

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**



**EFFECTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DEL SUELO CON EL MÉTODO SUSS; EN EL SECTOR
PAPAYAL, CASTILLO GRANDE, LEONCIO PRADO – 2018.**

TESIS

Para optar el título de:

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES – MENCIÓN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA**

DAVE ARQUIMEDES RIVERA CRUZ

TINGO MARÍA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



EFFECTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO CON EL MÉTODO SUSS; EN EL SECTOR PAPAYAL, CASTILLO GRANDE, LEONCIO PRADO – 2018.

Autor : DAVE ARQUIMEDES RIVERA CRUZ

Asesor : Ing. MSc. NELINO FLORIDA ROFNER

Programa de investigación : Ciencias básicas

Línea (s) de investigación : Física y química de suelos

Eje temático de investigación : Prácticas y uso que mejoren la calidad del suelo

Lugar de ejecución : Sector Papayal – Catillo Grande.

Duración del trabajo Fecha de inicio: 07/04/2018

Término : 23/09/2018

Financiamiento : MONTO S/. 6,154.50

FEDU: No

Propio: Sí

Otros: No



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 26 de Noviembre del 2018, a horas 7:00 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

“EFECTO DE DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO CON EL MÉTODO SUSS; EN EL SECTOR PAPAYAL, CASTILLO GRANDE, LEONCIO PRADO – 2018”

Presentado por el Bachiller: **DAVE ARQUIMEDES RIVERA CRUZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 06 de Diciembre del 2018.

Ing. MSc. **JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO**
PRESIDENTE

Dr. **LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO**
VOCAL

Ing. MSc. **SANDRO JUNIOR RUIZ CASTRE**
VOCAL

Ing. MSc. **NELINO FLORIDA ROFNER**
ASESOR



DEDICATORIA

A Dios; quién supo orientarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desfallecer en los problemas que se presentaban, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder nunca los valores ni desfallecer en el intento.

A mis queridos padres; Arquimedes Rivera Barrenechea y Vicenta Cruz Gaitan; por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy como persona, mi coraje para lograr mis objetivos.

A mis hermanos, Maily, Jerry y Leslie por estar siempre presentes, acompañándome en cada paso de mi vida.

A mi compañera; Gaby Livia Cajaleon; quien ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo; te agradezco por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre lo necesité, por aportar considerablemente en mi proyecto. Te agradezco no solo por la ayuda brindada, sino por los bellos momentos que compartimos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites disfrutar de todos mis logros que son resultado de tu ayuda, cuando caigo y me pones a prueba, aprendo de mis errores y me doy cuenta que los obstáculos que me pones es para que yo mejore como ser humano, y crezca de diversas maneras. Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, gracias por haberme permitido formarme, gracias a todos los docentes que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se verá reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

A mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar, creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, agotadoras noches en las que su compañía y la llegada de sus cafés era para mí como agua en el desierto; gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A mi compañera, siendo la mayor motivación en mi vida encaminada al éxito, fue el ingrediente perfecto para poder lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida, el poder haber culminado esta tesis con éxito, y poder disfrutar del privilegio de ser agradecido, ser grato con esa persona que se preocupó por mí en cada momento y que siempre quiso lo mejor para mi porvenir.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Sistema de uso del suelo	4
2.1.1. Plantaciones de cacao.....	4
2.1.2. Plantaciones de plátano.....	5
2.1.3. Plantaciones de papaya.....	6
2.1.4. Plantaciones de Palta	6
2.1.5. Ex cocal.....	7
2.1.6. Bosque	9
2.2. Funciones del suelo	9
2.3. Sistemas de uso y calidad de suelos.....	11
2.4. Sistemas de uso y degradación de suelos	11
2.5. Indicadores de calidad	15
2.6. Indicadores físicos	17
2.6.1. Textura	17

2.6.2. Densidad aparente	18
2.6.3. Resistencia a la penetración	22
2.7. Indicadores químicos	22
2.7.1. Potencial de hidrógeno –pH.....	23
2.7.2. Materia orgánica	23
2.7.3. Nitrógeno total	24
2.7.4. Fosforo total.....	25
2.7.5. Capacidad de intercambio catiónico	26
2.7.6. Potasio intercambiable.....	27
2.7.7. Calcio intercambiable	28
2.7.8. Magnesio intercambiable	29
2.8. Subíndice de uso sustentable del suelo	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. Ubicación del lugar de estudio	32
3.2. Unidades geográficas.....	33
3.2.1. Valle	33
3.2.2. Faja subandina	33
3.2.3. Relieve	33
3.2.4. Distribución climática	34
3.3. Materiales y equipos	34
3.3.1. Materiales	34

3.3.2. Equipos	35
3.4. Metodología	35
3.5. Selección de los sistemas productivos	36
3.6. Muestreo de Suelos para análisis físico químico	36
3.7. Determinación del índice de calidad del suelo	37
3.8. Análisis de datos	41
3.9. Variables a evaluar	42
IV. RESULTADOS	43
4.1. Indicadores físicos del suelo	43
4.1.1. Textura del suelo	43
4.1.2. Densidad aparente y resistencia a la penetración	44
4.2. Indicadores químicos del suelo	46
4.2.1. Potencial de hidrógeno del suelo y fósforo disponible	46
4.2.2. Materia orgánica y nitrógeno total	49
4.2.3. Calcio, magnesio y potasio intercambiable	51
4.2.4. Capacidad de intercambio catiónico	53
4.3. Determinación de la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS)	54
4.4. Indicadores que influyen más sobre la calidad del suelo mediante la correlación de Pearson	56
V. DISCUSIÓN	58

5.1. De los indicadores físicos.....	58
5.2. De los indicadores químicos.....	60
5.3. De la calidad del suelo	62
VI. CONCLUSIONES.....	64
VII. RECOMENDACIONES.....	66
VIII. ABSTRACT	67
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO.....	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Áreas cocalera en Perú 2002-2016.....	8
2. Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para controlar los cambios que ocurren en el suelo.	16
3. Relación entre la densidad aparente y la porosidad total.	19
4. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.	21
5. Niveles de resistencia del suelo a la penetración.	22
6. Rangos interpretativos para el pH (relación 2:1).	23
7. Rangos interpretativos para el contenido de materia orgánica (%).	24
8. Rangos interpretativos para el nitrógeno total.	25
9. Rangos interpretativos para el fósforo total.	26
10. Rangos interpretativos para la CIC.	27
11. Rangos interpretativos para potasio (K) intercambiable.	28
12. Rangos interpretativos para calcio (Ca) intercambiable.	29
13. Rangos interpretativos para Magnesio (Mg) intercambiable.	30
14. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo.....	39
15. Rangos interpretativos del SUSS.	40
16. Indicadores físicos del suelo a evaluar en campo.	40
17. Indicadores químicos a evaluar.....	41
18. Clasificación textural de los sistemas de uso del suelo.	43

19. Densidad aparente y resistencia a la penetración de los sistemas de uso del suelo.....	44
20. Potencial de hidrógeno y fosforo disponible de los sistemas de uso del suelo.....	47
21. Materia orgánica y nitrógeno total de los sistemas de uso del suelo.	49
22. Calcio, magnesio y potasio intercambiable total de los sistemas de uso del suelo.....	51
23. Capacidad de intercambio catiónico de los sistemas de uso del suelo.....	53
24. Subíndice de uso sustentable del suelo y clasificación de la calidad de los tres sistemas de suelo en estudio.....	55
25. Correlación de Pearson con nivel de significancia de 0.01 y 0.05 de los parámetros físicos y químicos.	56
26. Estimación de parámetros para el modelo de regresión lineal.	56
27. Correlación de Pearson con nivel de significancia de 0.01 y 0.05 con el programa SPSS.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación política del lugar estudio.....	32
2. Diagrama de muestreo de suelos para análisis físico químico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.....	37
3. Densidad aparente de los sistemas de uso del suelo.....	45
4. Resistencia a la penetración de los sistemas de uso del suelo.	46
5. Potencial de hidrógeno (pH) de los sistemas de uso del suelo.....	48
6. Fosforo disponible de los sistemas de uso del suelo.....	48
7. Materia orgánica de los sistemas de uso del suelo.	50
8. Nitrógeno total de los sistemas de uso del suelo.	50
9. Calcio intercambiable de los sistemas de uso del suelo.....	52
10. Magnesio intercambiable de los sistemas de uso del suelo.	52
11. Potasio intercambiable de los sistemas de uso del suelo.....	53
12. Capacidad de intercambio catiónico de los sistemas de uso del suelo.....	54
13. SUSS de los sistemas de uso del suelo.....	55
14. Modelo de correlación del Nitrógeno y el SUSS.....	57
15. Cálculo SUSS para el sistema de uso cacao.	76
16. Cálculo SUSS para el sistema de uso papaya.	77
17. Cálculo SUSS para el sistema de uso bosque.	78
18. Cálculo SUSS para el sistema de uso palta.	79
19. Cálculo SUSS para el sistema de uso plátano.	80
20. Cálculo SUSS para el sistema de uso ex cocal.....	81

20. Resultado del análisis de suelo.	82
22. Croquis de ubicación del lugar de estudio.	84
23. Zona de bosques a ser analizada.	85
24. Parcela de plátano a ser analizada.	85
25. Parcela de papaya a ser analizada.	86
26. Parcela de palta a ser analizada.	86
27. Parcela de cacao a ser analizada.	87
28. Terreno de ex cicales a ser analizada.	87
29. Medición de la parcela a evaluar.	88
30. Recolección de muestra para su análisis fisicoquímico.	88

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura ha evolucionado y sus efectos se visualizan en una sostenida pérdida de la calidad física, química y biológica de algunos suelos, se trata de un problema a escala mundial, pues son numerosas las zonas o lugares afectados por contaminación, erosión y salinización (JIMENEZ y GONZÁLEZ, 2006). En el Alto Huallaga se ha pretendido responder para contrarrestar tales efectos con el planteamiento de una denominada agricultura de conservación con sistemas de manejo orgánico, entre las que destacan el cacao, café y otros.

Dentro de los sistemas de uso tenemos ligeras variantes, sin embargo el sistema que se aplique tiene efectos directos sobre los procesos y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, e indirectos sobre el crecimiento de los cultivos (KARWASRA, 1991) y su adaptación depende de factores biofísicos.

