, se tuvo como objetivos: (i) desarrollar métodos y modelos de evaluación de calidad del suelo, (ii) verificar la representatividad de indicadores seleccionados de calidad del suelo, y (iii) evaluar los efectos del uso de la tierra sobre la calidad del suelo regional. La investigación fue conducida en 707 km² de meseta montañosa de loess en la provincia de Shaanxi, China. Un total de 208 muestras de suelo fueron tomadas de 5 cuencas bajo 10 tipos de uso de tierra diferentes. Se probaron dos métodos de evaluación integrada (suma y producto ponderado) y dos grupos de indicadores (un grupo completo y mínimo de datos), produciendo cada uno un índice de calidad del suelo. También se realizó una evaluación cuantitativa de calidad del suelo en los diferentes tipos de uso de la tierra. Los resultados mostraron que el método de producto ponderado proporcionó mejor diferenciación de calidad del suelo entre usos de la tierra. Un grupo mínimo de 8 indicadores de calidad del suelo, seleccionados por análisis de factores de un grupo completo de 29 atributos del suelo, reflejaron toda o la mayor parte de la información del grupo total en la evaluación regional de calidad del suelo. Los valores de Índices de Calidad del Suelo bajo diferentes tipos de uso de la tierra variaron de 0.842 para bosques naturales a 0.150 para cultivos permanentes. Los valores para cultivos permanentes, tierras de cultivo, pastos revegetados y pastos cultivados fueron significativamente menores que aquellos de los otros 6 tipos de uso de la tierra, mientras que los índices para arbustos sembrados, bosques reforestados, y pastos naturales fueron significativamente menores que para invernaderos, arbustos naturales y bosques naturales. No se encontró diferencias significativas en Índices de Calidad del Suelo entre cultivos permanentes, tierras de cultivo, pastos revegetados, y pastos sembrados, o entre arbustos sembrados y bosques sembrados. En general, se encontró que la calidad del suelo fue generalmente pobre en toda la región, excepto para bosques naturales, arbustos y áreas de invernadero ¹⁷.

En la investigación titulada: “Soil quality under two different management schemes in coffee plantations of southern Colombia”, se tuvo como objetivo establecer un Índice de Calidad de Suelo Aditivo (ICSA) en arreglos agroforestales de café (*Coffea arabica* L.). El estudio se llevó a cabo bajo

dos esquemas de manejo intensivo y tradicional, en nueve fincas (32 lotes) en el sur de Colombia, durante el año 2013. Se realizó un análisis de separación de medias mediante la prueba de LSD Fisher ($p < 0.05$) a cada una de las variables físicas y químicas del suelo. Las variables que presentaron diferencias entre los esquemas fueron sometidas a análisis de componentes principales para seleccionar el Conjunto Mínimo de Datos (CMD) de los componentes que explicaron la mayor variabilidad y se verificó redundancia entre los indicadores a partir de la correlación. El ICSA se obtuvo a partir de la sumatoria de los Índices de Calidad del Suelo (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 contenidas de arena, arcilla; mientras que las variables químicas fueron: carbono orgánico (OC), P, Ca, Mg, Bases Totales (BT) y Ca/Mg. El mejor ICSA se obtuvo para el manejo tradicional, debido a que los valores de las variables seleccionadas coincidieron en mayor proporción con el objetivo de calidad identificado para la cuantificación del ICSA; en este caso el rendimiento del cultivo, basado en valores límites de producción del cultivo de café ¹⁸.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis titulada: "Enmiendas, calidad del suelo y rendimiento de la asociación *Trifolium pratense* – *Lolium perenne* bajo invernadero", se tuvo como objetivos: (i) evaluar el efecto de niveles de estiércol y dolomita en la calidad del suelo, (ii) evaluar el efecto de niveles de estiércol y dolomita en la salud de la asociación de pasturas (*Trifolium pratense* - *Lolium perenne*), y (iii) determinar los niveles de estiércol y dolomita, de mejor efecto en la calidad del suelo y salud de la asociación de pasturas. El experimento se condujo en invernadero, en suelo fuertemente ácido y textura arcillosa, considerando un diseño completamente randomizado en arreglo factorial 2 x 4 (2 y 4 t/ha de dolomita x 10.15 y 20 t/ha de estiércol) con tres repeticiones y cinco adicionales en macetas de 4 kg de capacidad. Se instaló dos grupos (con y sin planta). Se evaluaron tres periodos: (i) calidad del suelo: (i-1) físico: índice de inestabilidad estructural, densidad aparente y tasa de infiltración, (i-2) Químico: materia orgánica, fósforo disponible,

calcio, magnesio y potasio cambiables, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y pH (i-3); biológico: biomasa y respiración microbial, y materia seca; (ii) salud del cultivo: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, número y peso de nódulos. Los resultados del análisis de variancia, prueba de comparación de promedios de Tukey y el análisis de tendencia, muestra durante los primeros seis meses que los indicadores inestabilidad estructural, densidad aparente disminuyen linealmente a mayor cantidad de estiércol, mientras que la infiltración, los indicadores químicos y los biológicos incrementan; las plantas muestran desbalance de calcio, magnesio y nitrógeno en la dosis de 10 y 15 t estiércol con dolomita. Al año mejora el calcio y magnesio en plantas, además que hay un mayor número de nódulos en el tratamiento con 2 t dolomita/ha, pero menor peso seco total en planta. En el suelo disminuyen los efectos del estiércol en las características físicas, permaneciendo en lo químico y biológico, siendo mejor el desempeño en general, empleando la dosis de 20 t estiércol/ha y 4 t dolomita/ha. Las raíces catalizan y provocan cambios más evidentes en cada uno de los parámetros evaluados ¹⁹.

En la tesis titulada: "Dinámica de los Indicadores de Calidad del Suelo en el Manejo de Sistemas Agroforestales con cacao", se tuvo como objetivos: (i) determinar los cambios en las características físicas y químicas del suelo bajo dos sistemas de producción de cacao, (ii) Determinar la dinámica poblacional de hongos y nematodos asociados a la rizosfera de genotipos de cacao en dos sistemas de producción y (iii) Determinar índices de calidad del suelo en función a sus indicadores físicos, químicos y biológicos. Se instaló un ensayo en la Estación experimental "El Choclino", del Instituto de Cultivo Tropicales, Tarapoto, San Martín, Perú. Se diseñaron dos sistemas de producción de cacao, uno bajo la forma tradicional y otro agroforestal, en ambos sistemas se trasplantaron diez genotipos de cacao y fueron comparados con un híbrido local. Los muestreos de suelos para los análisis físicos, químicos y comunidad microbiana del suelo se realizaron en ambos sistemas por genotipos y en tres profundidades (0 - 20, 20 - 40 y 40 - 60 cm) durante los años 2004, 2006, 2008 y 2010. Se evaluaron los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo y como van variando las poblaciones microbianas (hongos y nematodos) en cada sistema, genotipo, profundidad y año. En

base a estas mediciones se calculó el Índice de Calidad de Suelos (ICS) para los sistemas evaluados. Dentro de las propiedades físicas la densidad aparente y porosidad son los indicadores cuyas medias resultaron estadísticamente diferentes en la mayoría de las evaluaciones, del mismo modo, el pH, contenido de materia orgánica, NPK (relación Nitrógeno/Fósforo/Potasio) y microelementos son los indicadores químicos cuyas medias resultaron estadísticamente diferentes en los sistemas evaluados. La abundancia total de hongos y nematodos, riqueza e índices de diversidad de Shannon-Weaver y Simpson fueron influenciados por los sistemas a través de los años. Se concluye que la alteración del ambiente natural produce una serie de cambios físicos, químicos y biológicos del suelo y por consiguiente también influyeron en la calidad de los suelos para una agricultura sustentable ²⁰.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La calidad del suelo

Aunque se ha ido incrementado el reconocimiento de la importancia de la necesidad de medir y monitorear la naturaleza del suelo para derivar medidas de la calidad del suelo, con frecuencia las aplicaciones han estado algo desenfocadas. Si se han hecho progresos en desarrollar medidas que tienen un amplio grado de aceptabilidad hay necesidad de responder la pregunta “¿calidad del suelo para qué? Se tienen también posteriores inquietudes que son frecuentemente pasados por alto, pero igualmente importantes: “¿a qué escala?”, ¿qué tamaño de unidad ha sido evaluada? y ¿qué tamaño de muestra o qué número de muestras son necesarias sobre un área para la evaluación? ²¹.

Probablemente el concepto más amplio aceptado de calidad del suelo, y en un contexto global es respecto a la producción agrícola. Mientras que el elemento productividad es importante, para ser sostenible la producción agrícola debe estar sustentado por medidas de conservación que aseguren el mantenimiento a largo plazo de la actividad. En este contexto calidad del suelo podría ser definida como “la aptitud de una clase específica de suelo

para funcionar con su entorno, sostener plantas y productividad animal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y sustentar una población saludable”²¹.

Durante la última parte del siglo XX hubo un cambio en la percepción general de la importancia del suelo como un componente ambiental y un reconocimiento de la necesidad de mantener o mejorar la habilidad del suelo para realizar la multitud de funciones que esperamos cumpla el suelo. Al mismo tiempo hubo un reconocimiento que el suelo no es un recurso inagotable, y si es usado inapropiadamente o mal manejado puede perderse en un periodo de tiempo relativamente corto, con una oportunidad muy limitada para su regeneración o reemplazo. Incluso cuando el suelo está dañado es imposible remediarlo, y es imposible lograr su condición anterior al daño. Esta percepción de cambio de la importancia del suelo como un componente ambiental frecuentemente clave ha emergido contra una cuestión de fondo donde siempre hubo un entendimiento de la importancia del agua y del aire en los sistemas ambientales y como ellos pueden ser afectados. Las disminuciones en la calidad de estos dos últimos componentes ambientales son relativamente simples para evaluar debido a que frecuentemente se hace en términos de aptitud para beber en el contexto del agua o aptitud para respirar en el contexto del aire. Además, la evaluación de la calidad del aire y del agua no busca intentar especificar una integración compleja de factores físicos, químicos y biológicos funcionalmente dinámicos y estáticos definiendo un estado ideal para un número infinito de escenarios ambientales de manejo, que si es el caso de cualquier evaluación de la calidad del suelo²².

Contrariamente a los cambios observados en la calidad del aire y del agua, donde la calidad del suelo ha disminuido, los indicadores de este cambio no pueden ser fácilmente observables y las consecuencias de cualquier disminución de calidad del suelo no pueden ser inmediatamente experimentadas. Mientras que la mayoría de países tiene criterios nacionales para aptitud para beber (agua) y aptitud para respirar (aire), con respecto al suelo, excepto en los casos más extremos, rara vez hay tales criterios obvios que pueden ser aplicados y contra los cuales se puede juzgar la calidad del suelo. En parte el problema de desarrollar un índice

para calidad del suelo es acentuado por el hecho que muchos cambios en el suelo pueden ocurrir en largos periodos de tiempo, y la disminución en calidad puede ser solo obvio cuando se presentan impactos acumulativos. Un elemento de complicación adicional es que el suelo no necesariamente cambia como resultado de condiciones cambiantes externas o de uso, frecuentemente el suelo tiene la habilidad para amortiguar los efectos de condiciones potencialmente adversas o mal uso o para filtrar materiales potencialmente dañinos que se le agreguen, al menos hasta algún umbral. En algunas circunstancias el potencial de un suelo para amortiguar las consecuencias de condiciones cambiantes externas, por ejemplo, las aplicaciones de lodos conteniendo metales pesados, puede ser considerado una propiedad de alto valor del suelo, y en este contexto el suelo podría tener alta calidad, pero al tener este amortiguamiento el suelo puede acumular contaminantes que pueden resultar en niveles que excedan algún umbral y como consecuencia la enmienda del suelo puede ser considerada de mala calidad. En parte esta capacidad del suelo para tamponar (amortiguar) las consecuencias de las entradas y cambios en condiciones externas surgen debido a que el suelo es un material extremadamente complejo y variado con muchas propiedades físicas, químicas y biológicas diversas e interacciones entre estas propiedades. Esto es un complejo natural dinámico que frecuentemente hace difícil distinguir entre los cambios que son resultado del desarrollo natural y cambios debido a influencias externa son naturales ²³.

El concepto de calidad del suelo está centrado en la habilidad del suelo para realizar funciones específicas. Se ha propuesto que calidad del suelo es definida como: "la capacidad de una clase específica de suelo, para funcionar, dentro de límites ecosistémicos manejados o naturales, para mantener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua o del aire, y sustentar el hábitat y salud humana ²⁴. Las funciones del suelo incluyen actividad biológica, regulación del flujo de agua; filtrado, taponamiento, degradación, inmovilización, y detoxificación de materiales orgánicos e inorgánicos; almacenamiento y ciclaje de nutrientes; y proporcionar soporte mecánico para estructuras socioeconómicas y protección para tesoros arqueológicos ²⁵.

Dado el amplio espectro de funciones que abarca la definición de calidad del suelo, podría ser difícil, sino imposible, evaluar directamente la calidad de un suelo. Es necesario primero identificar las funciones de interés y luego seleccionar algunos de los indicadores para observar y medir, y de ese modo inferir la habilidad del suelo para realizar la función. Varios autores han propuesto grupos de indicadores de calidad del suelo. Un carácter común del grupo de indicadores propuestos es que todos ellos incluyen alguna combinación de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, sugiriendo que para que un suelo funcione efectivamente, todos los tres componentes deben ser considerados. La evaluación de cada uno de los indicadores seleccionados es completada con una medida cuantitativa, que puede ser realizada en el campo o en el laboratorio. Este enfoque cuantitativo para evaluar la calidad del suelo es bien adecuado para profesionales entrenados quienes pueden coleccionar muestras, conducir ensayos, interpretar resultados, y hacer recomendaciones para la gestión de cambios que puedan conducir a mejorar la calidad del suelo ²⁶.