Las consecuencias del mal uso del suelo que se viene haciendo en la Amazonía Peruana se traduce en graves problemas de agotamiento y erosión de las tierras destinadas a la agricultura y ganadería, afectando casi el 100% de las tierras que están bajo explotación (URRELO, 1997). Esta degradación se ve agravada por la naturaleza climática y topográfica de la Ceja de Selva y Selva Alta, de alta pluviosidad y excesiva pendiente, factores que facilitan el proceso de erosión.

En este contexto, la calidad (expresado a través del subíndice de uso sustentable del suelo) se presenta como la herramienta ideal para identificar o conocer en qué estado de degradación funciona el suelo en un momento dado, así como que medidas son necesarias para un mejor funcionamiento, ya que proporciona información sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo (JIMÉNEZ y GONZALEZ, 2006).

En nuestra región, la información sobre el efecto de los sistemas de manejo del cultivo del cacao, plátanos, papaya y otros es escasa, en particular para la provincia de Leoncio Prado, por lo que no se conocen de manera sistematizada los efectos de los sistemas de uso sobre las propiedades del suelo. Por lo que esta investigación contribuirá con información básica que puedan ayudar a planificar soluciones apropiadas a los problemas que deben realmente enfrentar y que muchas veces no son aquellos que están en prioridad entre los ejecutivos, técnicos e investigadores.

En ese contexto surge la interrogante, ¿Cuál es el efecto de los diferentes sistemas de uso del suelo en las propiedades fisicoquímicas del suelo con el método SUSS en el sector Papayal, Castillo Grande, Leoncio Prado - 2018? Ante esta interrogante, la respuesta hipotética es: “El efecto de los diferentes sistemas de uso del suelo influyen sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en el sector Papayal, Castillo Grande, Leoncio Prado - 2018”.

Por lo expuesto, en la presente investigación se trabajó con los siguientes objetivos:

RESUMEN

La agricultura ha evolucionado y sus efectos se visualizan en una sostenida pérdida de la calidad física, química y biológica de algunos suelos, se trata de un problema a escala mundial. Por ello, la investigación determinó la influencia de diferentes sistemas de uso en las propiedades del suelo del sector Papayal, distrito de Castillo Grande, provincia Leoncio Prado - Huánuco. Se seleccionaron seis sistemas de usos, localizados en terrazas y en suelos de colinas bajas, típicos de este sector; los sistemas son: bosque secundario, cacao, palta, papaya, plátano y ex cocal. Se aplicó los criterios del USDA para evaluar propiedades físicas y químicas del suelo: densidad aparente, resistencia a la penetración, pH, MO, P, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ y CIC. Para determinar la calidad se utilizó la metodología del sub índice de uso sustentable del suelo propuesto por SAGARPA (2012). Los resultados muestran que los sistemas de uso con ex cocal presentan los mayores efectos negativos sobre la resistencia a la penetración; además, se observa diferencias significativas en los diferentes indicadores evaluados, siendo el uso ex cocal el que presentó los menores valores. Se concluye que el sistema Bosque (0.75) presentó una calidad sensible; cacao (0.60) una calidad marginal; Papaya (0.52) calidad marginal; palta (0.49) calidad marginal, plátano (0.50) calidad marginal y el sistema ex cocal (0.25) con una calidad pobre; siendo el cacao que presentó mejor sistema en conservar los suelo y todo lo contrario ocurrió con el sistema ex cocal.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar los efectos de los diferentes sistemas de uso en las propiedades fisicoquímicas del suelo, del sector papayal, distrito de Castillo Grande, provincia Leoncio Prado - 2018.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los indicadores físicos: densidad aparente y resistencia a la penetración del suelo.
- Determinar los indicadores químicos: potencial de hidrogeno (pH), fosforo (P), potasio (K) y Capacidad de intercambio de cationes (CIC) del suelo.
- Determinar el índice de calidad del suelo, en los diferentes sistemas de uso.
- Determinar la correlación entre los indicadores de los diferentes sistemas de uso y el sub índice de uso sustentable del suelo (SUSS).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sistema de uso del suelo

2.1.1. Plantaciones de cacao

Según el Convenio Internacional del Cacao- ICCO (2010); citado por MINAGRI (2016), el Perú está clasificado como el segundo país productor y exportador de cacao fino después de Ecuador. Alrededor del 44% de la producción corresponde a cacao fino (Criollo+Nativo) y el 56% de la producción es cacao corriente o común (CCN-51+Forastero), con un rendimiento medio de 650 a 700 Kg/ha, aunque por encima del promedio mundial (485 Kg/ha). Con relación a las regiones, destacan al 2015, las regiones de San Martín con el 43%; Junín con el 18%, Cusco con 9%, Ucayali con 8% y Huánuco con 6%. Estas cinco regiones representan el 84% de toda la producción nacional. Regiones como Ayacucho, Amazonas, Cajamarca, Tumbes, Loreto, Puno y Madre de Dios, también tienen producción de cacao en menores volúmenes (MINAGRI, 2016)

Tingo María y sus zonas circundantes, presenta buenas condiciones edafoclimáticas para la actividad cacaotera. La mayor parte de las plantaciones con cacao se encuentran establecidos en áreas aluviales, terrenos planos o moderadamente inclinados; con suelos profundos, relativamente fértiles y buen contenido de materia orgánica (>3 %). En los suelos de laderas que tienen pendientes entre 15 – 20 %, también se cultiva el cacao, pero con limitaciones

impuestas por la poca profundidad, fertilidad reducida y la pedregosidad que limitan su potencialidad productiva (PAREDES, 2004).

2.1.2. Plantaciones de plátano

Las provincias de Leoncio Prado y Satipo a pesar de que han contado con asistencia técnica por diversas instituciones públicas y privadas presentan un rendimiento relativamente bajo, la provincia de Padre Abad viene recibiendo asistencia técnica continua en el cultivo de plátano y banano por más de una década lo que se refleja en el aumento de su rendimiento, mediante la producción de variedades con mejores características para el mercado. A pesar de los esfuerzos de las instituciones hay deficiencias en la producción por falta de investigación en el control de plagas y enfermedades además de dar mayor énfasis en el manejo de cosecha y post cosecha puntos claves para la mejorar el producto final.

Para CODEHUALLAGA (2014), la producción y cosechas de los principales productos cultivados y con mayor potencial económico que existen en el alto Huallaga son: cacao, café, plátano y palma aceitera. En el caso de Leoncio prado el plátano ocupa el cuarto lugar, que para el 2012 se tenía una producción de 71,680.5 t y un total de 6,302 ha Minagri (2012), citado por CODEHUALLAGA (2014). Además, la ejecución de programas de desarrollo alternativo y la incorporación de productores a las cooperativas de la zona, han generado beneficios económicos para los agricultores; además, la asistencia técnica y el apoyo para el acceso al crédito favorecieron la expansión productiva.

2.1.3. Plantaciones de papaya

El 65 % de la papaya negociada en Lima Metropolitana proviene de Leoncio Prado, que produce aproximadamente la mitad (48.20 %) de la producción nacional de papaya, con rendimientos promedios de hasta 19.25 t/ha; sin embargo, los resultados del proceso de distribución no son enteramente favorables para los productores agrarios, pues a falta de una organización que los represente su poder de negociación es mínimo frente a los intermediarios y distribuidores mayoristas, quienes cuentan con medios de transporte, contactos, financiamiento y experiencia en la distribución (SALAZAR, 2007). Sin embargo, los datos más recientes muestran una drástica disminución de la producción de papaya, de tal modo que CODEHUALLAGA (2014), no lo considera como parte de los cuatro principales cultivos que se desarrolla en Leoncio Prado.

2.1.4. Plantaciones de Palta

El Perú produce principalmente dos tipos de paltas: Hass y Fuerte. La temporada de la palta fuerte empieza en enero y termina en marzo, mientras que la palta Hass entre mayo y setiembre, otorgándole una ventaja competitiva al país, ya que algunos de los exportadores e importadores del hemisferio norte, e incluso algunos del hemisferio sur, cesan su producción durante estos meses.

Las principales zonas productoras de palta están en la Costa, los valles interandinos y la selva alta, principalmente en Junín, Lima, San Martín, Huánuco y Cusco. La plantación se debe de realizar en zonas no inundables ni propensas a encharcamientos puesto que el exceso de humedad la extermina. Con respecto al clima, se deben evitar zonas de heladas porque estas afectan la

floración y si son muy intensas pueden llegar a perjudicar las plantas (VASQUEZ, 2010).

2.1.5. Ex cocal

Los suelos de ex cicales son aquellas áreas que han sido utilizados para la producción de hoja de coca y luego destinado a la producción de cocaína, por un lado tenemos un sistema de manejo que deja al suelo totalmente descubierto por la aplicación continua de herbicidas y por otro hay que considerar que los suelos donde son instalados estos cultivos son generalmente suelos inceptisoles con un horizonte A muy delgado y un B incipiente, generalmente con una estructura granular muy susceptible a la erosión hídrica que permite un proceso de pérdida de material superficial, pérdida de nutrientes y pérdida de su estructura original debido a la acción humana.

La técnica que se aplica en la instalación es uno de los factores clave en su nocividad en la degradación del suelo, la instalación a favor de la pendiente, el control de malezas con herbicidas y la extracción de los residuos vegetales del área, la alta pluviometría y el tipo de suelo inceptisol con epipedón granular y una geomorfología de lomas y colinas y en algunos casos de montañas bajas (YAROS, 20016). En conjunto tienen un efecto devastador en el suelo, que nos lleva en pocos años de uso a tener un suelo fuertemente ácido, con niveles muy bajos en materia orgánica y una acidez cambiante con una saturación de aluminio superiores a 50% (URRELO, 1997).

Para UNODC 2008. La extensión ocupada por cultivos de coca en producción para el año 2008, en el contexto nacional, ha sido dimensionada en

56,100 hectáreas. La cuenca del Alto Huallaga (incluida la sub cuenca del Monzón) tiene una extensión de 17,848 hectáreas de coca, que representa el 31.8% del total nacional.