Muchas propiedades físicas, químicas y biológicas, interrelacionadas, determinan la calidad de un suelo. La mayoría de estas propiedades son fáciles de medir y deberían ser periódicamente evaluadas para las decisiones de manejo del suelo y del cultivo que puedan mantener la productividad del cultivo. Mejorando la calidad del suelo se puede tener una gran influencia sobre la rentabilidad, mediante: (i) el incremento del vigor de la planta y en rendimiento, (ii) reducción del riesgo de pérdida de rendimiento mediante el stress (pestes, sequía), (iii) reducción de costos (menor labranza, fertilizantes y uso de pesticidas). Las prácticas de manejo que degradan un suelo reducen el rendimiento del cultivo y rentabilidad al productor. Cuando un suelo no está funcionando en su completa capacidad, se pueden medir los cambios en muchas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo ²⁷.

Aunque todas las propiedades inherentes de un suelo son importantes, el contenido de materia orgánica es el más crítico, debido a su influencia en muchas características de un suelo productivo. Por ejemplo, el incremento de Carbono al suelo incrementa la estabilidad de los agregados y reduce la densidad de volumen, lo cual incrementa la infiltración, mejora la

proliferación de raíces a través del suelo, y mejora la resistencia del suelo a la erosión del agua y del viento. El estado-estable del nivel de materia orgánica del suelo depende de las prácticas de manejo del suelo y del cultivo que influyen en la acumulación y pérdida de materia orgánica. Si se cambian las prácticas de manejo, se obtiene un nuevo nivel de materia orgánica que puede ser mayor o menor que el nivel previo. Cuando un suelo virgen es cultivado, la materia orgánica disminuye rápidamente durante los primeros diez años y luego disminuye a tasas gradualmente menores por varias décadas. El incremento de la aireación por la labranza del suelo estimula la oxidación microbial del Carbono orgánico del suelo e incrementa la pérdida del suelo superficial por la erosión del agua y del viento. Muchos estudios han sugerido que, bajo un cultivo continuo, la materia orgánica del suelo disminuye aproximadamente 50 % en 40 a 70 años, dependiendo del ambiente y cantidad de residuo retornado. Eventualmente se alcanza un equilibrio, cuando se iguala la pérdida y ganancia de materia orgánica ²⁷.

El término calidad del suelo es mejor aplicado al suelo como un componente de un gran ecosistema que sostiene el crecimiento de las plantas, regula el flujo de agua, etc. La calidad del suelo describe las propiedades que hacen a un suelo apto para realizar funciones particulares en apoyo a los seis amplios roles ecológicos de los suelos: (i) sostén del crecimiento de las plantas, (ii) regulador de agua, (iii) hábitat de organismos, (iv) regulador de agua, (v) regulador de la atmosfera, y (vi) medio ingenieril. Exactamente que constituye un suelo de alta calidad depende de cuál de estos roles está bajo consideración. En otras palabras, debe tomarse en cuenta la intención de uso o el objetivo del manejo del suelo. Por ejemplo, un suelo bien adaptado para servir como un medio ingenieril (para una construcción), no puede estar adaptado para sostener el crecimiento de las plantas ¹².

El objetivo del manejo de la productividad de la planta es maximizar el crecimiento y calidad de las plantas deseadas. Para un agricultor la producción vegetal deseada puede ser cultivos comerciales, para un productor pecuario podría ser forraje palatable, y para un administrador de vida silvestre podría ser la vegetación como hábitat de fauna y flora. La

meta del manejo del reciclaje de residuos intenta usar eficientemente el suelo como un medio para asegurarse y beneficiarse con el estiércol, los lodos de depuradora y otros “residuos”. La meta de la protección ambiental intenta detoxificar, inmovilizar, o aislar contaminantes potenciales para proteger los canales alimenticios y favorecer (o al menos mantener) la calidad de los recursos suelo, agua y aire. En este contexto, la calidad del suelo describe la capacidad del suelo para realizar un grupo de funciones particulares que son requisitos para cubrir un objetivo de manejo ¹².

Cada una de las funciones del suelo están asociadas con ciertos procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Ejemplos de tales procesos incluyen el mantenimiento de nutrientes disponibles para la planta en la solución suelo, la lixiviación de contaminantes a través del suelo hacia la capa freática, la erosión del suelo por el viento o el agua, y el intercambio de gases con la atmosfera que influencia la habilidad del suelo para realizarlos. No es siempre posible medir directamente las tasas de estos procesos, pero nosotros podemos fácilmente medir propiedades específicas del suelo que son indicativos de estas tasas. Las propiedades medidas son denominadas indicadores de calidad del suelo ²⁸.

2.2.2. Indicadores de calidad del suelo

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas o nominales o de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, o el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras ²⁹.

Las principales características de los indicadores son: (i) limitados en número y manejables por diversos tipos de usuarios, (ii) sencillos, fáciles de medir y tener un alto grado de agregación, es decir, deben de ser propiedades que resuman otras cualidades o propiedades, (iii) interdisciplinarios, en lo posible deberán contemplar la mayor diversidad de situaciones por lo tanto incluir todo tipo de propiedades de los suelos (químicas, físicas, biológicas, etc.), (iv) tener una variación en el tiempo tal que sea posible realizar un seguimiento de las mismas, asimismo, no deberán poseer una sensibilidad alta a los cambios climáticos y ambientales pero la suficiente como para detectar los cambios producidos por el uso y manejo de los recursos ³⁰.

Los indicadores directos frecuentemente empleados corresponden a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; luego para que ellas puedan ser consideradas como indicadores, deben cumplir con las siguientes condiciones ³¹:

- a) Describir los procesos del sistema;
- b) Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo;
- c) Reflejar atributos de sostenibilidad que se quieren medir;
- d) Ser sensitivas a variaciones de clima y manejo;
- e) Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo;
- f) Ser reproducible;
- g) Ser fáciles de entender;
- h) Ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; y
- i) Cuando sea posible ser componente de una base de datos del suelo ya existente.

Los indicadores del suelo deberían permitir ³²:

- a) Analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible;
- b) Analizar los posibles impactos antes de una intervención;
- c) Monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y
- d) Ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

- Indicadores físicos:

Se trata de propiedades del suelo que no se puede modificar fácilmente ³². Están relacionados a parámetros como la resistencia mecánica, la transmisión y el almacenaje de fluidos en la zona de exploración de las raíces. Una estimación indirecta de la capacidad de almacenar agua y aire en la zona de exploración de las raíces es a través de la estabilidad de la estructura, debido a que este parámetro gobierna tantos aspectos relacionados con la compactación como con los vinculados con el almacenaje y movimiento de agua y aire ³³ además de la susceptibilidad a la erosión hídrica, manejo de labranzas y el contenido de materia orgánica ³⁴.

Se debe incluir además a la textura, pues se encuentra relacionada con la porosidad, infiltración y disponibilidad de agua. Las propiedades físicas más útiles como indicadores de la calidad del suelo son las relacionadas con el arreglo de las partículas, los poros y la estabilidad de agregados, pues estos reflejan la forma en que el suelo capta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que presenta a la emergencia de plántulas y crecimiento de raíces ³⁵. La variedad de indicadores es amplia, sin embargo, éstas varían de acuerdo a las características predominantes del lugar y con el manejo ³¹.

Tabla 02. *Indicadores físicos de la calidad del suelo.*

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo	Valores o unidades relevantes, comparaciones para evaluación
Textura	Retención y transporte de agua y minerales; erosión del suelo.	Porcentaje de arena, limo y arcilla; pérdida de sitio o posición del paisaje.
Profundidad (suelo superficial y raíces)	Estimación del potencial productivo y de erosión.	cm; m.

Infiltración y densidad aparente	Potencial de lixiviación, productividad y erosión.	min/2,5 cm agua; g/cm ³ .
Capacidad de retención de agua	Contenido de humedad, transporte, erosión, humedad aprovechable, textura, materia orgánica.	% (cm ³ /cm ³); cm humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación (mm/h).
Estabilidad de agregados	Erosión potencial de un suelo, infiltración de agua.	% agregados estables.

Fuente: Seybold et. al. ²⁵, Doran y Parkin ³¹ y Larson y Pierce ³⁶.

- **Indicadores químicos:**

Los indicadores químicos de la calidad del suelo se refieren a las condiciones de este tipo que afectan a las relaciones suelo - planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos. Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, pH, conductividad eléctrica, Capacidad De Intercambio Catiónico (CIC), Materia Orgánica (MO) ²⁸. De la interacción de los atributos químicos de un suelo, que definen la fertilidad, depende la producción vegetal en los ecosistemas. Dentro de los componentes químicos destaca se destaca el carbono orgánico, del cual dependen directamente la diversidad y actividad de las poblaciones de fauna edáfica y microorganismos, así como muchas otras propiedades del suelo ³¹.

Tabla 03. *Indicadores químicos de la calidad del suelo.*

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo	Valores o unidades relevantes, comparaciones para evaluación
Contenido de materia orgánica	Fertilidad de suelo, estabilidad y grado de erosión, potencial productivo.	kgC/ha

pH	Actividad química y biológica.	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana.
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica y crecimiento de las plantas.	dS/m; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana.
N,P,K extraíbles	Disponibilidad de nutrientes para las plantas, indicadores de productividad y calidad ambiental.	kg/ha; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos.
Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)	Fertilidad del suelo, potencial productivo.	cmol/kg

Fuente: Seybold *et. al.* ²⁵, Doran y Parkin ³¹ y Larson y Pierce ³⁶.

- Indicadores biológicos:

Las propiedades biológicas del suelo son indicadores de estrés y son idóneas para su uso en los diferentes programas de evaluación y monitorización de la calidad del suelo ³⁷. Generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los organismos, incluidas bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos ³⁸. Se incluye el rendimiento del cultivo como indicador, así como el equilibrio nutritivo de estos ³⁵.

Tabla 04. *Indicadores biológicos de la calidad de suelo.*

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo	Valores o unidades relevantes
Contenido de biomasa microbiana	Potencial catalizador microbiano, reposición de C y N.	kgC/ha relativo al C, N total o al CO ₂ producido.

Aireación, contenido de agua, temperatura	Medición de la actividad microbiológica.	kgC/ha/día relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entradas al reservorio total de C.
Contenido de lombrices	Actividad microbiana.	Número de lombrices.
Rendimiento del cultivo	Producción potencial del cultivo, disponibilidad de nutrientes.	kgproducto/ha

Fuente: Seybold *et. al.* ²⁵, Doran y Parkin ³¹ y Larson y Pierce ³⁶.

La tabla 04 ilustra un grupo de datos sugeridos de propiedades indicadoras para la determinación de la calidad del suelo en relación seis funciones del suelo: (i) ciclo de nutrientes, (ii) relaciones hídricas, (iii) estabilidad y soporte físico, (iv) amortiguamiento y filtración, (v) resistencia y resiliencia, (vi) biodiversidad y hábitat. Por ejemplo, en el caso de la función ciclo de nutrientes (que sustenta el objetivo del manejo productivo de la planta), los indicadores de calidad del suelo podrían incluir propiedades medibles como nitrógeno potencialmente mineralizable, nivel de análisis de fósforo en el suelo, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico y profundidad del suelo, entre otros ¹².

Tabla 05. *Propiedades indicadoras físicas, químicas y biológicas seleccionadas para determinar la calidad del suelo.*

Funciones ecológicas del suelo más cercanamente asociadas						Descripción de la propiedad
Ciclo de nutrientes	Relaciones hídricas	Estabilidad-soporte	Amortiguamiento-filtración	Resiliencia-Resistencia	Biodiversidad-hábitat	
X				X	X	BIOLÓGICAS Índice de madurez de nematodos
X			X	X	X	Diversidad de mesofauna
X	X	X	X	X	X	Nº lombrices
X				X	X	Respiración

			X		X	C en biomasa microbial
X						P en biomasa microbial
X			X			N potencialmente mineralizable
X				X	X	Actividad enzimática
X			X	X	X	Diversidad funcional microbial
X			X	X	X	Diversidad microbial genómica
QUÍMICAS						
X	X			X	X	C oxidable por KMnO ₄
X			X		X	P disponible
X			X	X		Capacidad fijación P
X			X		X	K disponible
X			X	X	X	pH suelo
	X	X		X	X	Conductividad eléctrica
X	X	X	X	X	X	Relación adsorción sodio
X	X	X	X	X	X	C orgánico total
X			X	X		Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)
FÍSICAS						
X	X	X	X	X	X	Estabilidad agregados
X	X	X		X	X	Densidad de volumen
X	X		X	X	X	Profundidad de enraizamiento
	X		X	X	X	Capacidad de retención de agua
	X	X	X	X		Capacidad de infiltración
X	X	X	X	X	X	Encostramiento superficial

Fuente: Adrews *et. al.*³⁹, Eigenberg *et. al.*⁴⁰, Karlen *et. al.*⁴¹, Cambardella *et. al.*⁴² y Weil *et. al.*⁴³.

Un objetivo de manejo particular o rol ecológico involucra varias funciones del suelo; cada función puede involucrar varios procesos, y cada proceso puede estar asociado con varias propiedades indicadoras físicas, químicas y biológicas. Por lo tanto, el número de propiedades medidas para evaluar la calidad del suelo puede una docena o más, muchas de las cuales pueden ser medidas en el campo. Cada una de estas medidas deben ser interpretadas con relación a sus implicancias para las funciones del suelo bajo consideración. Por ejemplo, si la densidad de volumen es medida como 1.5 Mg/m^3 , deberíamos preguntarnos “¿es demasiada alta, demasiada baja, o es la correcta?” para facilitar las funciones de regulación del agua, proporcionar hábitat, y así sucesivamente. Para algunos indicadores (por ejemplo, materia orgánica del suelo) los valores altos pueden ser los más deseables, para otros (por ejemplo, densidad de volumen) los valores bajos son mejores, y para otros aún (ejemplo, el pH) pueden tener un valor óptimo, debajo o sobre el cual la función del suelo lo permite ¹².