La coca ilegal habría destruido 2,500 Km² de selva tropical amazónica, es decir aproximadamente el 30% del total deforestado a nivel nacional, la intensa y extendida eliminación de bosques en tierras de fuerte gradiente, generaron graves repercusiones ambientales, pues a la deforestación le siguió la pérdida de suelos por erosión hídrica, la extinción de recursos genéticos, las inundaciones y deslizamientos de tierras y la reducción de la fauna hidrobiológica entre otros no menos importantes. Finalmente, para el año 2016 el informe de las áreas de coca en nuestro país abarca una extensión de 43 900 ha aproximadamente (UNODC, 2016).

Cuadro 1. Áreas cocalera en Perú 2002-2016.

AÑO	HECTAREAS
2002	46,700
2003	44,200
2004	50,300
2005	48,200
2006	51,400
2007	53,700
2008	56,100
2009	59,900
2010	61,200
2011	62,500
2012	60,400
2013	49,800
2014	42,900
2015	40,300
2016	43,900

Fuente: UNODC 2016.

2.1.6. Bosque

OSINFOR (2016) define como un ecosistema en el que predominan las especies arbóreas en cualquier estado de desarrollo, cuya cobertura de copa supera el 10% en condiciones áridas o semiáridas, o el 25% en circunstancias más favorables.

Los bosques constituyen ecosistemas complejos que pueden aportar una amplia gama de beneficios de orden económico, social y ambiental. Los bosques proporcionan productos y servicios que contribuyen directamente al bienestar de la población en todo el mundo y son vitales para nuestras economías, nuestro medio ambiente y nuestra vida cotidiana. No sólo son una fuente de recursos maderables sino también de combustibles, medicinas, materiales de construcción, alimentos, etc.

La subregión de América del Sur Tropical, que comprende Colombia, Guayana Francesa, Guyana, Surinam, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia, Paraguay y Brasil, constituyen la concentración más grande de bosque pluvial tropical del mundo, con cerca de 885 millones de hectáreas situadas en la cuenca del Amazonas y otras 85 millones de hectáreas en el complejo de la Cuenca del Orinoco y del Paraná. El área total de la tierra en América del Sur Tropical es de 1387 millones de hectáreas (FAO, 2000).

2.2. Funciones del suelo

Desde que se popularizó, la calidad se percibe de diversas formas, aunque quizás y de forma resumida se entiende como la conjunción de la utilidad y salud del suelo. Conviene no obstante acotar el término en virtud de su

funcionalidad como capacidad de servir como substrato para el crecimiento de las plantas, promoviendo la productividad de forma sostenible y capacidad de atenuar la actividad contaminante y de favorecer la salud de las plantas, animales y el hombre.

El suelo es un componente fundamental de la biosfera ya que es la interfaz entre la tierra, el aire y el agua. Es un recurso no renovable, a escala de tiempo humana, que desempeña diversas funciones importantes para la vida. KARLEN *et al.* (1997) destacan las siguientes:

- Sostiene el crecimiento y diversidad de plantas y animales aportando el medio físico, químico y biológico para los intercambios de agua, aire, nutrientes y energía.
- Regula la distribución del agua entre la infiltración y escorrentía y regula el flujo de agua y solutos, incluyendo nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros nutrientes y compuestos disueltos en el agua.
- Almacena y modera la liberación de los nutrientes de los ciclos de las plantas y otros elementos.
- Actúa como filtro para proteger la calidad del aire, agua y otros recursos.
- Es el apoyo de estructuras y alberga riquezas arqueológicas asociados a la vivienda humana.
- Filtra, amortigua, degrada, inmoviliza y detoxifica sustancias orgánicas e inorgánicas.

2.3. Sistemas de uso y calidad de suelos

El proceso de evaluación de la capacidad de uso de los suelos se extendió como una prolongación del reconocimiento y caracterización de los mismos, de tal modo que ponderaba de manera práctica una serie de variables básicas que previamente se identifican, pero que dualmente servían para evaluar la capacidad de un suelo para su uso óptimo (Dorronsoro 2002; citado por JIMÉNEZ y GONZÁLEZ, 2006). En este sentido, la preocupación ha sido siempre determinar las potencialidades del suelo y aplicar el sistema de uso adecuado para evitar la degradación de este recurso tan importante, teniendo en cuenta propiedades físicas, socio-económicas y la conservación de los recursos naturales para el futuro.

2.4. Sistemas de uso y degradación de suelos

El suelo es la capa superficial de la tierra y su lenta tasa de formación (100-400 años/cm de suelo para algunos autores) hace que se le considere un recurso no renovable y que debe preservarse. Alrededor del 15 % de la superficie del planeta se ha degradado y cada vez es más frecuente encontrar suelos cuya degradación es tan extrema que se considera irreversible; (cualquier pérdida de más de 1 tonelada/hectárea/año en un lapso de tiempo de entre 50 y 100 años). Desde los años 1950 hasta fin de siglo, de los 8,7 billones de hectáreas de suelos agrícolas, de pastos permanentes y de bosques, se han degradado alrededor de 2 billones de hectáreas. Y es que la capacidad de amortiguamiento del suelo, su resiliencia y su capacidad de filtrar y absorber sustancias contaminantes hacen

que los daños que sufre no se perciban hasta una fase muy avanzada. (AEMA, 1999; citado por JIMÉNEZ *et al.*, 2006).

La degradación de tierras es un proceso que conlleva a un deterioro progresivo de la calidad del suelo, en especial, desde el punto de vista químico, lo que se traduce en una pérdida de la productividad agrícola (TORRES *et al.*, 2006). También, los manejos inapropiados al suelo, provocan efectos negativos como la compactación y la erosión (NOGUERA y VÉLEZ, 2011). De este modo, a veces solo tras varios años de usos inadecuados es cuando aparecen las señales del impacto sufrido durante el pasado. Probablemente sea esta la razón principal de que no se haya fomentado la protección del suelo en la misma medida que la protección del aire y del agua.

Hay muchos autores que señalan el efecto negativo de los diferentes sistemas de uso del suelo, entre ellos, (NAVARRO *et al.*, 2018) señala que la conversión de bosques en sistemas agrícolas resulta en la reducción del carbono orgánico total (COT) por el tipo de cultivos, por factores de uso y manejo. Esto lo demostró al evaluar sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso, concluye que los suelos bajo sistemas convencionales presentan los efectos más negativos para la estructura del suelo, por la menor estabilidad de agregados, reflejados por los menores contenidos de carbono orgánico del suelo.

TORRES *et al.* (2006) evaluó el impacto de los tipos de uso de tierras predominantes en el sector el Cebollal, estado Falcón, Venezuela, a partir de la evaluación de variables químicas y determinó el nivel actual de degradación

producto de los sistemas de producción. Se evaluaron tres tipos de uso de la tierra: convencional utilizando melón con rastreo y fertilización química, alternativo utilizando sábila con labranza mínima y manejo orgánico, y un bosque secundario, no alterado por varios años, como patrón de referencia. El tipo de uso de la tierra bajo manejo convencional mostró los mayores problemas de degradación química al presentar una drástica reducción en el contenido de carbono orgánico, menor capacidad de intercambio catiónico y menor contenido de bases, así como un incremento en el riesgo de sodicidad, en consecuencia, menor fertilidad.

NOGUERA y VÉLEZ (2011) en evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos en el departamento de Nariño, encontró que los usos T2 bosque, T3 (*Senna pistacifolia-Pennisetum clandestinum*), T5 (*Delastoma integrifolium – Pennisetum clandestinum*) y T4 Eucalipto (*Eucaliptus globulos–Pennisetum clandestinum*), presentaron mayores valores de porosidad total, conductividad hidráulica y menores promedios de densidad aparente y resistencia a la penetración; por el contrario el tratamiento T1 (*Pennisetum clandestinum*) manifestó una disminución en la porosidad total, en la conductividad hidráulica y un incremento en la densidad aparente. Los tratamientos T3 y T5 evidenciaron mejores valores para el porcentaje de materia seca; por el contrario, los tratamientos T4 y T1 mostraron una disminución significativa en esta variable.

También en el ámbito de nuestra provincia YAROS (2016) En uso sustentable del suelo en diferentes sistemas de cultivo en el distrito de Padre Felipe Luyando –Naranjillo. Muestra que los menores valores de densidad

aparente, corresponden al bosque secundario y cacao (1.2, 1.05 g/cm³) y los valores más altos corresponden a cítrico, Ex coca y cocal (1.28, 1.25 y 1.35 g/cm³). El sistema coca presento los menores valores de pH (4.75), fosforo disponible (5.72), materia orgánica con (1.1%), y potasio (118.24 ppm). Además, muestran una clara tendencia de aumento de la resistencia a la penetración en los sistemas de ex coca y coca. Los resultados demuestran que el sistema de cacao tiene un SUSS sensible (0.65), el plátano, bosque secundario, y cítrico con un SUSS marginal (0.59, 0.56 y 0.50) y el ex cocal y cocal con un SUSS pobre (0.41 y 0.38). Estos resultados evidencian que los diferentes sistemas de uso del suelo influyen sobre la calidad de los mismos y que el sistema de uso con coca es el sistema que presenta un mayor efecto negativo en todos los indicadores que se han evaluado.

También, AZAÑERO (2016) en calidad del suelo a través del subíndice de uso sustentable SUSS, el sistema agroforestal con cacao SAF presentó un SUSS de 0.93, con respecto al bosque secundario y el cocal de 0.77 y 0.57, determinando de esa manera que el SAF presenta una mejor calidad a comparación de los demás sistemas en el distrito de Monzón. El sistema agroforestal tuvo mayor contenido de P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y CIC que los otros sistemas, el suelo del bosque secundario registró mayor % de materia orgánica y N total, lo que indica que en estos sistemas hay mayor y mejor reciclaje de biomasa y se mantiene mejor el N. Finalmente, el suelo del cocal presentó bajas condiciones de porosidad y aireación del suelo, reflejados por la mayor densidad aparente y resistencia a la penetración, así como también la menor velocidad de infiltración. Finalmente, OBREGÓN (2017) en diferentes áreas de la zona de uso

especial del Parque Nacional Tingo María, identifico suelos de calidad aceptable, sensible, pobre y marginal.

2.5. Indicadores de calidad

Los indicadores de calidad del suelo se refieren a las propiedades del suelo medibles que influyen en la capacidad de realizar funciones de producción agrícola o medioambiental (ARSHAD, 2002). En consecuencia, se trata de las propiedades utilizadas en producción agrícola que además sirvan para identificar la calidad medioambiental, o bien, aquellas que reflejen este último valor.

Las evaluaciones de la calidad realizadas por diferentes autores varían o en el método seguido o en los indicadores seleccionados, algo que es entendible pues, como hemos afirmado, la calidad es algo específico de un suelo y uso determinado. Sin embargo, algunos estudios consideran indicadores de la calidad del suelo cualquiera de las propiedades físicas, químicas y biológicas (SQI, 1996); otros establecen la necesidad de aunar todas las propiedades para conocer el estado global del suelo (DORAN y PARKIN, 1996).

El siguiente cuadro muestra una serie de indicadores para una caracterización inicial de calidad del suelo propuesta por varios autores como (LARSON y PIERCE, 1991; DORAN y PARKIN, 1994; SEYBOLD *et al.*, 1997). Sin embargo, existen indicadores importantes no incluidos que podrían incluirse, tales como capacidad de intercambio catiónico, estabilidad de agregados y algunas propiedades bioquímicas.

Cuadro 2. Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para controlar los cambios que ocurren en el suelo.

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Físicas		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	minutos/2.5cm de agua y g/cm ³
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm ³ /cm ³), cm de humedad aprovechable/30cm; intensidad de precipitación
Químicas		
materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha ⁻¹
pH	Define la actividad química y biológica	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm ⁻¹ ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Kg ha ⁻¹ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos
Biológicas		
C y N de la biomasa microbiana	potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Kg de N o C ha ⁻¹ relativo al C y N total o CO ₂ producidos
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo a la actividad microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Kg de N ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo al contenido de C y N total

Fuente: (LARSON y PIERCE, 1991; DORAN y PARKIN, 1994; SEYBOLD *et al.*, 1997).

2.6. Indicadores físicos

Para PORTA *et al.* (2011) señala que tradicionalmente se ha prestado más atención a las propiedades químicas que a las físicas, al estudiar la fertilidad del suelo, por lo general, estos resultan más fácil de cambiar, que corregir defectos físicos; las propiedades físicas más importantes son: la textura o granulometría, la porosidad, densidad aparente, densidad real, superficie específica, retención de agua, infiltración, permeabilidad y conductividad hidráulica. Estas características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000).

SAGARPA (2012) Las propiedades físicas tienen una gran influencia en los suelos y su afectación por los sistemas de uso pueden ser irreversibles, estas propiedades están estrechamente relacionadas con el transporte y retención de agua, humedad aprovechable, erosión del suelo y productividad potencial.

2.6.1. Textura

Es precisamente esta proporción de cada elemento del suelo lo que se llama la textura, o dicho de otra manera, la textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición.

En geología, el término textura aplicado a las rocas, tiene sentido diferente, designa el modo en que los elementos constituyentes de la roca se agrupan en el espacio confiriéndole su conformación general (RUCKS, GARCÍA, KAPLÁN, PONCE DE LEÓN Y HILL, 2004).

Desde un enfoque agronómico, PORTA *et al.* (2011) define a la composición granulométrica como la proporción porcentual de arena, limo y arcilla en la fracción mineral de tierra fina; y la textura es una apreciación global de las propiedades mecánicas de una muestra de suelo, se describe por medio de la sensación al hacer deslizar entre los dedos una muestra húmeda, de la que se han eliminado los elementos gruesos. Es una estimación de la clase textural en campo, no de los porcentajes. Y la clase textural, son las múltiples combinaciones de porcentajes de arena, limo y arcilla, que se han agrupado según el criterio USDA en 12 clases.

Además, SAGARPA (2012) señala que la densidad aparente es una propiedad incluida para evaluar la calidad de un suelo como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo. Los cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total.

2.6.2. Densidad aparente

Según PORTA *et al.* (2011) la densidad del suelo, se debe a la organización de las partículas individuales en unidades mayores (agregados), hace que el suelo sea un medio poroso, lo que permite establecer dos tipos de densidades, la densidad de las partículas (minerales y orgánicas): densidad real

y la de un volumen de suelo en su conjunto denominado densidad aparente. Este último, es muy importante, por ser susceptible frente al uso y manejo que se le dé al suelo.

Es la relación existente entre la masa y el volumen de suelo, en este volumen está considerado todo el espacio poroso existente. Es una característica que nos da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad, la disponibilidad de agua y de oxígeno, etc. El suelo empieza a tener problemas por compactación cuando estos valores son superiores a 1.6 g/cc (RAMIREZ, 1997). A continuación, se presenta una tabla de la relación entre la densidad aparente y la porosidad total.

Cuadro 3. Relación entre la densidad aparente y la porosidad total.

Densidad aparente (g/cc)	Porosidad total (%)
< 1.0	> 63
1.0 - 1.2	55 - 62
1.2 - 1.4	47 - 54
1.4 - 1.6	40 - 46
1.6 - 1.8	32 - 39
> 1.8	< 31

Fuente: Duchaufour (1965).

La densidad aparente es una propiedad incluida para evaluar la calidad de un suelo como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo. Los cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total (DORAN y PARKIN, 1996).

Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios. En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de las plantas es impedido o retardado consistentemente (DONOSO, 1992).

Entre los factores que afectan la densidad aparente, se encuentran: la textura, la estructura y el contenido de materia orgánica. Suelos con texturas arenosas tienden a presentar densidades mayores que los suelos más finos, en tanto que para los suelos mejor estructurados los valores son menores. En el siguiente cuadro se presentan los rangos interpretativos para la densidad aparente, y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Cuadro 4. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura	Ideal (g cm-3)	Aceptable (g cm-3)	Puede afectar el crecimiento radicular (g cm-3)	Restringe el crecimiento radicular (g cm-3)
Arena, areno- franco	Dap < 1.6	1.6 ≤ Dap < 1.69	1.69 ≤ Dap < 1.80	Dap > 1.80
Franco-arenosa, franco	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.63	1.63 ≤ Dap < 1.80	Dap > 1.80
Franco-arcilla- arenosa, franco- arcillosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.60	1.60 ≤ Dap < 1.75	Dap > 1.70
Limosa	Dap < 1.3	1.3 ≤ Dap < 1.60	1.60 ≤ Dap < 1.75	Dap > 1.75
Franco-limosa, franco-arcillo- limosa	Dap < 1.4	1.4 ≤ Dap < 1.55	1.55 ≤ Dap < 1.65	Dap > 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa	Dap < 1.1	1.1 ≤ Dap < 1.39	1.39 ≤ Dap < 1.58	Dap > 1.58
Arcillosa (>45% arcilla)	Dap < 1.1	1.1 ≤ Dap < 1.39	1.39 ≤ Dap < 1.47	Dap > 1.47

Fuente: USDA (1999).

2.6.3. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es una medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser empujado dentro del suelo (BRADFORD, 1986). Ofrece información acerca de capas impedantes para raíces, y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo. También puede ser empleada para determinar duripanes, zonas de compactación, u horizontes densos (USDA, 1999).

Cuadro 5. Niveles de resistencia del suelo a la penetración.

Kg/cm ²	Nivel de resistencia
< 1.0	Suelo muy suave
1.0 – 2.0	Suelo suave
2.0 – 3.0	Suelo duro
3.0 - 4.0	Suelo muy duro
> 4.0	Suelo extremadamente duro

Fuente: Hosokay (2012).

2.7. Indicadores químicos

Los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (SQI, 1996).

2.7.1. Potencial de hidrógeno –pH

El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo, y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos, y la solubilidad de minerales del suelo. Factores importantes que afectan el pH edáfico son temperatura y precipitaciones, que controlan la intensidad del lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo. La acidez por lo general está asociada con suelos lixiviados; la alcalinidad mayormente aparece en regiones más secas. Sin embargo, prácticas agrícolas, tales como el encalado o el agregado de fertilizantes de amonio, puedan alterar el pH. La medición de pH significa en realidad medir la actividad del ión [H+] en la solución del suelo (USDA, 1999).

Cuadro 6. Rangos interpretativos para el pH (relación 2:1).

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	pH < 5.0
Moderadamente ácido	5.0 ≤ pH < 6.5
Neutro	6.5 ≤ pH < 7.3
Medianamente alcalino	7.3 ≤ pH < 8.5
Fuertemente alcalino	pH ≥ 8.5

Fuente: SAGARPA (2012).

2.7.2. Materia orgánica

La materia orgánica se refiere a todo el material de origen animal o vegetal que este descompuesto, parcialmente descompuesto y sin descomposición. Generalmente es sinónimo con el humus aunque este término

es más usado cuando nos referimos a la materia orgánica bien descompuesta llamada sustancias húmicas (FAO, 2009).

La contribución de la MO a la productividad de los suelos ha sido reconocida en la agricultura tradicional y por ende se considera la base de su fertilización. Se considera un nivel propio de un suelo de calidad, una proporción de al menos 5% de MO. En el cuadro 6 se presentan los rangos interpretativos para el contenido de materia orgánica.

Cuadro 7. Rangos interpretativos para el contenido de materia orgánica (%).

Clasificación	% MO
Muy bajo	MO < 0.5
Bajo	0.5 ≤ MO < 1.5
Medio	1.5 ≤ MO < 3.5
Alto	3.5 ≤ MO < 6.0

Fuente: SAGARPA (2012).

2.7.3. Nitrógeno total

La disponibilidad de este elemento depende de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Esta mineralización se da en valores cercanos a pH 7, que es donde mayor desarrollo presenta las bacterias encargadas de la nitrificación y la fijación de nitrógeno (RAMÍREZ, 1997).

La fuente principal de N es la atmósfera, donde es el gas predominante. Este N atmosférico se hace disponible para las plantas a través

del proceso de fijación biológica efectuada por ciertos microorganismos. La mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra formando compuestos orgánicos quedando disponible para las plantas través del proceso de mineralización. Las reservas de N en el suelo están constituidas por materia orgánica de descomposición rápida, compuestos húmicos de mineralización más lenta y una pequeña fracción se encuentra en combinaciones inorgánicas como NH_4^+ y NO_3^- (SAGARPA, 2012).

Cuadro 8. Rangos interpretativos para el nitrógeno total.