2.2.3. Evaluación de la calidad del suelo

Para proporcionar una evaluación completa que pueda facilitar la comprensión de la calidad de un suelo a otro, de alguna manera hay necesidad de integrar muchas propiedades indicadoras. Esta tarea se hace más compleja por el hecho de que las medidas son expresadas en muchas diferentes clases de unidades tales como mg/kg, dS/m, cmol/kg, o Mg/m^3 . Para llegar a un simple número que pueda ser usado para comparar un suelo a otro, se puede calcular un Índice de Calidad del Suelo (ICS) que integre las muchas clases de datos colectados. Algunos científicos han creado curvas de puntuación que son usadas para dar medidas de cada indicador una puntuación sin unidades que van desde 0 (no está funcionando) a 10 (funcionando óptimamente). Debería enfatizarse que muchas de estas curvas de puntuación dependen de los tipos de suelo, tipos de planta, o condiciones involucradas. Por ejemplo, la curva de puntuación para pH del suelo implica un nivel óptimo entre 6 y 7. Mientras que esto es aplicable a productividad para la mayoría de cultivos

agronómicos, el óptimo para cultivos en Histosols, o de ciertas plantas forestales para suelos minerales, debe estar cercano a pH 5 ¹².

2.2.4. Factores del suelo que inciden en la productividad del café

Las concentraciones de aluminio en la solución suelo superior a 1 mg/kg frecuentemente son causa directa de la reducción de rendimiento. El crecimiento de distintas especies en suelos ácidos depende de su relativa tolerancia a los niveles de aluminio y a sus necesidades relativas de calcio y magnesio. Recientemente se ha encontrado que existen diferencias considerables entre y dentro de especies de cultivos en relación con su tolerancia a los factores de la acidez del suelo. Ciertos cultivos exclusivamente tropicales crecen normalmente a niveles de pH con el que el maíz o la soya morirían. La piña quizás es el ejemplo más conocido, pero el café, el té, el caucho y la yuca toleran niveles altos de aluminio intercambiable ⁴⁴.

A pesar de los requerimientos de fósforo por el cafeto, ésta es mucho menor en comparación con los de nitrógeno y potasio. Hay una alta demanda de este elemento por la planta para el desarrollo de la flor, la floración, así como para la formación y maduración de los frutos. El fósforo también está asociado con el crecimiento de raíces, por lo cual es recomendable realizar una buena aplicación al momento del establecimiento de la plantación y así favorecer un buen desarrollo radicular. La deficiencia de fósforo se presenta generalmente en las hojas más viejas donde se observan manchas amarillas con coloraciones rojas y vino tinto, mientras que las hojas nuevas tomen un color verde más oscuro de lo normal y muestran menor crecimiento. En casos severos se produce una caída total de las hojas portadoras de los frutos en maduración ⁴⁵.

El café como la mayoría de los cultivos tropicales, tiene una alta demanda por el potasio. El potasio es requerido en grandes cantidades para el crecimiento de la planta de café y aún más para su fructificación. Cabe mencionar que la mayoría de los suelos vírgenes en los que se establecieron originalmente las plantaciones tenían originalmente adecuados niveles de potasio que se han podido mantener. En caso de

deficiencias de potasio, los síntomas aparecen inicialmente en las hojas viejas presentando manchas amarillas, en las cuales hay coloraciones rojas. Las manchas son de diferente tamaño y pueden llegar a cubrir toda la hoja. En casos severos, las ramas empiezan a secarse por las puntas y las hojas se desprenden con facilidad hasta ocasionar la muerte de las ramas. El cafeto formará además pocas flores y un menor número de frutos maduros. Los frutos afectados por la deficiencia muestran distintos grados de deterioro: no completan su desarrollo, se tornan marrones y terminan completamente negros, permaneciendo por algún tiempo adheridos a las ramas. Una cantidad considerable de estas cerezas negras forman la cachaza durante la separación en el beneficio. Los frutos de café que alcanzan su madurez en plantas con deficiencia de potasio tienen comparativamente poco peso. Además, la deficiencia de potasio torna a los cafetos más susceptibles a plagas y enfermedades ⁴⁵.

El magnesio es otro elemento esencial para el cafeto. Debido a que el magnesio es altamente móvil en la planta de café, los primeros síntomas de deficiencia aparecen en las hojas viejas, presentándose el amarillamiento entre las nervaduras comenzando en la base de las ramas y extendiéndose hacia la punta. Las hojas más viejas se desprenden de las ramas, principalmente de las que tienen frutos en maduración. Además, se presenta un crecimiento pobre de las raíces, así como una drástica alternancia en la producción, viéndose reducida sus cosechas. Al no contrarrestar la falta de magnesio, el cafeto tendría una vida productiva corta. Las deficiencias de magnesio se producen principalmente durante la época de formación y maduración del fruto y asociadas con altas niveles de potasio en el suelo ⁴⁵.

Se recomienda contenidos adecuados de nutrimentos en un suelo para el cultivo de café: un pH entre 5.5 a 6.5; aluminio adecuado 0.3 cmol/kg; calcio de 4.0 a 20 cmol/kg; magnesio de 1 a 10 cmol/kg; potasio de 0.2 a 1.5 mg/kg; fósforo de 10 a 40 mg/kg; manganeso de 5 a 50 mg/kg; zinc de 3 a 15 mg/kg, cobre de 1 a 20 mg/kg y hierro de 10 a 50 mg/kg ⁴⁶.

Un suelo bueno para café debe tener adecuadas propiedades químicas: pH entre 4.5 a 5.5; suma de bases mínimo 8 cmol/kg; 60 % de saturación de bases, 35 g/kg de materia orgánica; 4 cmol/kg de calcio y 1 cmol/kg de

magnesio ⁴⁴. El café se cultiva en suelos de buen drenaje, con un buen balance de agua y aire, además deben tener una buena profundidad efectiva y un gran porcentaje de materia orgánica ⁴⁴.

El crecimiento y la buena producción de café dependen de las buenas condiciones físicas y químicas de los suelos profundos, porque entre 12 y 15 cm de la superficie se encuentran el mayor porcentaje de raíces activas fisiológicamente (aproximadamente 70 %), encargados de la absorción de agua y nutrientes ⁴⁴.

En la selva alta existen cinco órdenes de suelos donde se siembra café, pero de ellos, solo dos son los predominantes y son suelos ideales para este cultivo, de acuerdo a su importancia, en estos suelos, si se hacen las correcciones del caso, se puede llegar a producir los máximos rendimientos por hectárea y de máxima calidad; son generalmente suelos físicamente buenos pero con deficiencias químicas, fáciles de solucionar; estos suelos son: los Inceptisols, los más pobres del mundo, pero manejados técnicamente pueden permitir máximos rendimientos y los Alfisols, suelos intermedios, con buen pH y buenas propiedades químicas, todos ellos en selva alta. En resumen, si queremos producir café tenemos que abonar ⁴⁴.

2.2.5. Efectos de la agricultura intensiva sobre la calidad del suelo

Las evidencias directas e indirectas sugieren que los sistemas de producción agrícola intensiva han tenido efectos positivos y negativos sobre la calidad del suelo ¹²:

- Efectos positivos:
 - Contenido de nutrientes del suelo: sobre el lado positivo, la agricultura intensiva generalmente ha mantenido o ha incrementado los niveles de algunos macronutrientes en el suelo, desde que estos elementos son comúnmente suministrados desde fuentes externas, tales como estiércoles, cal, o fertilizantes.

Donde se han usado aplicaciones apropiadas de fertilizantes químicos, los componentes de la calidad del suelo, N, P y K han sido mejorados ¹².

- Materia orgánica del suelo: la agricultura intensiva también ha incrementado el nivel de producción de las plantas, permitiendo un correspondiente incremento en la cantidad de residuos de cultivo que pueden ser retornados al suelo para mejorar su calidad. Tales residuos proporcionan cubierta del suelo, reducen la erosión, y pueden ayudar a mantener o incrementar los niveles de materia orgánica del suelo ¹².
- Presión de uso de la tierra: la agricultura se ha intensificado mayormente sobre suelos de niveles relativamente más productivos, donde los riesgos de erosión no son tan altos. Para producir mayor cantidad de alimentos sobre estos suelos, la necesidad de expansión sobre tierras más frágiles ha sido minimizada, preservando la calidad del suelo (y otros beneficios ambientales) sobre las tierras de cultivo naturalmente disponibles ¹².

- Efectos negativos:

Cuando las tierras son cultivadas intensamente y los nutrientes son removidos con las cosechas, usualmente aparecen primero las deficiencias de nitrógeno y fósforo. En algunos suelos, especialmente aquellos que son altamente erosionados y bajos en arcillas del tipo 2:1, la remoción de nutrientes por los cultivos baja rápidamente los niveles de potasio. La aplicación de fertilizantes químicos generalmente proporciona amplias cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio. Sin embargo, los micronutrientes removidos en las cosechas no son usualmente reemplazados por fertilizantes N/P/K estándar, de tal manera que pueden aparecer deficiencias de micronutrientes. El uso de grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados también puede conducir a incrementar la acidificación del suelo. Ambos efectos podrían bajar la calidad del suelo ¹².

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

a) Método general o teórico de la investigación

Se plantea el método general hipotético - deductivo, este método tiene como enfoque principal utilizar la investigación empírica y la investigación teórica, siendo llamado como empírico lo real, acumulativo y elaborativo; mientras que, la segunda plantea un concepto de construcción de hipótesis y teorías a partir del material objeto acumulado ⁴⁷.

Este método es ampliamente usado en la vida real como en la investigación científica. Consiste en generar hipótesis acerca de las posibles soluciones del planteamiento del problema y en su respectiva comprobación de estos a partir de los datos, si estos coinciden con ellos. La generación de las hipótesis plantea dos escenarios, cuando la investigación está más próxima al nivel observacional, que se podría decir, el nivel más simple, se formulan hipótesis, del tipo empírico llevado a la experiencia y el segundo escenario cuando el sistema es más teórico se generan hipótesis del tipo abstracto ⁴⁸.

Esta investigación presenta ambos escenarios, teniendo como premisa que una investigación no siempre es encasillada con un modelo único, sino debe buscar el mejor escenario para su nivel explicativo que pretenda conducirse. En ese ámbito la investigación parte desde un modelo observacional de la problemática de la calidad del suelo en zonas cafetaleras (método observacional) para luego generar conclusiones a través de un procedimiento analítico generando posibles hipótesis (método teórico).

Esto no representa que la línea investigativa termine en este sentido, ya que este método tiene como naturaleza, llevar nuevamente a un razonamiento observacional planteando nuevas hipótesis, convirtiéndose así en una siguiente línea de investigación futura, abierta a nuevas hipótesis.

b) Método específico de la investigación:

Se utilizó el método de análisis: las muestras de suelo del Anexo Alto Pitocuna fueron analizadas a sus dos profundidades, la primera muestra de 0 - 30 cm y la segunda muestra de 30 - 60 cm, para un análisis de caracterización, incluyendo pH, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, Materia Orgánica (MO), fósforo, potasio, textura, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y cationes cambiabiles. Estos datos se presentan en original en el anexo 01 y fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Tabla 06. *Métodos de análisis de suelos.*

Parámetro	Método	Unidad de Expresión
pH	Potenciómetro	Unidad de pH
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductómetro	dS.m ⁻¹
Carbonato de Calcio	Calcímetro	%

Materia Orgánica	Walkley-Black	%
Fósforo disponible	Olsen modificado	ppm
Potasio disponible	Acetato de amonio	ppm
Textura	Hidrómetro	% Arena, Limo y Arcilla
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Acetato de Amonio	meq/100 g
Cationes cambiables	Absorción atómica	meq/100 g

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (anexo 02).

- Muestreo de suelos:

El área de estudio abarcó 1 591.05 ha y tuvo la siguiente ubicación política:

*Anexo : Alto Pitocuna.

*Distrito : Río Negro.

*Provincia : Satipo.

*Departamento : Junín.

La ubicación geográfica de los tres puntos de muestreo se presenta en la tabla 07.

Tabla 07. *Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.*

Punto de muestreo	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
Muestra 1	543795	8777483	1385
Muestra 2	544486	8777474	1422
Muestra 3	545101	8777106	1618
Muestra 1	543795	8777483	1385

Fuente: elaboración propia.

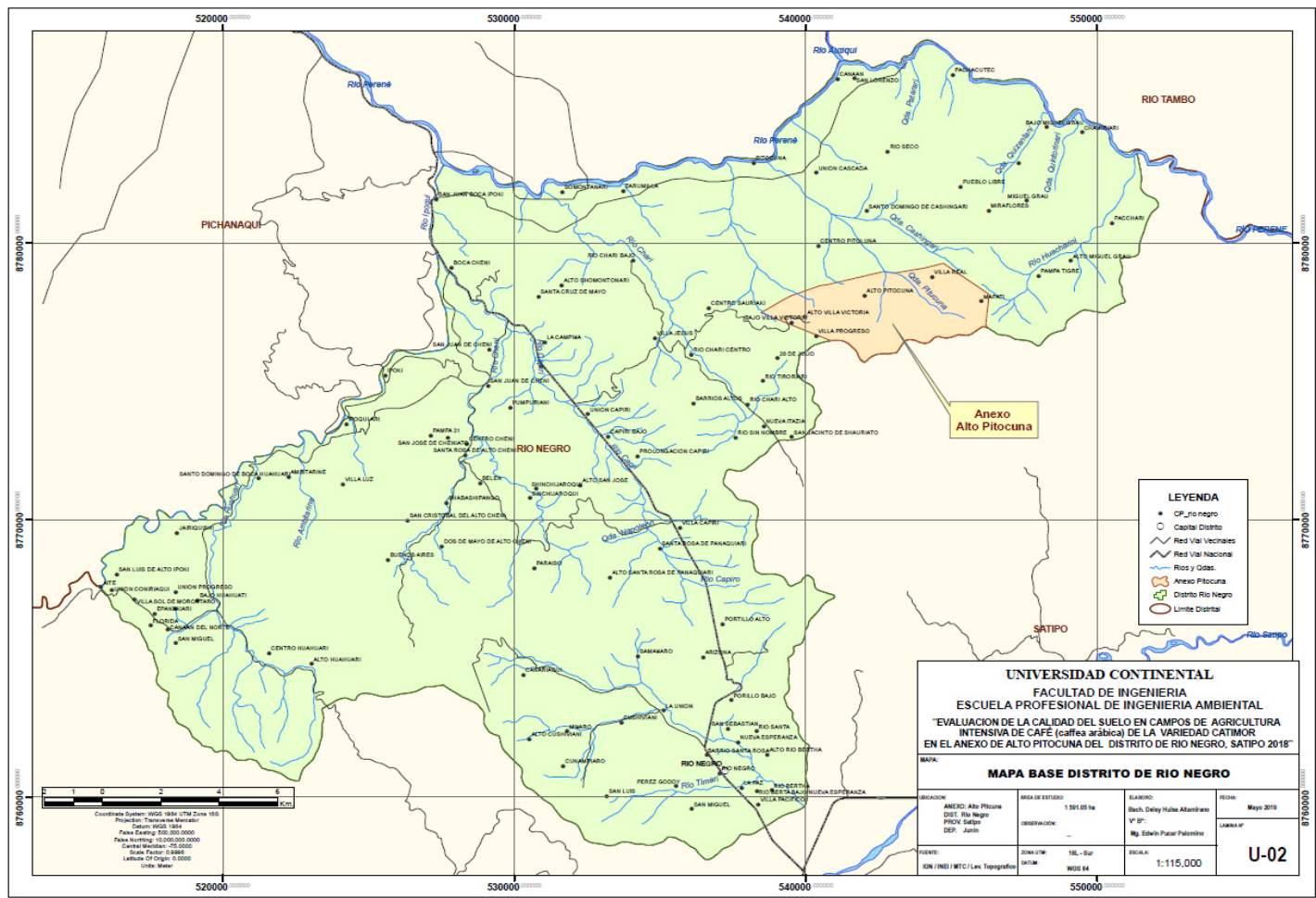


Figura 01. Mapa base del distrito de Río Negro.

Fuente: elaboración propia con ArcGIS.

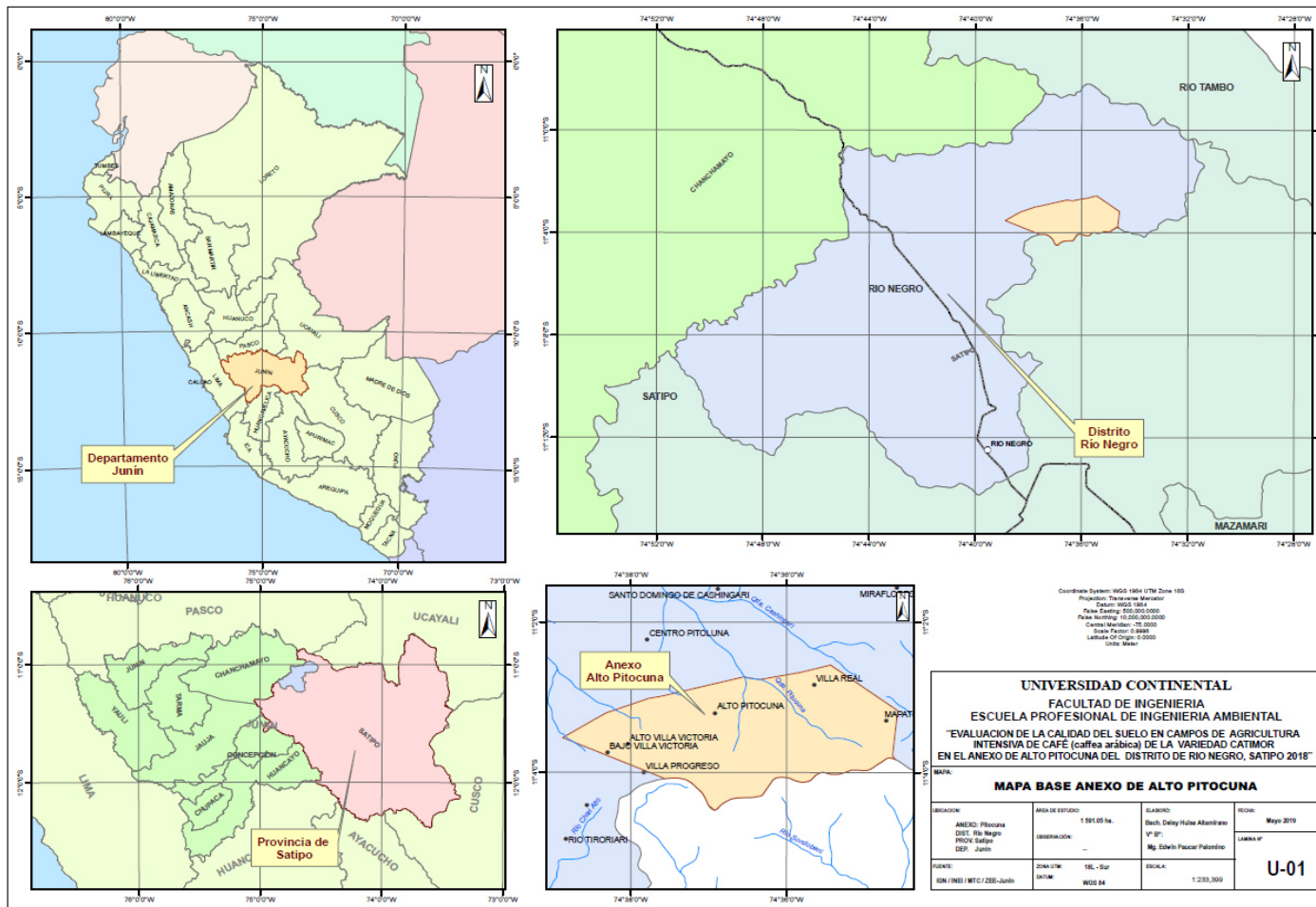


Figura 02. Mapa base del Anexo Alto Pitocuna.

Fuente: elaboración propia con ArcGIS.

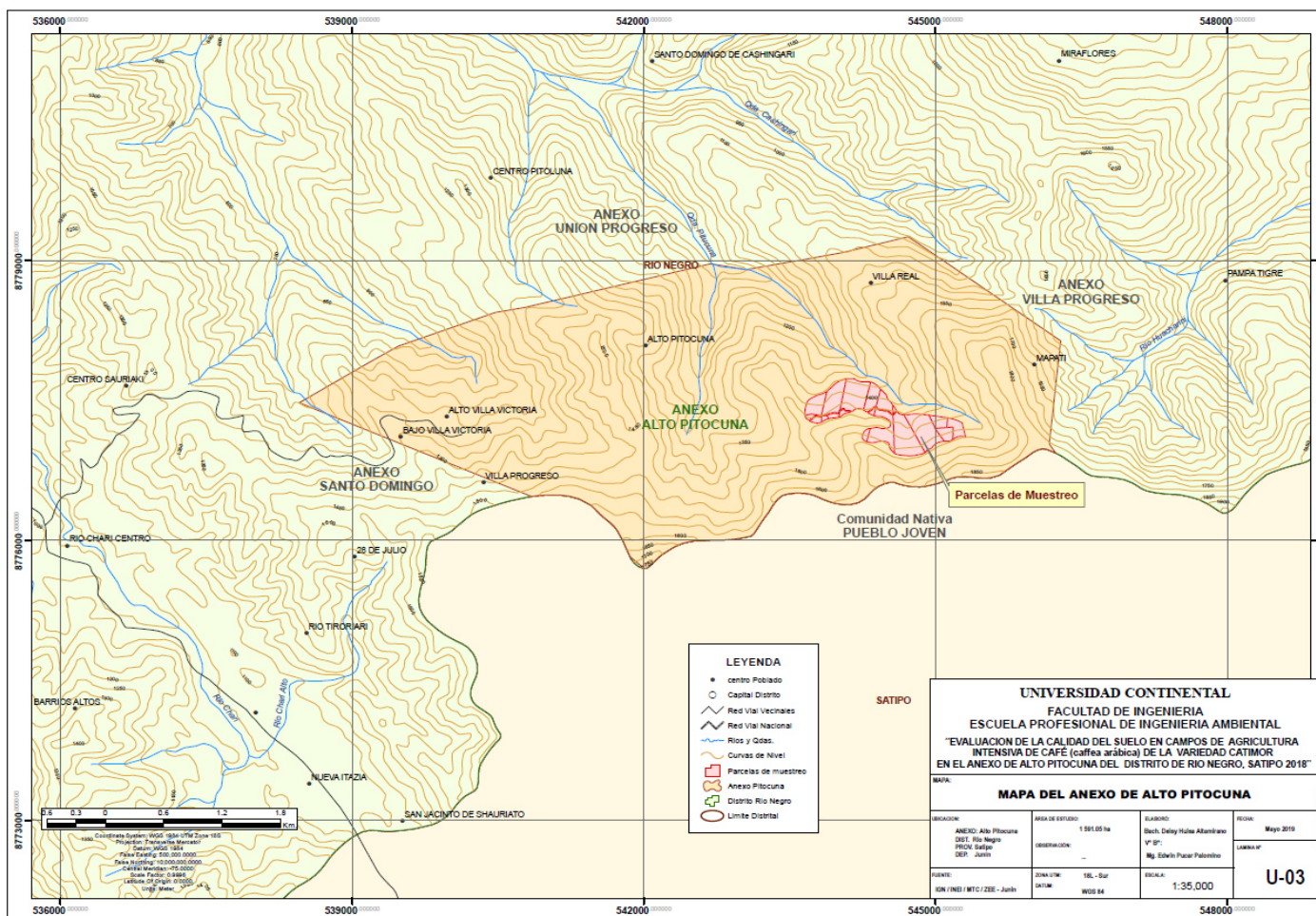


Figura 03. Mapa del Anexo Alto Pitocuna.

Fuente: elaboración propia con ArcGIS.

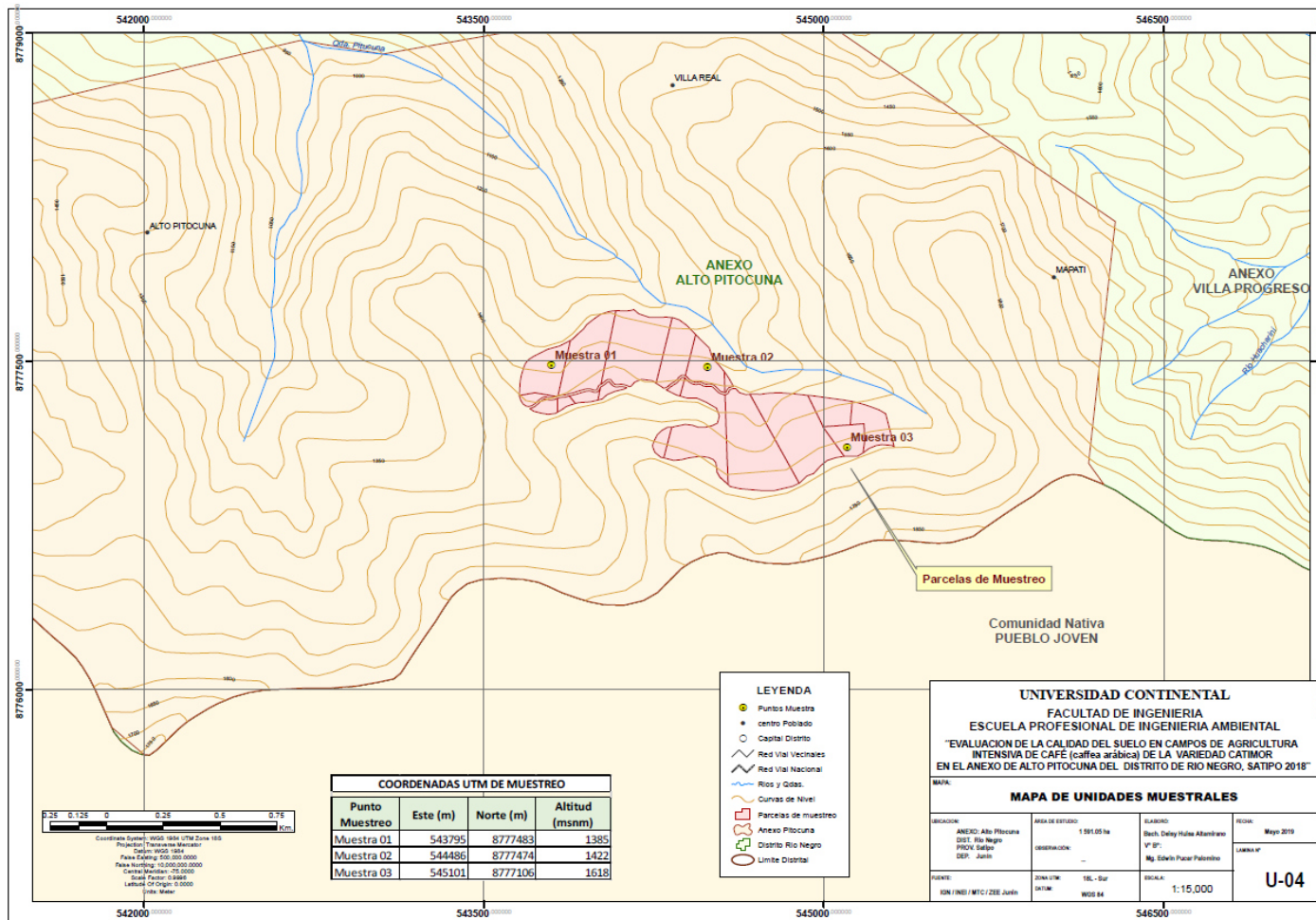


Figura 04. Mapa de las unidades muestrales.

Fuente: elaboración propia con ArcGis.

3.1.2. Tipo de la investigación

La investigación es aplicada, pues es de naturaleza eminentemente práctica para aplicar las bases teóricas de la evaluación de la calidad del suelo en el comportamiento de plantaciones de cafetal que tiene un uso intensivo. La presente investigación es un estudio de tipo cuantitativo, pues se centra en aspectos observables y susceptibles de cuantificación, como son las propiedades del suelo analizadas ⁴⁹.