Clasificación	% N total
Muy bajo	$N < 0.05$
Bajo	$0.05 \leq N < 0.10$
Medio	$0.10 \leq N < 0.15$
Alto	$0.15 \leq N < 0.25$
Muy Alto	$N \geq 0.25$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.7.4. Fosforo total

El fósforo es un elemento esencial que se encuentra en forma de fosfatos y es esencial para las plantas, resulta necesario para el crecimiento y desarrollo del potencial genético. Este elemento es escaso en el suelo y además gran parte no está en formas disponibles para las plantas. La disponibilidad depende del tipo de suelo y del grado de solubilidad (SAGARPA, 2012).

Si el pH es ácido, la solubilidad del aluminio y del hierro es alta. Estos compuestos precipitan con el fósforo como compuestos insolubles. En pH alcalino, es decir, superior a 7.5, el calcio aumenta su solubilidad y reacciona con los fosfatos precipitándolos y formando compuestos Insolubles como la apatita; por lo tanto, el fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5, siendo en ese rango donde se presenta la mayor mineralización de compuestos de fósforo orgánico y mineral (RAMÍREZ, 1997).

Cuadro 9. Rangos interpretativos para el fósforo total.

Clase	P (mg*kg ⁻¹)
Bajo	P < 5.5
Medio	5.5 ≤ P < 11
Alto	P ≥ 11

Fuente: SAGARPA (2012).

2.7.5. Capacidad de intercambio catiónico

Un aumento en el pH origina cargas negativas libres y que pueden ser posiciones intercambiables entre los cationes presentes en la solución del suelo (RAMÍREZ, 1997).

La capacidad de intercambio catiónico de una muestra de suelo o de alguno de sus componentes, expresa: el número de moles de iones de carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo unas condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase

liquida y una relación de masa-solución dada. Un mol de carga positiva equivale a 6.02×10^{23} cargas de cationes adsorbidos.

En unidades SI la CIC se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo, $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ o bien $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Con anterioridad se venía utilizando como unidad el meq/100g, cuyo uso se halla todavía muy extendido. El valor numérico es el mismo con ambas unidades (PORTA *et al.*, 2003).

Cuadro 10. Rangos interpretativos para la CIC.

Clase	CIC ($\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$)
Muy alto	$\text{CIC} \geq 40$
Alto	$25 \leq \text{CIC} < 40$
Medio	$15 \leq \text{CIC} < 25$
Bajo	$5 \leq \text{CIC} < 15$
Muy bajo	$\text{CIC} < 5$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.7.6. Potasio intercambiable

El K^+ es considerado el catión más importante en la fisiología de las plantas, no solo por su contenido en los tejidos vegetales, sino por las funciones que desempeña. Su velocidad de absorción es alta, como consecuencia de la permeabilidad selectiva de las membranas vegetales; hecho que propicia la difusión facilitada (tanto de ingreso como de salida) de este nutriente para diversos procesos fisiológicos, entre los cuales se pueden citar: crecimiento

meristemático, estado hídrico, fotosíntesis y transporte a larga distancia (MENGEL *et al.*, 2000).

El K⁺, a diferencia de otros nutrientes no hace parte constitutiva de los principios esenciales (prótidos, lípidos y glúcidos), sino que tiende a permanecer en forma iónica. Debido a la gran movilidad que lo caracteriza actúa básicamente neutralizando ácidos orgánicos que resultan del metabolismo, y así asegurar la constancia de la concentración de H⁺ en los jugos celulares (NAVARRO *et al.*, 2003).

Cuadro 11. Rangos interpretativos para potasio (K) intercambiable.

Clase	K (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	$K < 0.2$
Bajo	$0.2 \leq K < 0.3$
Medio	$0.3 \leq K < 0.6$
Alto	$K \geq 0.6$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.7.7. Calcio intercambiable

El calcio posee un efecto moderador de los cambios en niveles de salinidad, particularmente por el sodio en suelo y planta. Al ser un catión bivalente con menor carga de hidratación, desplaza al sodio del complejo de cambio y promueve la agregación de los suelos salinos. La principal actividad del calcio junto con la interacción de otros cationes en suelos con sodio, radica

en la reducción de los efectos tóxicos de este elemento en las plantas (SAGARPA, 2012).

LARCHER (2003) menciona las siguientes funciones de Ca en la planta: regulación de la hidratación (antagonistas K y Mg); activador de enzimas (Amilasa, ATPasa); regulación de la elongación y crecimiento.

MARSCHNER (1986) resalta el hecho que a diferencia de los otros macronutrientes, una alta proporción de Ca total en el tejido de las plantas se localiza en las paredes celulares (apoplasto), razón por la cual su presencia es vital en la estabilización de estas y de las membranas; además de otras funciones como la modulación de las enzimas, la osmoregulación y el balance de catión–anión.

Cuadro 12. Rangos interpretativos para calcio (Ca) intercambiable.

Clase	Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	Ca < 2
Bajo	2 ≤ Ca < 5
Medio	5 ≤ Ca < 10
Alto	Ca ≥ 10

Fuente: SAGARPA (2012).

2.7.8. Magnesio intercambiable

Este elemento resulta de particular interés dado que forma parte de la molécula de clorofila, por lo que está asociado a la fotosíntesis. Resulta muy

común encontrar deficiencias de Mg en suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico (SAGARPA, 2012).

MARSCHNER (1986) sugiere que las funciones de Mg en las plantas se relacionen con su movilidad dentro de las células; la cual se debe a la capacidad de interactuar fuertemente con ligandos nucleofílicos (por ejemplo los grupos fosforil), a través de enlaces iónicos, y actuar como un elemento que establece puentes y/o formas complejas de diferentes niveles de estabilidad. Cabe aclarar que no todos los enlaces son iónicos; algunos, como los que establece en la molécula de la clorofila, son de tipo covalente.

Cuadro 13. Rangos interpretativos para Magnesio (Mg) intercambiable.

Clase	Mg (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	Mg < 0.5
Bajo	0.5 ≤ Mg < 1.3
Medio	1.3 ≤ Mg < 3.0
Alto	Mg ≥ 3.0

Fuente: SAGARPA (2012).

2.8. Subíndice de uso sustentable del suelo

El suelo es un recurso fundamental para la producción agrícola a nivel global. Al ser un recurso natural potencialmente renovable, puede perderse si se utiliza a un ritmo que no permita su regeneración en términos de fertilidad; es decir, si su gestión se da de forma no sustentable.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), ha elaborado un estudio, el cual forma parte de la línea de base del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, con el objetivo de contar con datos contrafactuales que sirvan para guiar la instrumentación del programa, así como para, en su momento, evaluar los impactos del mismo. El subíndice de uso sustentable del suelo SUSS, agrupa las propiedades fisicoquímicas relacionadas a la calidad del suelo, a través del promedio de los valores normalizados de cada indicador edáfico, tanto a nivel nacional como por entidad federativa y por régimen hídrico (SAGARPA, 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del lugar de estudio

El presente estudio se realizó en seis tipos de sistemas de uso del suelo en el sector Papayal, ubicada políticamente en el distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. El área de investigación presenta las siguientes coordenadas UTM: Este 388152.59 y norte 8979369.32, a 635 m.s.n.m.

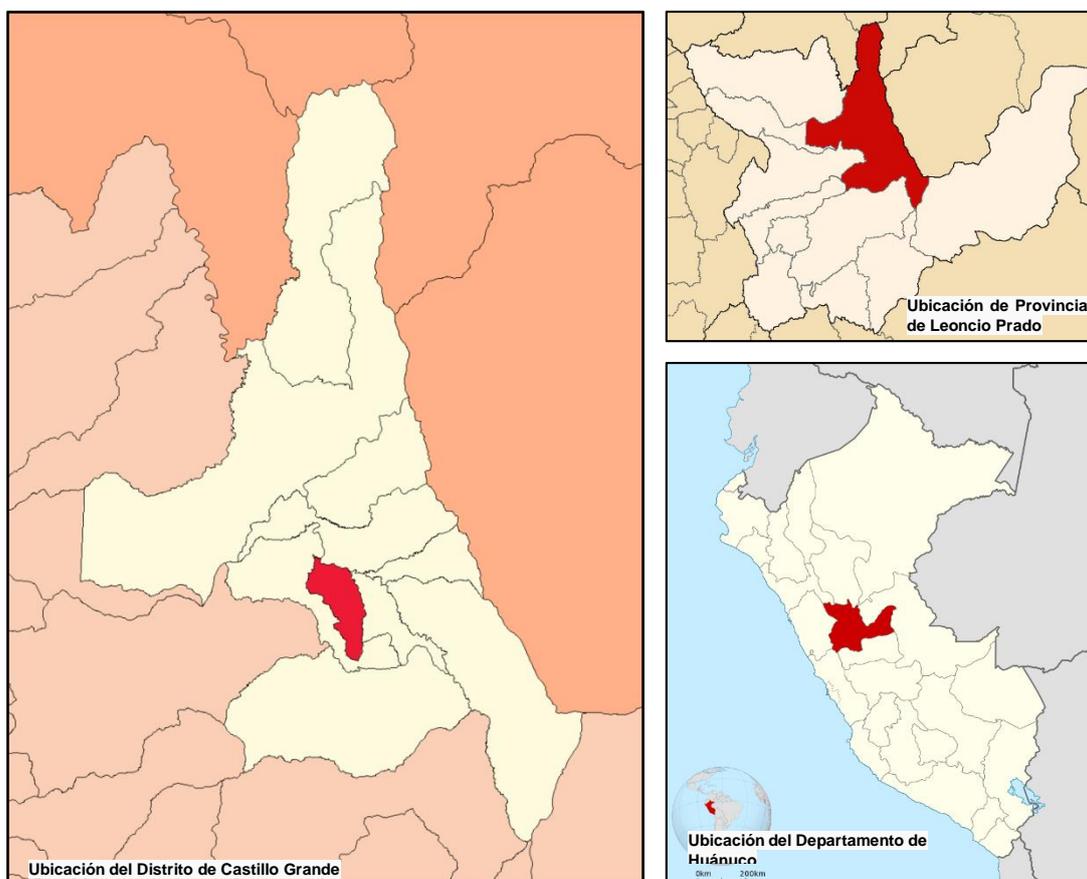


Figura 1. Mapa de ubicación política del lugar estudio.

3.2. Unidades geográficas

En el área se reconocen dos unidades geográficas diferentes:

3.2.1. Valle

Representado en el curso superior del río Huallaga, siendo una depresión llana, donde existen extensos terrenos cultivables en ambas márgenes, son totalmente inundables en épocas lluviosas, presenta una dirección continua de N 30° O (MARTÍNEZ, 1998).

3.2.2. Faja subandina

La conforma la Selva Alta o Ceja de Selva, de morfología accidentada con altitudes que oscilan entre los 800 a 2800 m.s.n.m., está limitada entre las cuencas del río Huallaga y Aguaytía, posee una abundante vegetación, en esta unidad están comprendidas cadenas de montañas, valles encañonados; resultado de las aguas fluviales que las disectan. La unidad se expone al oriente de Tingo María y Aucayacu, comprendiendo más del 60% de la hoja del Río Santa Ana. Conserva una dirección de N 10° O, terminando abruptamente a 10 km al oeste del río Aguaytía (MARTÍNEZ, 1998).

3.2.3. Relieve

El relieve del área en su mayoría es de naturaleza abrupta reflejándose en grandes elevaciones; la Cordillera Oriental cuya máxima elevación es de 4 621 msnm corresponde al sector SO del cuadrángulo de Tingo María; presenta escarpas y valles de origen glaciario que gradúan hacia el norte en valles encañonados; estos valles presentan una dirección NNO paralelo a las

estructuras andinas. Estas montañas pierden su altitud conforme se aproximan al valle del río Huallaga, conformado por una llanura aluvial con altura promedio de 500 a 600 msnm y ancho máximo de 10 km (Azpuzana) con dirección este, el relieve gana altura conformando la Faja Subandina, presentando una morfología agreste, longitudinal y paralela a la dirección Andina siendo disectada por valles encañados transversales que conforman las cuencas de los ríos Pisqui, Santa Ana y Shamboyacu. Esta morfología termina bruscamente en el paralelo 75°40 conformando desde aquí el Llano Amazónico (MARTÍNEZ, 1998).

3.2.4. Distribución climática

En la región se diferencian cinco condiciones climáticas diferenciadas de SO a NE, de acuerdo a la variación de altitud. En la zona de estudio el tipo de clima se menciona a continuación:

Clima Cálido - Húmedo

Característico del valle del río Huallaga, las lluvias fuertes y esporádicas producen inundaciones en los llanos, presentes a lo largo del río; las temperaturas no superan los 35°C (MARTÍNEZ, 1998).

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales

Mapa o croquis del predio, machete, cuchillo, barreno holandés, pala o palín, muestreador de metal o madera de 30cm x 30cm, balde plástico o galvanizado limpio para recolectar las sub muestras, etiquetas o tarjetas para la identificación de las muestras y marcadores, hilo, marcadores de tinta

permanentes para identificar las muestras, libreta de campo, suelo agrícola de distintas parcelas y materiales de laboratorio.

3.3.2. Equipos

GPS Garmin map 64S, laptop Toshiba I5, equipos de laboratorio (Phmetro, bureta digital, espectro fotómetro UV-visible y espectro fotómetro de adsorción atómica).

3.4. Metodología

El presente trabajo de investigación se utilizó un diseño cuasi-experimental (descriptivo- experimental) con un tiempo de ejecución de seis meses, entre los meses de abril – octubre 2017. Es de alcance descriptivo – interpretativo, considerando cinco tipos de sistemas de manejo del suelo:

A lo largo de este trabajo de investigación se desarrollaran actividades en fiel cumplimiento de los objetivos planteados iniciando este proceso con la identificación de los diferentes sistemas de manejo (entre ellos bosque secundario como referencia, cacao, plátano, papaya, palta, ex cocal). Luego de haber ubicado los sistemas se procederá a la extracción de las respectivas muestras para su análisis en el laboratorio de conservación de suelos, cuyos resultados serán analizadas y procesadas para determinar el efecto de los diferentes sistemas de uso sobre las propiedades fisicoquímicas y el sub índice de uso sustentable de los suelos.

3.5. Selección de los sistemas productivos

Se seleccionaran cinco sistemas de usos localizados en terrazas y en suelos de colinas bajas, típicos de este sector (Papayal) los sistemas deben estar en su etapa de producción óptima considerando su periodo vegetativo para homogenizar el posible impacto que pueden tener sobre la calidad del suelo, dentro de esta etapa, se realizará una recopilación de toda la información necesaria del área en estudio; así como información de suelos, sistemas de uso que vienen dando en el área, así mismo, se extraerán las muestras de forma sistemática según lo recomendado por SUAREZ (1994) extrayéndose 20 sub muestras por ha para obtener una muestra compuesta y cada sistema de uso estará debidamente georreferenciado.

3.6. Muestreo de Suelos para análisis físico químico

El número de muestras o medidas a tomar dependerá de la variabilidad en el campo. Se recomienda la recolección de un mínimo de tres muestras o mediciones de cada una de las combinaciones de tipo de suelo y manejo. En general, cuanto mayor sea la variabilidad mayor será el número de medidas necesarias para conseguir un valor representativo a la escala de lote (USDA, 1999).

Consistirá en realizar un recorrido en zig-zag, que permita cubrir toda el área del lote para que el muestreo sea representativo, tomando en cada sistema de 20 sub muestras por ha. (SUAREZ, 1994), de 0-30 cm de profundidad, el cual posteriormente se mezclará con las muestras de los puntos

sucesivos a cada profundidad, formando una muestra compuesta de 1 kg la cual se llevará al laboratorio para su análisis.

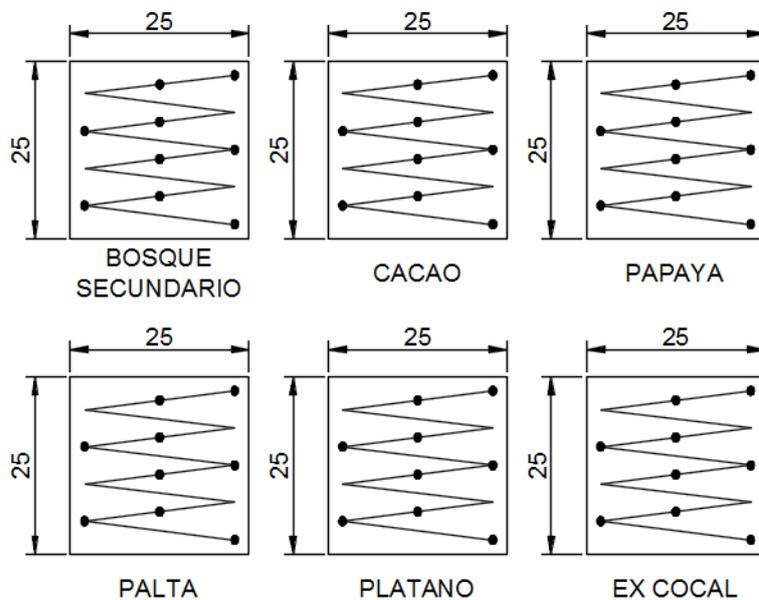


Figura 2. Diagrama de muestreo de suelos para análisis físico químico en cada uno de los sistemas de uso de la tierra.

3.7. Determinación del índice de calidad del suelo

Para determinar la calidad del suelo se utilizara el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) que agrupa las propiedades fisicoquímicas relacionadas a la calidad del suelo, a través del promedio de los valores normalizados de cada indicador edáfico (i).

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (1)$$

Dónde:

P: es el promedio del valor de los parámetros normalizados,

i: es cada indicador o parámetro analizado, y

n: es el número total de parámetros analizados.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m Rn_j}{m} \quad (2)$$

Dónde:

Rn: es el valor resultante del parámetro normalizado

m: es el número de muestras de suelo analizadas

j: es cada muestra de suelo.

La ecuación de cálculo de la normalización de los indicadores es:

$$Rn_j = 1 - \left(\frac{Vr_j - d_j}{c_j - d_j} \right) \quad (3)$$

Dónde:

Rn: es el resultado normalizado

Vr: es el valor del parámetro fisicoquímico (indicador)

d: es el valor deseable en el indicador

c: es el valor de corte en el indicado

j: es cada muestra de suelo

Los rangos de valores deseables para cada parámetro considerado en la estimación del SUSS se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo

Indicador	Unidad de medida	Rango o	
		valor Deseable (d)	Valor de corte (C)
Materia orgánica (MO)	%	MO > 5	0.5
Densidad aparente (Dap)	g/cm ³	Dap < 1.1	1.47
Conductividad eléctrica (CE)	dSm ⁻¹	CE < 1	4.1
pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5
Fósforo disponible (P)	mg kg ⁻¹	P > 5.5	0
Magnesio intercambiable (Mg)	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Mg > 0.3	0
Calcio intercambiable (Ca)	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Ca > 5	0
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	CIC > 15	5
Nitrógeno total	%	N > 0.2	0.05

Fuente: SAGARPA (2012).

La interpretación del subíndice se realizó conforme a la metodología de Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación.

Cuadro 15. Rangos interpretativos del SUSS.

Calidad del suelo	Descripción
Bueno ($0.95 < \text{SUSS} < 1.0$)	Las condiciones de la calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola
Aceptable ($0.80 < \text{SUSS} \leq 0.95$)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados
Sensible ($0.65 < \text{SUSS} \leq 0.80$)	Los parámetros medios ocasionalmente se alejan de los valores óptimos
Marginal ($0.45 < \text{SUSS} \leq 0.65$)	Los indicadores de la calidad son distantes de los valores deseables
Pobre ($0 < \text{SUSS} \leq 0.45$)	La calidad de suelos para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

Fuente: SAGARPA (2012).

Cuadro 16. Indicadores físicos del suelo a evaluar en campo.

Indicadores físicos	Método de su determinación
Resistencia a la penetración	Método directo
Estabilidad de agregados	Método de sedimentación-dispersión
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Densidad aparente	Método del cilindro

Cuadro 17. Indicadores químicos a evaluar.

Propiedades del suelo	
Indicadores químicos	Método de su determinación
Materia Orgánica	Método de Walkley y Black
pH	Método electrometrico
Nitrógeno total	Método de Materia orgánica
Fosforo disponible	Método de Olsen modificado
Potasio disponible	Método del acetato de amonio
Calcio disponible	Método del acetato de amonio
Magnesio disponible	Método del acetato de amonio
Capacidad de intercambio catiónico	Método del acetato de amonio

3.8. Análisis de datos

Mediante los programas SPSS, Microsoft Excel y Word se realizaron los análisis de los datos colectados tanto en campo y laboratorio. Para la interpretación de los resultados y establecer las relaciones entre los indicadores evaluados; se realizó una prueba de correlación de Pearson para determinar los indicadores fisicoquímicos más relacionados con los índice de calidad del suelo.