3.1.3. Nivel de la investigación

La investigación es correlacional, porque el interés está en explicar la calidad del suelo de cafetales de uso intensivo en base a las propiedades del suelo, a dos profundidades ⁴⁹.

3.2. Diseño de la investigación

La presente investigación es no experimental, siendo este un diseño descriptivo - correlacional, el cual se expresa en la comparación de los tres suelos estudiados en base a las pruebas de laboratorio que muestran la caracterización de los suelos, realizándose solamente la descripción de los parámetros encontrados en las pruebas de laboratorio. Su propósito es describir las variables determinadas por las propiedades del suelo que determina su calidad ⁴⁹.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está constituida por los suelos del Anexo Alto Pitocuna, en una extensión de 1 591.05 ha, donde predomina plantaciones de café, variedades Catimor, Pache, Caturra, Borbón. También se observó plantaciones de palto en sus variedades Hass y Fuerte.

3.3.2. Muestra

Las muestras de suelos fueron ubicadas en tres lugares: (i) Parcela del Sr. Ignacio, de 5 ha, cuyo cafetal tiene 10 años de edad, (ii) Parcela del Sr. Alfonso, de 4 ha, cuyo cafetal tiene 18 años de edad, (iii) Parcela del Sr. Alejandro, de 6 hectáreas, cuyo cafetal tiene 14 años de edad. En cada uno de los puntos se obtuvo una muestra cada dos profundidades: de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm, como se muestra en las figuras 5, 6 y 7.



Figura 05. Muestreo 1 - Sr. Ignacio.

Fuente: propia.



Figura 06. Muestreo 2 - Sr. Alfonso.

Fuente: propia.



Figura 07. Muestreo 3 - Sr. Alejandro.

Fuente: propia.

3.4. Evaluaciones realizadas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Evaluaciones realizadas

Se evaluaron los siguientes parámetros:

- pH.
- Conductividad eléctrica (dS/m).
- Carbonato de calcio (%).
- Materia Orgánica (%).
- P disponible (ppm).
- K disponible (ppm).
- Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol/kg).
- Cationes cambiabiles (cmol/kg).

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Se cotejaron los datos en forma de registro empleando la cadena de custodia correspondiente a las muestras de suelo recolectadas (demostrando su validez ⁵⁰), la cual fue proporcionada (formato) por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (anexo 03).

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Al finalizar el experimento se sistematizaron los datos obtenidos, se graficaron para determinar su variación y calificar cada propiedad del suelo. La calificación del nivel de calidad del suelo, se basó en la propuesta de Andrews *et. al.* ³⁹, que propuso calcular el Índice de Calidad del Suelo (ICS) con la siguiente expresión:

$$ICS = \frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^n St \times 10$$

Donde:

*n = número de propiedades del suelo evaluadas.

*S = valor de cada propiedad en escala de 0 a 10 (permite ICS entre 0 y 100).

Para la obtención de un valor único de cada parámetro para la unidad de muestreo se utilizó una escala del 1 al 10 que representan, respectivamente, la peor y la mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador. Los valores máximos y mínimos fueron establecidos de diferentes formas para cada indicador ²⁹. Según los valores establecidos en el anexo 01, por ejemplo, para la materia orgánica se consideró como máximo el valor > 4 % y se calificó como 10 y el valor más bajo de materia orgánica < 2 % que se calificó como 3. Para la calificación de clases de calidad del suelo se utilizó la tabla propuesta por Cantú ²⁹, modificada para una escala de 0 a 100 %.

Tabla 08. *Índice de Calidad de Suelos (ICS).*

Índice de Calidad de Suelos	Escala (%)	Clases
Muy alta calidad	80-100	1
Alta calidad	60-79	2
Moderada calidad	40-59	3
Baja calidad	20-39	4
Muy baja calidad	0-19	5

Fuente: elaboración propia basado en Cantú ²⁹.

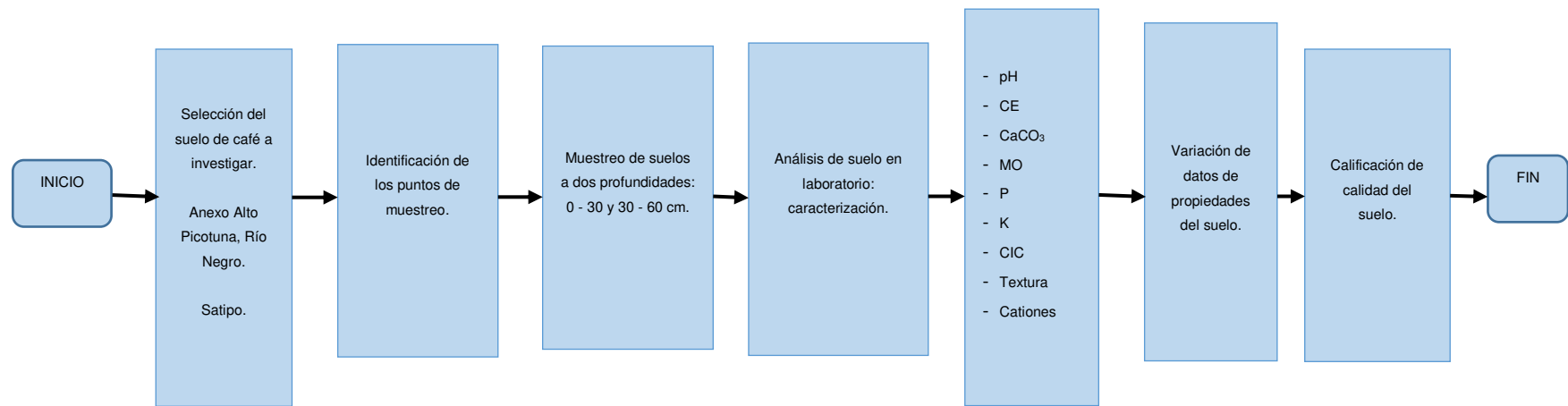


Figura 08. Modelo teórico de la investigación.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

Se presenta los resultados de las propiedades físicas del suelo para analizar su variabilidad en los puntos muestreados, a dos profundidades.

4.1.1. La textura del suelo

Tabla 09. *Resultados de la proporción de arena, limo y arcilla y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.*

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Calificación (anexo 1)
1. El solitario	0-30	22	34	44	Ar.	Fina
2. Virgen de las Nieves		32	34	34	Fr.Ar.	Mod. fina
3. San Martín		24	46	30	Fr.Ar.	Mod. fina
Promedio		26	38	36	Fr.Ar.	Mod. fina
S		5.29	6.93	7.21		
CV		20.35	18.23	20.03		Alta
1. El solitario	30-60	26	32	42	Ar.	Fina
2. Virgen de las nieves		36	36	28	Fr.Ar.	Mod. fina
3. San Martín		26	46	28	F.Ar.	Mod. fina
Promedio		29	38	33	Fr.Ar.	Mod. fina
S		5.77	7.21	8.08		
CV (%)		19.68	18.98	24.74		Alta

Fuente: elaboración propia.

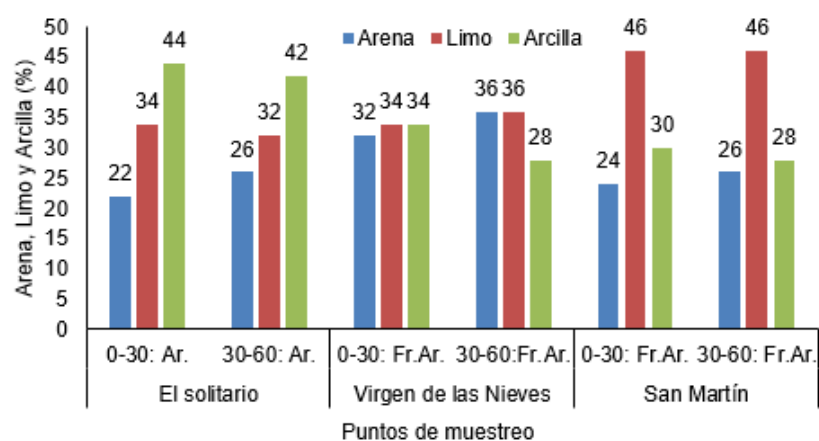


Figura 09. La textura del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.

Fuente: elaboración propia.

4.2. Resultados de las propiedades químicas

4.2.1. pH

Tabla 10. Resultados del pH y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	pH	Calificación (anexo 01)
1. El solitario	0 - 30	5.18	Fuertemente ácido
2. Virgen de las nieves		5.05	Muy fuertemente ácido
3. San Martín		6.51	Ligeramente ácido
Promedio		5.58	Fuertemente ácido
S		0.81	
CV		14.48	Media
1. El solitario	30 - 60	5.14	Fuertemente ácido
2. Virgen de las nieves		5.18	Fuertemente ácido
3. San Martín		6.29	Ligeramente ácido
Promedio		5.54	Fuertemente ácido
S		0.65	
CV (%)		11.79	Media

Fuente: elaboración propia.

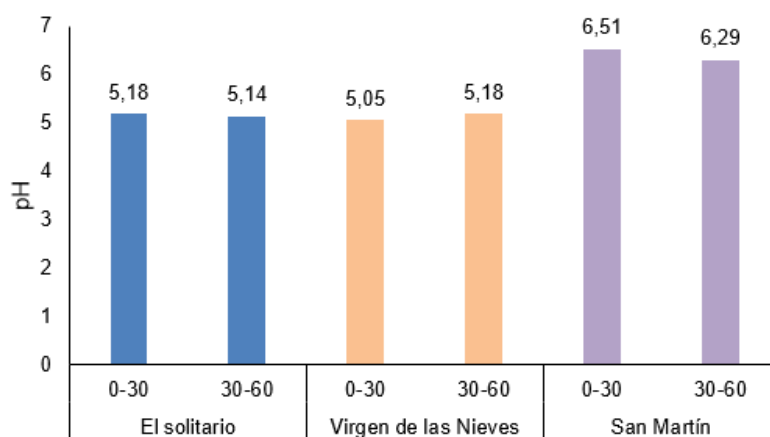


Figura 10. El pH del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Materia Orgánica (MO) en el suelo

Tabla 11. Resultados del contenido de materia orgánica y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	MO (%)	Calificación (anexo 01)
1. El solitario	0 - 30	2.00	Bajo
2. Virgen de las nieves		2.28	Medio
3. San Martín		1.31	Bajo
Promedio		1.86	Bajo
S		0.50	
CV		26.79	Alta
4. El solitario	30 - 60	0.59	Bajo
5. Virgen de las nieves		0.87	Bajo
6. San Martín		1.41	Bajo
Promedio		0.96	Bajo
S		0.42	
CV (%)		43.57	Alta

Fuente: elaboración propia.

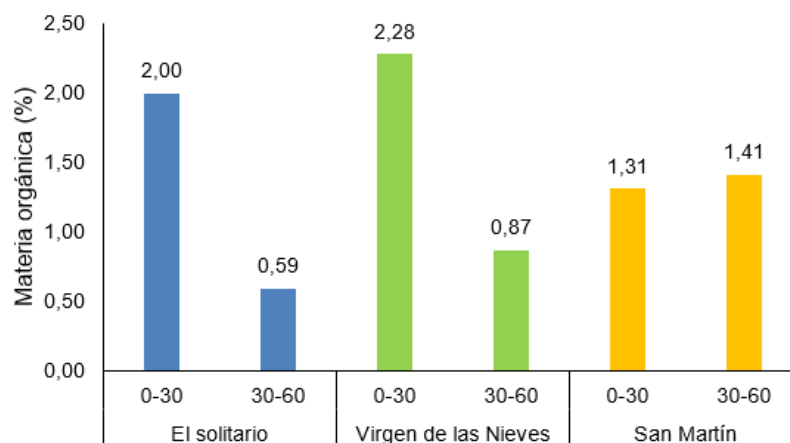


Figura 11. El contenido de materia orgánica del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Fósforo disponible

Tabla 12. Resultados del contenido de fósforo disponible y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	P (ppm)	Calificación (anexo 01)
1. El solitario	0-30	4.3	Bajo
2. Virgen de las Nieves		7.6	Medio
3. San Martín		5.2	Bajo
Promedio		5.7	Bajo
S		1.71	
CV		29.93	Alto
1. El solitario	30-60	5.7	Bajo
2. Virgen de las Nieves		9.9	Medio
3. San Martín		5.7	Bajo
Promedio		7.1	Medio
S		2.42	
CV (%)		34.15	Alto

Fuente: elaboración propia.

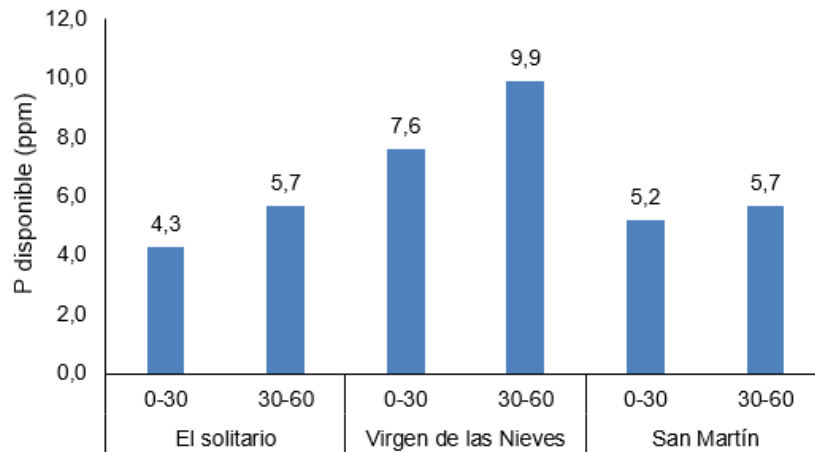


Figura 12. El contenido de fósforo disponible del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.

Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Potasio disponible

Tabla 13. Resultados del contenido de potasio disponible y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	K (ppm)	Calificación (anexo 01)
1. El solitario	0 - 30	91	Bajo
2. Virgen de las nieves		70	Bajo
3. San Martín		138	Medio
Promedio		100	Bajo
S		34.82	
CV		34.94	Alto
1. El solitario	30 - 60	102	Medio
2. Virgen de las nieves		69	Bajo
3. San Martín		128	Medio
Promedio		100	Bajo
S		29.57	
CV (%)		29.67	Alto

Fuente: elaboración propia.

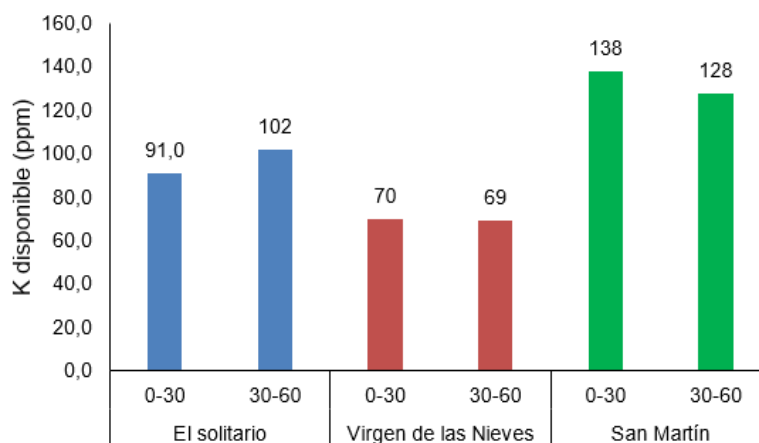


Figura 13. El contenido de potasio disponible del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.

Fuente: elaboración propia.

4.2.5. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Tabla 14. Resultados de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	CIC (meq/100g)	Calificación (anexo 01)
1. El solitario	0 - 30	8.9	Bajo
2. Virgen de las nieves		10.0	Bajo
3. San Martín		11.0	Bajo
Promedio		9.97	Bajo
S		1.05	
CV		10.54	Medio
1. El solitario	30 - 60	11.8	Bajo
2. Virgen de las nieves		11.1	Bajo
3. San Martín		12.1	Mod alta
Promedio		11.67	Bajo
S		0.51	
CV (%)		4.40	Bajo

Fuente: elaboración propia.

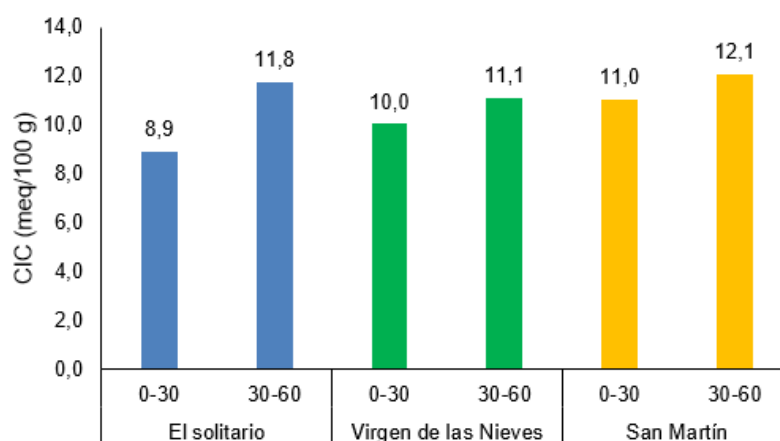


Figura 14. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.

Fuente: elaboración propia.

4.2.6. Saturación de bases

Tabla 15. Resultados de la saturación de bases (SB) y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	SB (%)	Calificación (anexo 01)
1. El solitario	0 - 30	98.31	Alto
2. Virgen de las nieves		98.51	Alto
3. San Martín		100.00	Alto
Promedio		98.94	Alto
S		0.92	
CV (%)		0.93	Bajo
1. El solitario		30 - 60	98.73
2. Virgen de las nieves	98.51		Alto
3. San Martín	100,00		Alto
Promedio	99.08		Alto
S	0.80		
CV (%)	0.81		Bajo

Fuente: elaboración propia.

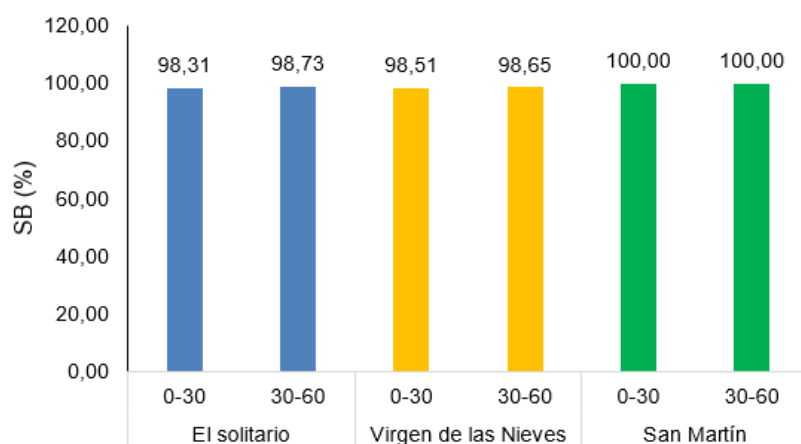


Figura 15. La saturación de bases (SB) del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.

Fuente: elaboración propia.

4.2.7. Acidez intercambiable

Tabla 16. Resultados de la acidez intercambiable (AI) y medidas de tendencia central y variabilidad de los suelos de Pitocuna, a dos profundidades.

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	AI (%)	Calificación (anexo 01)
4. El solitario	0 - 30	1.69	Bajo
5. Virgen de las nieves		1.49	Bajo
6. San Martín		0.00	Bajo
Promedio		1.06	Bajo
S		0.92	
CV		87.11	Alto
4. El solitario	30 - 60	1.27	Bajo
5. Virgen de las nieves		1.35	Bajo
6. San Martín		0.00	Bajo
Promedio		0.87	Bajo
S		0.76	
CV (%)		86.72	Alto

Fuente: elaboración propia.

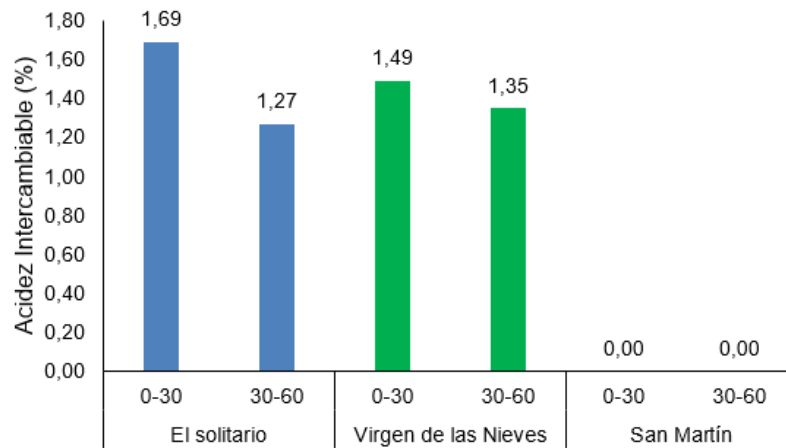


Figura 16. La acidez intercambiable (AI) del suelo en los puntos de muestreo, a dos profundidades.

Fuente: elaboración propia.

4.3. Índices de Calidad de Suelo (ICS)

Los cálculos se basaron en la calificación de 8 propiedades físico-químicas del suelo, de la capa superficial de cada uno de los campos o puntos de muestreo.

Tabla 17. Índices de calidad del suelo (ICS) para tres campos cafetaleros.

Parámetro	Campo 1: El solitario	Campo 2: Virgen de las Nieves	Campo 3: San Martín
P disponible	2	6	3
K disponible	2	3	5
Materia orgánica	3	4	2
pH	3	2	6
CIC	4	4	4
SB	9	9	9
AC	9	9	9
Textura	3	5	5
Total	35	42	43
Promedio	43,75	52,50	53,75
Nivel ICS	Moderado	Moderado	Moderado

Fuente: elaboración propia.

4.4. Discusión de resultados

4.4.1. Propiedades físicas

- La textura:

La textura del suelo en los tres campos cafetaleros varió desde Arcilla a Franco Arcillosa (FA), la primera calificada de arcilla fina y la segunda como moderadamente fina, según la escala del anexo 01. No hubo diferencia en la textura del suelo a las dos profundidades, de 0 - 30 y 30 - 60 cm en cada uno de los campos cafetaleros, lo que demuestra uniformidad en la profundidad del suelo.

La textura fina (Arcillosa en el campo El Solitario) no favorece el buen drenaje del suelo, así como la textura franco arcillosa (Campos Virgen de las Nieves y San Martín), lo cual limita la calidad del suelo en sus propiedades físicas. En las clases texturales arcillosas predomina la fracción arcilla, mientras que en las clases texturales Franco Arcillosas predomina las fracciones limo y arcilla (Fracciones finas). Las clases texturales determinadas en estos suelos son el resultado de los factores de formación, principalmente el clima, a través de la precipitación pluvial y las altas temperaturas que intensifican la meteorización del suelo y dan lugar a suelos desarrollados donde se cultiva café en forma intensiva.

Los estadísticos calculados muestran una alta heterogeneidad en cada una de las fracciones del suelo (arena, limo y arcilla), calificando un alto coeficiente de variabilidad; esto se debe a la heterogeneidad natural del suelo, mayormente transportados.

Esta propiedad física del suelo influye en la densidad de volumen (baja densidad de volumen, agua disponible del suelo (menor agua disponible, pero mayor una textura gruesa), así como en el contenido de micronutrientes, como lo califican Rodríguez *et. al.*¹⁷ al evaluar la calidad del suelo en campos de arroz.

Para la productividad del cafeto, esta clase textural encontrada no es favorable, pues se recomienda suelos de buen drenaje ⁴⁴, propiedad limitante en estos suelos por su textura fina a moderadamente fina. Los suelos con buen drenaje dan un buen balance agua: aire para el desarrollo radicular y la actividad microbiana del suelo, responsable de las transformaciones de nutrientes para la planta. Estos datos se presentan en la tabla 07 y figura 09.

4.4.2. Propiedades químicas

- pH:

El pH de los suelos evaluados varió desde ligeramente ácido en el campo San Martín (a ambas profundidades, de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm) hasta muy fuertemente ácido en la capa superior (0 - 30 cm) del campo Virgen de las Nieves. Estos suelos tienen limitaciones en el crecimiento de plantaciones de café, debido a la menor cantidad de nutrientes disponibles para la asimilación por la planta; siendo recomendable que el suelo tenga un pH de 5.5 a 6.5 ⁴⁶; es decir de moderadamente ácido a ligeramente ácido (anexo 01); en cambio los suelos evaluados de El solitario y Virgen de las Nieves, a ambas profundidades tuvieron un pH inferior a 5.5. Solo el campo San Martín tuvo un pH ligeramente ácido, que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas de café y por ende mejoraría sus rendimientos.

Los estadísticos de los campos evaluados, indican un pH promedio fuertemente ácido y con un coeficiente de variabilidad calificado como medio, lo que da confiabilidad a los datos evaluados en estos tres cafetales de uso intensivo, entre 10 años (campo El solitario), 18 años (Campo Virgen de las Nieves) y 14 años (Campo San Martín), respectivamente. Estos datos se presentan en la tabla 08 y figura 10.

- La materia orgánica del suelo:

El contenido de materia orgánica de los suelos evaluados en los tres campos cafetaleros de uso intensivo, variaron de niveles bajos en El Solitario y San Martín (a ambas profundidades, de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm); hasta niveles medios (anexo 01) en la capa de 0 a 30 cm en el campo Virgen de las Nieves. Estos valores generan muchas limitaciones en los suelos agrícolas para café, pues el componente orgánico del suelo es el responsable de las transformaciones de nutrientes y de la actividad microbial; recomendándose que un suelo para café tenga como mínimo 35 g/kg de materia orgánica ⁴⁴ y los suelos analizados no llegan a esos valores.

Se observó que, en los campos cafetaleros de El Solitario y Virgen de las Nieves, el contenido de materia orgánica disminuyó con la profundidad del suelo, siendo menor en la profundidad de 30 - 60 cm, debido a la menor cantidad de raíces en el subsuelo y menor actividad microbial. En el suelo San Martín la variación con la profundidad del suelo no fue bastante marcada, pero los valores fueron bajos.

Los estadísticos calculados para los suelos evaluados dan valores bajos en ambas profundidades, corroborando la pobreza en este componente del suelo y la necesidad de agregar a estos suelos grandes cantidades de materia orgánica y en forma permanente para lograr la sostenibilidad agrícola en el café. Los datos se presentan en la tabla 09 y también en la figura 11.

Estas variaciones encontradas en los suelos cafetaleros, también son similares a los encontrados en suelos para cacao, donde la materia orgánica fue uno de los indicadores estadísticamente diferentes para los sistemas evaluados ¹⁴.

De igual manera, a los datos de materia orgánica encontrados en este trabajo de investigación, en campos de hortalizas, al evaluar la calidad del suelo en sistema orgánico, se evidenció que la aplicación de materia orgánica fue uno de los factores que debería ser mejorado para aumentar la calidad de los suelos ¹⁵.

- Fósforo disponible:

El contenido de fósforo disponible en los tres campos cafetaleros de Alto Pitocuna fueron calificados como bajo (valores < 7 ppm) en los campos El Solitario y San Martín (a ambas profundidades, de 0 - 30 cm y de 30 - 60 cm), en cambio en el suelo del campo Virgen de las Nieves el contenido fue calificado como medio (valores entre 7 y 14 ppm); estos contenidos se deben a la acidez activa del suelo (pH ácido), donde el fósforo es precipitado como fosfatos de hierro y aluminio y de esta manera no está disponible para las plantas, como el café.

Los estadísticos muestran una alta variabilidad de los datos evaluados, expresados en un coeficiente de variabilidad (CV) de 29.93 % para la capa de 0 - 30 cm y de 34.15 % para la capa de 30 - 60 cm, con un rango de 4.3 a 7.6 en la capa de 0 - 30 cm y de 5.7 a 9.9 en la capa de 30 - 60 cm. Es necesario agregar que este elemento es poco móvil en el suelo. Los datos se presentan en la tabla 10 y figura 12.

La baja disponibilidad de fósforo en el suelo le confiere serias limitaciones para el cultivo de café, pues es responsable de la calidad de los frutos y del enraizamiento radicular, además de asegurar la fecundación de las flores, lo cual evidencia la necesidad de agregar fuente fertilizantes fosfatadas, pero acompañadas de un incremento del pH, específicamente a través del encalado; hay una alta demanda de fósforo por la planta para el desarrollo de la flor, la flor, así como para la formación y maduración de los frutos ⁴⁵.

La recomendación para el cultivo de café es de un contenido de fósforo entre 10 a 40 ppm ⁴⁶, valores superiores a los encontrados en los suelos de alto Pitocuna, lo que afectará el rendimiento de esta especie vegetal; siendo una de las razones la agricultura intensiva a las que se someten estos campos pues cuando las tierras son intensamente cultivadas y los nutrientes son removidos por las cosechas, usualmente aparecen primero deficiencias de nitrógeno y fósforo ¹².

- Potasio disponible:

El contenido de potasio disponible en los suelos evaluados varió de niveles bajos (menores de 100 ppm) en el campo de Virgen de las Nieves (ambas profundidades, de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm) y El Solitario (capa de 0 - 30 cm de profundidad) hasta contenidos medios (de 100 a 240 ppm) en el campo San Martín (ambas profundidades, de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm) y El Solitario (capa de 30 - 60 cm). Los datos se presentan en la tabla 11 y la figura 13.

La fuente principal de potasio disponible en el suelo son los minerales potásicos, los feldespatos y las micas, los cuales en suelos muy meteorizados como los de Alto Pitocuna tienen bajos contenidos. El cultivo de café, como la mayoría de cultivos tropicales, tiene una alta demanda por el potasio; pues es requerido en grandes cantidades para el crecimiento de la planta y más aún para su fructificación; se debe tener en cuenta que cuando los suelos tropicales son vírgenes tienen niveles altos de potasio, pero cuando son deforestados y utilizados para la agricultura disminuyen drásticamente el contenido de sus nutrientes ⁴⁵.

Esta alteración del ambiente tropical, en una agricultura intensiva, influye en los sistemas de producción a través de los años; en el trabajo de indicadores de calidad en el cultivo de cacao, en San Martín, se observó que los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio, evaluados a tres profundidades (0 - 20; 20 - 40 y 40 - 60 cm) tuvieron medias que resultaron estadísticamente diferentes en los sistemas evaluados, concluyéndose que la alteración del ambiente natural produce una serie de cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo y por ende también influyeron en la calidad de los suelos para una agricultura sustentable ¹⁴.

- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):

La capacidad de intercambio catiónico, medida en los suelos de tres campos cafetaleros de Alto Pitocuna, Pichanaki, presentó niveles bajos en las profundidades de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm (entre 8 a 12 cmol/kg) en, excepto en la capa de 30 - 60 cm del campo San Martín,

donde se observó un nivel Moderadamente Alto. En promedio en ambas capas de suelo la CIC fue baja. La variabilidad de los datos evaluados tuvo como indicador un nivel medio a bajo de coeficiente de variación (CV), en ambas capas de suelo (0 - 30 cm y 30 - 60 cm, respectivamente), lo que da confiabilidad a las evaluaciones realizadas. Los datos se presentan en la tabla 12 y figura 14.

La capacidad de intercambio catiónico, es un indicador de calidad del suelo muy importante, y está asociada a las siguientes funciones ecológicas del suelo: ciclo de nutrientes, amortiguamiento/filtración y Resiliencia/Resistencia^{39, 40, 41, 42, 43}. Es decir, es un factor de fertilidad del suelo en el almacenamiento y disponibilidad de nutrientes para las plantas, dependiendo del contenido de materia orgánica y cantidad y tipo de arcilla en el suelo; por lo tanto, los suelos evaluados tienen grandes limitaciones de calidad en este indicador químico del suelo, que influye directamente en el potencial productivo del suelo^{25, 31, 36}.

- Saturación de bases:

La saturación de bases de los suelos de cafeto en el Alto Pitocuna, presentaron valores altos (mayores de 50 %), en ambas profundidades (0 - 30 cm y 30 - 60 cm), de los tres campos muestreados, indicando buena fertilidad, que se refiere a la provisión de nutrientes disponibles del suelo y por ende es sinónimo de alta calidad del suelo. Los datos se presentan en la tabla 13 y figura 15.

Para los suelos donde se siembra cafeto, se recomienda un mínimo de 60 % de saturación de bases⁴⁴, lo cual es inferior a lo encontrado en los suelos de Alto Pitocuna, cumpliendo este requerimiento, que es resultado de una baja lixiviación de bases cambiables, y especialmente de la cantidad de arcilla presente en el suelo.

- Acidez intercambiable:

La acidez intercambiable (%) de los suelos cultivados con café, de manera intensiva en Pitocuna, mostraron valores bajos (< 30 %), en

ambas profundidades (0 - 30 cm y 30 - 60 cm), en los tres campos evaluados; esto se debe principalmente a la alta saturación de bases calculada en base a la CIC efectiva del suelo (sumatoria de cationes cambiabiles). Los datos se presentan en la tabla 14 y figura 16.

La acidez intercambiable en el suelo, cuando es alta, en suelos ácidos, tiene como principalmente limitante el alto contenido de aluminio intercambiable, que es tóxico para el crecimiento de las raíces pues inhibe la división celular y atrofia el crecimiento de las raíces. En este caso, los datos del análisis de suelo revelan bajos valores de $H^+ + Al^{+3}$ en los suelos evaluados. Se recomienda que el contenido de aluminio intercambiable (cmol/kg) no sobrepase 0,3 cmol/kg ⁴⁶, valor muy superior al encontrado en los suelos de Alto Pitocuna, lo que asegura una buena calidad del suelo en este parámetro.

Las concentraciones de aluminio en la solución suelo superiores a 1 mg/kg frecuentemente son causa directa de reducción de rendimiento. El rendimiento de distintas especies en suelos ácidos depende de su relativa tolerancia a los niveles de aluminio y a sus necesidades relativas de calcio y magnesio, reportándose que el café, el té, el caucho y la yuca toleran niveles altos de aluminio intercambiable ⁴⁴. En los suelos de alto Pitocuna los valores encontrados son inferiores a lo reportado anteriormente.

4.4.3. Índices de Calidad del Suelo (ICS)

Los Índices de Calidad del Suelo, calculados en base a las propiedades físico-químicas medidas ^{29, 39} en los tres campos cafeteros de Alto Pitocuna, presentaron valores de nivel moderado, con valores entre 40 y 59 % ²⁹.

Los indicadores que presentan mayores limitaciones son: pH ácido, bajo nivel de fósforo disponible, potasio disponible y materia orgánica; le siguieron en orden la textura y la capacidad de intercambio catiónico; y los indicadores de valoración más alta fueron la saturación de bases y la acidez intercambiable.

Esto resulta en la necesidad de agregar a estos suelos, compuestos orgánicos o inorgánicos que contengan fósforo y potasio, así como grandes aplicaciones de materia orgánica. Junto con estas medidas se recomendaría encalar los suelos para reemplazar la acidez intercambiable e incrementar el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes.

CONCLUSIONES

1. El pH de los campos muestreados cultivados con café (*Coffea arabica* Var. Catimor) en Alto Pitocuna presentaron valores en el rango de muy fuertemente ácidos (4.5 a 5.0) en los suelos de El Solitario y Virgen de las Nieves, hasta ligeramente ácido (6.1 a 6.5) en el suelo de San Martín, esto indica baja disponibilidad de nutrientes y baja calidad.
2. El contenido de Materia Orgánica (MO) en los suelos de agricultura intensiva cultivados con café (*Coffea arabica* Var. Catimor) fue de nivel bajo (< 2 %) en los suelos de El Solitario y San Martín, en ambas profundidades (0 - 30 cm y 30 - 60 cm) así como en la capa de 30 - 60 cm en el suelo Virgen de las Nieves; en la capa de 0 - 30 cm del suelo Virgen de las Nieves el contenido fue calificado como medio (2 - 4 %). Los valores bajos limitan la actividad microbial del suelo, disponibilidad de nutrientes, propiedades físicas y calidad del suelo.
3. El fósforo disponible en los suelos El Solitario y San Martín fueron calificados como bajo (< 7 ppm) en ambas profundidades (0 - 30 cm y 30 - 60 cm); en cambio el suelo Virgen de las Nieves fue calificado como medio (7 - 14 ppm) en ambas profundidades. Los contenidos bajos de fósforo disponible influyen en la baja calidad del suelo.
4. El potasio disponible del suelo en el suelo Virgen de las Nieves fue calificado como bajo (< 100 ppm) en ambas profundidades; en el suelo San Martín el nivel fue medio (100 a 240 ppm), mientras que en el suelo El Solitario fue bajo en la capa de 0 - 30 cm y medio en la capa de 30 - 60 cm. Los contenidos bajos de potasio del suelo influyen en la baja calidad del suelo.
5. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) fue baja (8 - 12 cmol/kg) en los suelos El Solitario y Virgen de las Nieves; en cambio en el suelo San Martín fue bajo en la capa de 0 - 30 cm y moderadamente alta (12 a 20 cmol/kg) en la capa de 30 - 60 cm. Los suelos evaluados que tienen baja CIC influyen en el ciclo de nutrientes, amortiguamiento, infiltración y resiliencia/resistencia, incidiendo en la baja calidad del suelo.
6. La saturación de bases en los tres suelos muestreados de alto Pitocuna presentaron valores altos (mayores de 50 %), influyendo en la buena calidad del suelo.
7. La acidez intercambiable es baja en los suelos de Alto Pitocuna, infiriéndose buena calidad del suelo en este parámetro.

8. El Índice de Calidad del Suelo (ICS), que integra los ocho factores físico-químicos evaluados en Alto Pitocuna, presentó valores calificados como moderado en los tres campos muestreados de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica* Var. Catimor) presentando limitaciones de productividad sostenible.

RECOMENDACIONES

1. Incrementar los niveles de fósforo, potasio, nitrógeno y Materia Orgánica (MO) en los suelos cafetaleros de Alto Pitocuna: El Solitario, Virgen de las Nieves y San Martín, debido a los bajos niveles encontrados, para lograr mejorar su calidad y productividad sostenible.
2. Realizar evaluaciones de indicadores biológicos, integrados a indicadores físico-químicos del suelo, para obtener una integración más precisa del Índice de Calidad del Suelo (ICS).
3. Evaluar suelos cultivados con café en el distrito de Pichanaki, que estén caracterizados por diferentes niveles de manejo, con fines de determinar su calidad y lograr un sistema agrícola sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WATSON, N., BOLIN., B., RAVINDRANATT, V. y D, D. *Cambridge University Press, Cambridge*. IPCC. s.l.: University Press,Cambridge, 2000.
2. ARSHAD, M. y S. M. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2002. págs. 88: 153-160.
3. KARLEN, A., S.S., WEINHOLD, B. y DORAN, J. *Soil quality: Humankind's foundation for survival*. 2003. **58**, 171-179.
4. KHORMALI, F. y SHAMSI, S. *Micromorphology and quality attributes of the loess derived soils affected by land use change*. Northen: s.n., 2009. 197-204.
5. CRUZ, B., BARRA, J. y GUTIÉRREZ, C. *La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosist.* Colombia: Editorial Masera, 2004. 90-97.
6. DE LA ROSA, D. y SOBRAL, R. *Soil quality and methods for its assessment*. Ghana. Bogotota: s.n., 2008. 167-200.
7. CANTÚ, M., BECKER, A. y SCHIAVO, H. *Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices*. Córdoba: s.n., 2007, Cienc. Suelo, 173-178.
8. GARCIA, Y., RAMÍREZ, W. y SÁNCHEZ, S. *Indicadores de la calidad de los suelo*. España: Republica, 2012. 125-137.
9. FAO. *Agricultura mundial hacia el año 2010*. Mundi prensa. España: s.n., Alexandratos, pág. 479.
10. AHUSHEER. *Formulaciones y composiciones de escasa solubilidad*. Berlín, Alemania: s.n., 1998, 95.
11. ARCILL, P. y otros. *Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia*. Colombia: s.n., 2007, CENICAFÉ. 193.
12. WEIL, R, y N, B. *The nature and Properties of Soils*. Person. Boston: **15**, 2017. 293.
13. ABI-SAAB, A. *Evaluación de la Calidad del Suelo, en el Sistema Productivo Orgánico*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá: s.n., 2012. 202.

14. GEORGE, A. *Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba*. CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Tropical. Turrialba: s.n., 2006.
15. RODRIGUEZ DE LIMA, A. y A, H. *Soil Quality Assessment in Rice Production Systems*. s.l.: Zerbino, 2008. 623-630.
16. YANBING, Q. y otros. *Evaluating soil quality índices in an agricultural región of Kiangsu Province*. ISSUS. Geoderma: s.n., 2009. 325 -334.
17. Xu, M. y ZHAO, G. *Argent soil quality and their application in the hilly loess plateau región of China*. China : Australian Joarnal of Soel Research. 2006. 245 - 254.
18. VALBUENA, O., RODRÍGUEZ, W. y SUÁREZ, J. *Soil quality under two different management schemes in coffee plantations of sothern Colombia*. Mesoam Agrono. 2017. **28**. 131-140.
19. CERDA, G. y M, E. *Calidad del suelo y rendimiento de la asociación*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina, 2015. 192.
20. ARÉVALO, G. *Dinámica de los Indicadores de Calidad del Suelo en el Manejo de Sistemas Agroforestales con Cacao*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima: s.n., 2014. 178.
21. D, K. y otros. *Soil Quality: a concept, definition and framework for evaluation*. Cline. España: s.n., 1997. 4-10.
22. SOJKA, R. y UPCHURCH, D. *Reservations regarding the soil quality concept*. Bogotá: s.n., 1999. **63**. 1039-1045.
23. NORTCLIFF, S. *Standardisation of soil quality attributes*. Guidelines. 2002. 161-168.
24. KARLEN, L. y otros. *Soil quality: A concept, Definition and framework for evaluation*. Costa Rica: s.n., 1997. 4-10.
25. SEYBOLD, C. y otros. *Advances in soil science. Soil processes and the carbón cycle*. Río de Janeiro: s.n., 1997. 387- 404.
26. SEYBOLD, C. y otros. *Experiences of USDA-NRCS Soil Quality Institute*. Libray. 2002. 33-38.