La ecuación para calcular el coeficiente de correlación de Pearson es:

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (4)$$

El valor del índice de correlación varía desde -1 hasta 1, donde:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

3.9. Variables a evaluar

Los sistemas de uso y los parámetros fisicoquímicos del suelo a través de índices de calidad del suelo (SUSS).

IV. RESULTADOS

4.1. Indicadores físicos del suelo

4.1.1. Textura del suelo

De acuerdo a la clasificación textural se puede apreciar que los niveles de arcilla son mayores en todos los sistemas.

Cuadro 18. Clasificación textural de los sistemas de uso del suelo.

Sistema de uso	Muestra	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural
Cacao	Muestra 1	24.62	11.06	64.32	Franco Arcillo Arenoso
	Muestra 2	19.62	10.06	70.32	Franco Arenoso
Papaya	Muestra 1	19.62	8.06	72.32	Franco Arenoso
	Muestra 2	21.62	8.06	70.32	Franco Arcillo Arenoso
Bosque	Muestra 1	33.62	10.06	56.32	Franco Arcillo Arenoso
	Muestra 2	27.62	12.06	60.32	Franco Arcillo Arenoso
Palta	Muestra 1	17.62	14.06	68.32	Franco Arenoso
	Muestra 2	21.62	12.06	66.32	Franco Arenoso
Plátano	Muestra 1	32.62	9.06	58.32	Franco Arcillo Arenoso
	Muestra 2	25.62	14.06	60.32	Franco Arcillo Arenoso
Ex cocal	Muestra 1	36.62	11.06	52.32	Arcilla arenosa
	Muestra 2	39.62	14.06	46.32	Arcilla arenosa

También se puede apreciar que existen dos clases texturales en los cultivos de cacao y papaya, en general los sistemas presenta una clasificación textural de franco arcillo arenoso y franco arenoso a excepción de los ex cicales que presenta una clasificación textural de arcilla arenosa (Cuadro 18).

4.1.2. Densidad aparente y resistencia a la penetración

De acuerdo a la densidad aparente se puede apreciar poca variación mostrando valores bajos que van desde 1.15 a 1.40 g/cm³, con respecto a la resistencia a la penetración los valores varían desde 1.33 a 2.28 kg/cm² (Cuadro 19).

Cuadro 19. Densidad aparente y resistencia a la penetración de los sistemas de uso del suelo.

Sistema de uso	Muestra	Densidad aparente DA (g/cm ³)	Resistencia a la penetración RP (kg/cm ²)
Cacao	Muestra 1	1.27	1.61
	Muestra 2	1.30	1.33
Papaya	Muestra 1	1.40	1.97
	Muestra 2	1.35	2.00
Bosque	Muestra 1	1.23	2.06
	Muestra 2	1.25	2.06
Palta	Muestra 1	1.32	2.14
	Muestra 2	1.38	2.06
Plátano	Muestra 1	1.19	1.64
	Muestra 2	1.15	1.72
Ex cocal	Muestra 1	1.35	1.93
	Muestra 2	1.30	2.28

Los suelos del cultivo de plátano presentan una densidad menor de 1.15 y 1.19 g/cm³, los suelos de papaya presenta una densidad mayor siendo de 1.35 a 1.40 g/cm³.

Para los suelos de cacao, papaya, bosque, palta y plátano que presenta una textura de Franco Arcillo Arenoso y Franco Arenoso la densidad aparente son menores a 1.40 g/cm³ por lo tanto son suelos ideales, mientras que los suelos de ex cacaes tiene una textura Arcilla Arenosa presenta una densidad que está dentro de los rangos 1.10 a 1.39 g/cm³ por lo tanto son suelos aceptables (Figura 3).

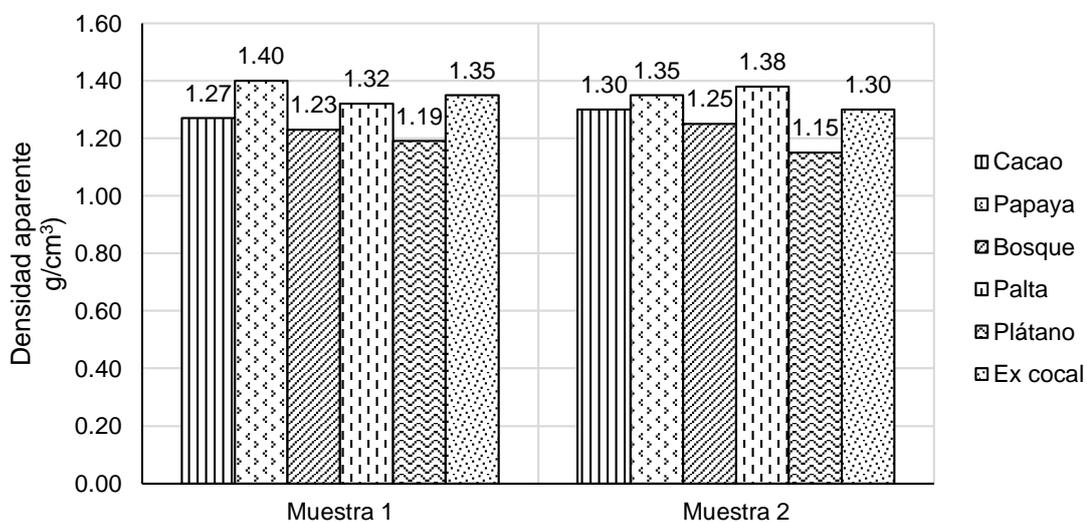


Figura 3. Densidad aparente de los sistemas de uso del suelo.

Los suelos que presentan valores más bajos son los cultivos de cacao y plátano 1.33 y 1.64 kg/cm², siendo mayor en los cultivos de ex cacaes de 2.28 kg/cm² en general son suelos suaves (Figura 4).

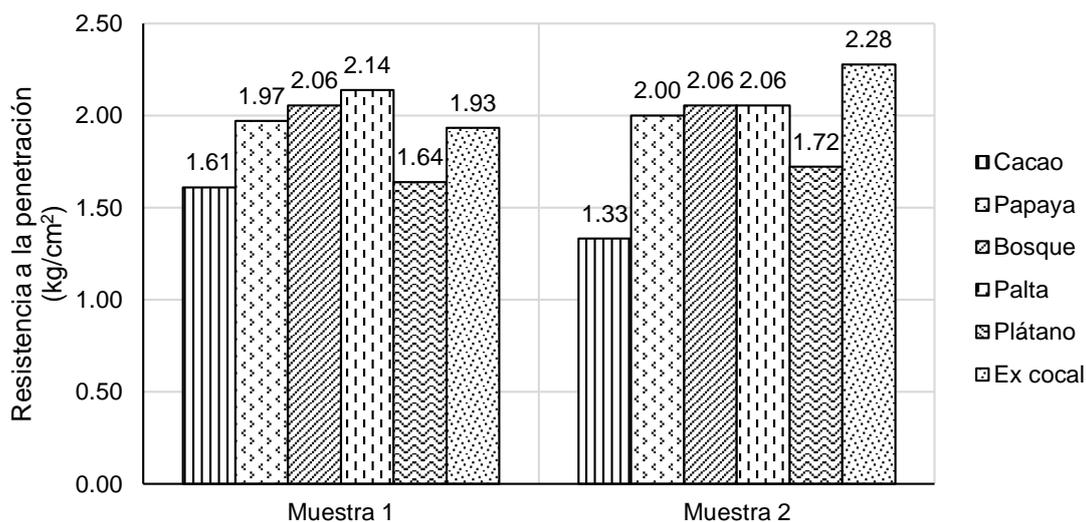


Figura 4. Resistencia a la penetración de los sistemas de uso del suelo.

4.2. Indicadores químicos del suelo

4.2.1. Potencial de hidrógeno del suelo y fósforo disponible

Los suelos de ex cicales presentan los valores más bajos en pH de 6.01 (muestra 01) y 5.89 (muestra 02), mientras que los suelos de plátano de 6.81 (muestra 01) y 6.36 (muestra 02); palta de 6.90 (muestra 01) y 7.10 (muestra 02) y bosque de 7.34 (muestra 01) y 7.32 (muestra 02); presentan valores intermedios, mientras que los suelos de cacao de 7.80 (muestra 01) y 7.50 (muestra 02) y papaya de 7.70 (muestra 01) y 7.91 (muestra 02); presentan los valores más altos, también se puede apreciar que en los suelos de bosque los niveles de fósforo disponible es mayor en comparación con los otros cultivos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Potencial de hidrógeno y fósforo disponible de los sistemas de uso del suelo.

Sistema de uso	Muestra	Potencial de hidrógeno (pH del suelo)	Fósforo disponible P (mg/kg)
Cacao	Muestra 1	7.80	4.30
	Muestra 2	7.50	5.10
Papaya	Muestra 1	7.70	4.30
	Muestra 2	7.91	5.14
Bosque	Muestra 1	7.34	8.47
	Muestra 2	7.32	6.43
Palta	Muestra 1	6.90	5.50
	Muestra 2	7.10	5.45
Plátano	Muestra 1	6.81	5.12
	Muestra 2	6.36	5.45
Ex cocal	Muestra 1	6.01	3.90
	Muestra 2	5.89	4.60

De acuerdo a los rangos lo ex cocal los suelos son moderadamente ácidos, los suelos de bosque, palta y plátano tienen un pH neutro y los suelos de cacao y papaya son ligeramente alcalinos (Figura 5).