27. HAVLIN, J. y otros. *Fertilizers an Introduction to nutrient management*. Pearson. Boston: s.n., 2014.
28. OBANDO, F. *Desarrollo de indicadores de calidad inherente y dinámica de andisols en el departamento de Caldas*. Pearson. Colombia: s.n., 2004. 20-22.
29. CANTÚ, M. *Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices*. Argentina: s.n., 2007. **25**. 173-178.
30. DORAN, J. y M. Z. *Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality*. 2000. 106.
31. DORAN, J. y PARKIN, T. *Defining and assessing soil quality*. 1994. 3-21.
32. SINGER, M. y MUNN, D. *Soils and introduction*. **3**. s.l.: Prentice-Hall. 2000. Inc. New Jersey.450.
33. DEXTER, A. *Soil physical quality*. 2004. 201-214.
34. MARTÍNEZ, E, y ACEVEDO, J. *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. s.l.: Universidad de Chile, 2008. 68-96.
35. CHEN, Z. *Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops*. Taiwan: s.n., 2000.
36. LARSON, W. y PIERCE, M. *The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management*. 1991. 37 -51.
37. DICK, R., BREAKWELL, D. y TURCO, R. *Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators*. 1999. 247-271.
38. BAUTISTA, A. y otros. *La calidad del suelo y sus indicadores*. **3**. 2004. 572.
39. ANDREWS, S., KARLEN, L. y C., A. *The soil management assessment framework*. *Soil*. 2004. 1945-1962.
40. EIGENBERG, R. y otros. *Soil conductivity as a measure of soil and crop status*. Mexico: s.n., 2006. 1600-1611.
41. KARLEN, D. y otros. *Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations*. **1**. *Agronomy Journal*. USA : s.n., 2006. 484-495.

42. CAMBARDELLA, D. y otros. *Understanding and enhancing soil biology health: the solution for reversing soil degradation*. Carbalia: s.n., 2015. 988-1027.
43. WEIL, R. y otros. *Estimating active carbón for soil quality assesement: A simplified method for lab and field use*. Sevilla: s.n., 2003. 3-17.
44. SÁNCHEZ, J. *Manual para la producción de un café de calidad*. Perú. 2013. Pj Universidad de San Jose Costa Rica. s.l.: Osvaldo Gamboa, 2013.
45. FIGUEROA, F. y ROSSKA, R. *Guía para la caficultura ecológica. 2*. Altertec. Costa Rica: s.n., 2000. 50.
46. OIRSA. *Manual técnico Buenas Prácticas de Cultivo en café orgánico para productores*. Altertec. 2000. 50.
47. NÚÑEZ, T. *Metodología de las Ciencias Sociales*. [ed.] Laia.S.A. 1989. pág. 65.
48. CEGARRA, L. *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica*. Díaz de Santos. Madrid: s.n., 2012. 1835.
49. HERNÁNDEZ, R. *Metodologia de la Investigacion. 6*. Colombia: Mc Graw Hill, 2014. 634.
50. PULGAR VIDAL, M. *Guía para el muestreo de suelos. 1*. Lima, Perú: Mavet Impresiones E.I.R.L, 2014. 72.

ANEXOS

Anexo 01. Escala de calificación de factores edáficos.

1. Textura¹

Términos Generales		Clase textural	Símbolo
Suelos	Textura		
Arenosos	Gruesa	Arena	A.
		Arena franca	A.Fr.
Francos	Moderadamente gruesa	Franco arenoso	Fr.A.
		Franco	Fr.
	Media	Franco limoso	Fr.L.
		Limoso	L.
	Moderadamente fina	Franco arcilloso	Fr.Ar.
		Franco arcillo limoso	Fr.Ar.L.
Franco arcillo arenoso	Fr.Ar.A.		
Arcillosos	Fina	Arcillo arenoso	Ar.A.

2. pH¹

Rangos	Clases
< 3,5	Ultra ácido
3,6 – 4,4	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino
> 9,0	Muy fuertemente alcalino

3. Conductividad eléctrica¹

Clase	Calificación	Conductividad Eléctrica dS/m
0	No salino	0 – 2
1	Muy ligeramente salino	2 – 4
2	Ligeramente salino	4 – 8
3	Moderadamente salino	8 – 16
4	Fuertemente salino	≥ 16

4. Materia Orgánica²

Nivel	%
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

5. Fósforo disponible²

Nivel	P (mg/kg)
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14

6. Potasio disponible²

Nivel	K (mg/kg)
Bajo	< 100
Medio	100 - 240
Alto	> 240

7. Saturación de bases³

Nivel	Suma de Cationes (%)	Acetato de Amonio (%)
Bajo	< 35	< 50
Alto	> 35	> 50

8. Saturación de Aluminio³

Nivel	Para cultivos		
	Susceptibles	Tolerantes	Muy tolerantes
Bajo	< 30	< 40	< 60
Alto	> 30	> 40	> 60

9. Capacidad de Intercambio Catiónico³

Nivel	CIC (cmol/kg)
Muy Baja	< 4
Moderadamente Baja	4 - 8
Baja	8 - 12
Moderadamente Alta	12 - 20
Alta	> 20

(1) Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

(2) Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina 2002.

(3) Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor, Lima, Perú.

Anexo 02. Resultados del análisis de suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : DEISY HUISA ALTAMIRANO

Departamento : JUNIN

Distrito :

Referencia : H.R. 67029-018C-19

Bolt.: 2535

Provincia : HUANCAYO

Predio :

Fecha : 14/02/19

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
695	El Solitario 1, 0-30 cm.	5.18	0.10	0.00	2.00	4.3	91	22	34	44	Ar.	17.60	7.69	0.82	0.18	0.05	0.15	8.89	8.74	50
696	El Solitario 2, 30-60 cm.	5.14	0.06	0.00	0.59	5.7	102	26	32	42	Ar.	17.92	10.30	0.97	0.28	0.08	0.15	11.78	11.63	65
697	Virgen de las Nieves 1, 0-30 cm.	5.05	0.09	0.00	2.28	7.6	70	32	34	34	Fr.Ar.	16.96	8.75	0.90	0.18	0.06	0.15	10.05	9.90	58
698	Virgen de las Nieves 2, 30-60 cm.	5.18	0.06	0.00	0.87	9.9	69	36	36	28	Fr.Ar.	15.20	9.38	1.28	0.21	0.07	0.15	11.09	10.94	72
699	San Martin 1, 0-30 cm.	6.51	0.10	0.00	1.31	5.2	138	24	46	30	Fr.Ar.	13.76	9.77	0.72	0.47	0.06	0.00	11.02	11.02	80
700	San Martin 2, 30-60 cm.	6.29	0.09	0.00	1.41	5.7	128	26	46	28	Fr.Ar.	13.76	10.80	0.85	0.38	0.05	0.00	12.08	12.08	88

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Anexo 04. Manejo de las muestras.

MANEJO DE LAS MUESTRAS

3

Es necesario observar ciertas consideraciones en el manejo de las muestras, sin embargo, es pertinente cumplir con los protocolos establecidos por los laboratorios respecto a la recolección y conservación de las muestras para su análisis.

3.1. MATERIALES PARA GUARDAR Y TRANSPORTAR MUESTRAS

Las características del recipiente deben ser compatibles con el material del suelo y los agentes contaminantes en estudio a muestrear (ver Tabla N°4), deben ser resistentes a la ruptura y evitar reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación.

Debe evitarse en lo posible el uso de agentes químicos para conservar muestras de suelo, salvo que las metodologías lo estipulen. Para su conservación es conveniente mantenerlas en lugares frescos (4 a 6 °C), aplicables en contaminantes orgánicos.

El volumen del contenedor debe ser aproximadamente el mismo de la muestra, a fin de minimizar el espacio vacío.

Cuando se trate de COV's o elementos volátiles, no es recomendable la toma de muestras de suelos por trasvase debido a las pérdidas y subestimaciones a las que estas últimas conducen, esto es aún más importante y válido si se pretende realizar una evaluación de riesgos del sitio.

Tabla N°4: Recipientes, temperatura de preservación y tiempo de conservación de muestras ambientales para los análisis correspondientes.

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	TEMPERATURA DE PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACIÓN
Compuestos Orgánicos Volátiles COV's.	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón.	4º C.	14 días.
BTEX.			
Hidrocarburos Fracción Ligera			
Hidrocarburos Fracción Media			
Hidrocarburos Fracción Pesada			
Compuestos Orgánicos Semi-volátiles COSV's y Plaguicidas.			
Metales Pesados y Metaloides.	Bolsas de polietileno densa.	Sin restricciones.	Sin restricciones.
Mercurio (Hg).	Frasco de vidrio con tapa de teflón que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis.	4º C.	14 días.
PCB.	Viales de vidrio con cierre de Teflón.	4º C.	14 días.
PAH.	Viales de vidrio con cierre de Teflón.	4º C.	14 días.

3.2. ETIQUETADO

- La etiqueta debe ser colocada en un lugar visible y no sobrepasar el tamaño del recipiente y adherida adecuadamente para evitar su pérdida.
- La etiqueta que acompañe a la muestra, debe contar con la siguiente información como mínimo: número o clave única de identificación, lugar del muestreo, nombre del proyecto, y la fecha y hora del muestreo, nombre de la empresa así como las iniciales de la persona que toma la muestra.
- La impresión de los datos en la etiqueta, debe realizarse con tinta indeleble.
- Inmediatamente de la toma de muestra se debe proceder al etiquetado y registro de la muestra.

3.3. FICHA DE MUESTREO

Documento que recoge información levantada en campo, que incluye la técnica de muestreo, las condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas (Ver Anexo N° 3).

3.4. CADENA DE CUSTODIA

La documentación de la cadena de custodia debe contener al menos:

- El número de la hoja de custodia proporcionada por el laboratorio acreditado.
- El nombre de la empresa y del responsable del muestreo.
- Los datos de identificación del sitio (coordenadas UTM).
- La fecha y hora del muestreo.
- Las claves de las muestras.

- La fecha y hora del muestreo.
- Las claves de las muestras.
- Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
- Los análisis o la determinación requerida.
- El número de envases.
- Observaciones.
- Identificación de las personas que entregan y reciben en cada una de las etapas de transporte, incluyendo fecha y hora.

La cadena de custodia en original y dos copias debe acompañar a las muestras desde su obtención, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio. El laboratorio debe incluir una copia de esta cadena con los resultados del análisis, la copia debe estar firmada por todos los participantes en el proceso de muestreo y por la persona del laboratorio que recibe las muestras para su análisis.

3.5. CONDICIONES DE SEGURIDAD DE LAS MUESTRAS

- Considerar los pre-tratamientos *in situ* de las muestras, según determinadas operaciones requeridas como por ejemplo el filtrado, adición de reactivos, de preservantes, etc.
- El traslado de la muestra deberá ser realizado con los cuidados requeridos para evitar su deterioro, para ello deben ser embaladas asegurando la completa inmovilidad de los recipientes que las contienen durante el transporte.

26

Guía para el Muestreo de Suelos

- Las muestras que requieran temperatura y condiciones de almacenamiento especial deben ser transportadas en contenedores adecuados.
- El traslado de las muestras al laboratorio se debe hacer dentro de los plazos recomendados.
- Para la seguridad y limpieza en la manipulación de la muestra, se debe incluir guantes de látex-k, agua deionizada, lentes de seguridad, toallas de papel, mascarilla para polvos y franelas. Usar etiquetas adheribles, marcador indeleble, cinta adhesiva y bolígrafos.
- No se deben analizar muestras cuyos sellos hayan sido violados.

Anexo 05. Matriz de consistencia.

Título de la tesis: La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva del café (*Coffea arabica*) Var. Catimor en el Anexo Alto Pitocuna del distrito de Río Negro. Satipo. 2018.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general:</p> <p>*¿Cuál es la calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>*¿Qué variabilidad presentan las características físico-químicos del suelo, a dos profundidades, en tres campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018?</p> <p>*¿Cuál es el nivel de calidad del suelo en tres campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar la calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>*Determinar la variabilidad de los caracteres físico-químicos que presenta el suelo, a dos profundidades, en tres campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.</p> <p>* Determinar el nivel de calidad del suelo en tres campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>*H₁: La calidad del suelo es baja en campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.</p> <p>*H₀: La calidad del suelo no es baja en campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.</p> <p>Hipótesis específica:</p> <p>*H₁: Las propiedades físico-químicas del suelo, a dos profundidades, son altamente variables en tres campos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.</p> <p>*H₂: La calidad es baja en tres suelos de agricultura intensiva de café (<i>Coffea arabica</i>) Var. Catimor en el distrito de Río Negro, Satipo, 2018.</p>	<p>Variable dependiente:</p> <p>*Calidad del suelo.</p> <p>Variable independiente:</p> <p>*Características físicoquímicas del suelo.</p>	<p>Método general:</p> <p>*Hipotético - deductivo.</p> <p>Método específico:</p> <p>*Análisis.</p> <p>Tipo de investigación:</p> <p>*Aplicado.</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>*Correlacional.</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>*No experimental.</p> <p>Población:</p> <p>*Suelos del Anexo Alto Pitocuna.</p> <p>Muestra:</p> <p>*03 parcelas.</p>