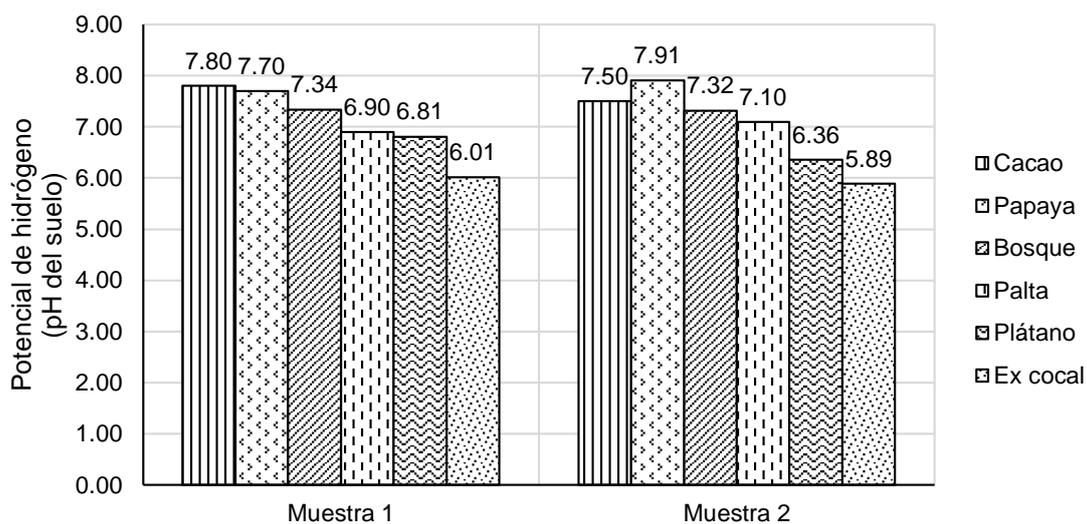


Figura 5. Potencial de hidrógeno (pH) de los sistemas de uso del suelo.

Se puede apreciar que los niveles de fósforo disponible son mayores en bosques siendo más relevante en la muestra 1 con 8.1 mg/kg (Figura 6).

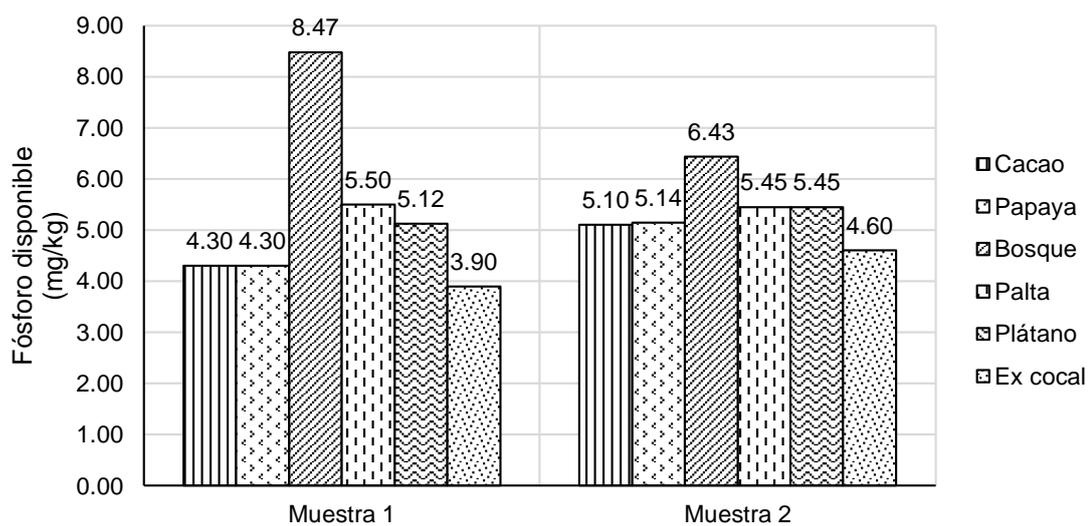


Figura 6. Fósforo disponible de los sistemas de uso del suelo.

4.2.2. Materia orgánica y nitrógeno total

Los suelos de ex cocales presentan valores bajo tanto en materia orgánica de 0.41% y 0.54% como en nitrógeno total de 0.02% y 0.03%, siendo en suelos de bosques los valores más alto (Cuadro 21).

Cuadro 21. Materia orgánica y nitrógeno total de los sistemas de uso del suelo.

Sistema de uso	Muestra	Materia orgánica MO (%)	Nitrógeno total N (%)
Cacao	Muestra 1	2.45	0.12
	Muestra 2	2.18	0.11
Papaya	Muestra 1	1.50	0.07
	Muestra 2	1.22	0.06
Bosque	Muestra 1	3.54	0.18
	Muestra 2	3.13	0.16
Palta	Muestra 1	1.77	0.09
	Muestra 2	1.36	0.07
Plátano	Muestra 1	1.91	0.10
	Muestra 2	1.63	0.08
Ex cocal	Muestra 1	0.41	0.02
	Muestra 2	0.54	0.03

Se puede apreciar que los valores más alto en materia orgánica son en suelos de bosques seguido de los suelos de cacao tanto en la muestra 1

(bosque 3.54%, cacao 2.45%) como en la muestra 2 (bosque 3.13%, cacao 2.18%); los valores de nitrógeno total al igual que de la materia orgánica son más alto en suelos de bosques (muestra 1 de 0.18%, muestra 2 de 0.16%) seguido de los suelos de cacao (muestra 1 de 0.12%, muestra 2 de 0.11%) (Figura 7 y 8).

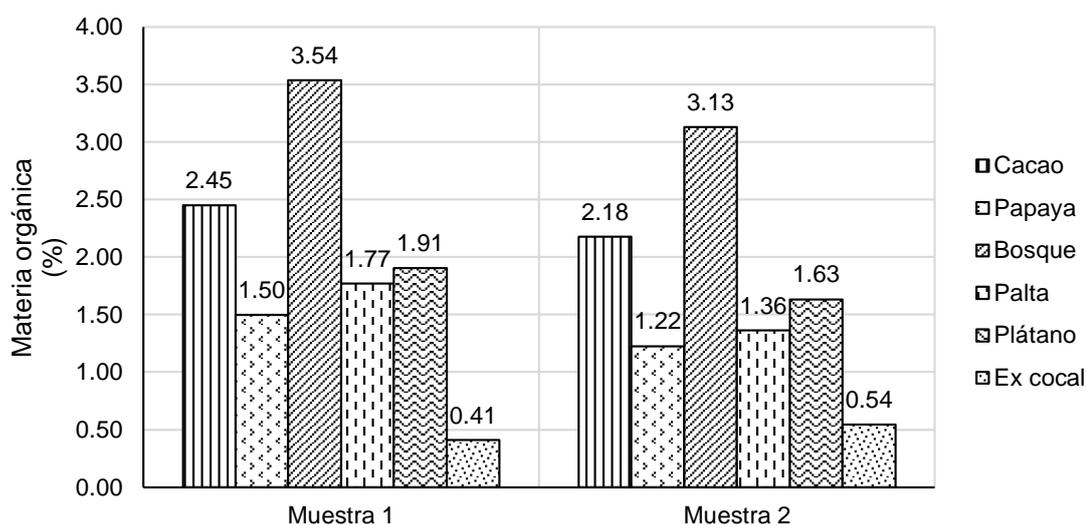


Figura 7. Materia orgánica de los sistemas de uso del suelo.

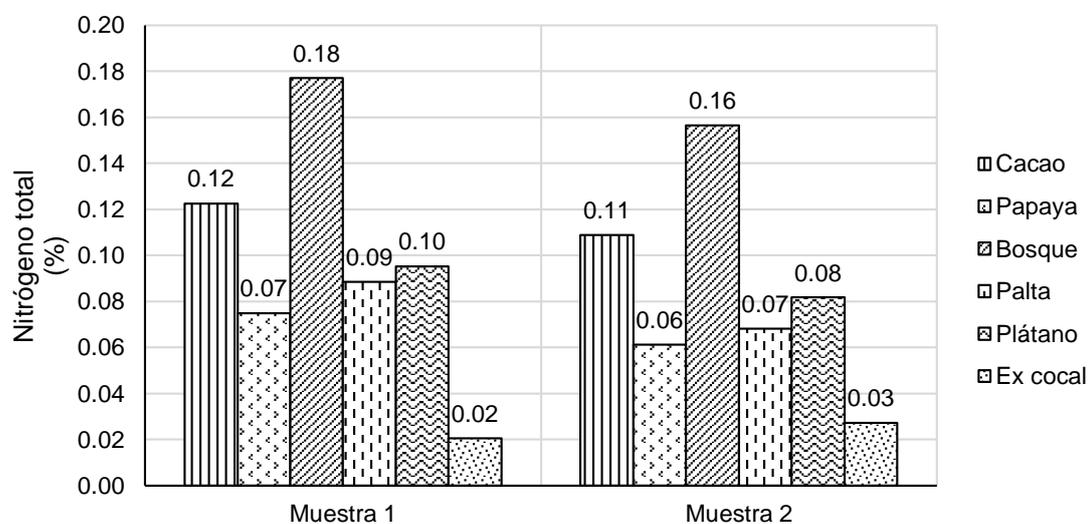


Figura 8. Nitrógeno total de los sistemas de uso del suelo.

4.2.3. Calcio, magnesio y potasio intercambiable

Con respecto al calcio intercambiable se encuentra en mayor cantidad en los suelos de bosques tanto en la muestra 1 con 8.30 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$ como en la muestra 2 con 7.90 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$; siendo en menor cantidad en los suelos de ex cicales de 3.90 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$ a 3.75 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$ (Figura 9). Así mismo los valores de magnesio intercambiable varía desde 1.05 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$ a 2.24 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$ (Figura 10). En el caso del potasio intercambiable el valor más alto se encuentra en los suelos de bosques seguido en los suelos de papaya (Cuadro 22 y Figura 11).

Cuadro 22. Calcio, magnesio y potasio intercambiable total de los sistemas de uso del suelo.

Sistema de uso	Muestra	Calcio intercambiable Ca ($\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$)	Magnesio intercambiable Mg ($\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$)	Potasio intercambiable K ($\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$)
Cacao	Muestra 1	6.60	1.40	0.21
	Muestra 2	6.90	1.54	0.16
Papaya	Muestra 1	6.10	1.60	0.31
	Muestra 2	7.10	1.94	0.23
Bosque	Muestra 1	8.30	1.10	0.37
	Muestra 2	7.90	2.24	0.35
Palta	Muestra 1	6.34	1.78	0.23
	Muestra 2	5.90	1.65	0.21
Plátano	Muestra 1	5.32	1.38	0.17
	Muestra 2	5.43	1.43	0.15
Ex cocal	Muestra 1	3.90	1.23	0.13
	Muestra 2	3.75	1.05	0.14

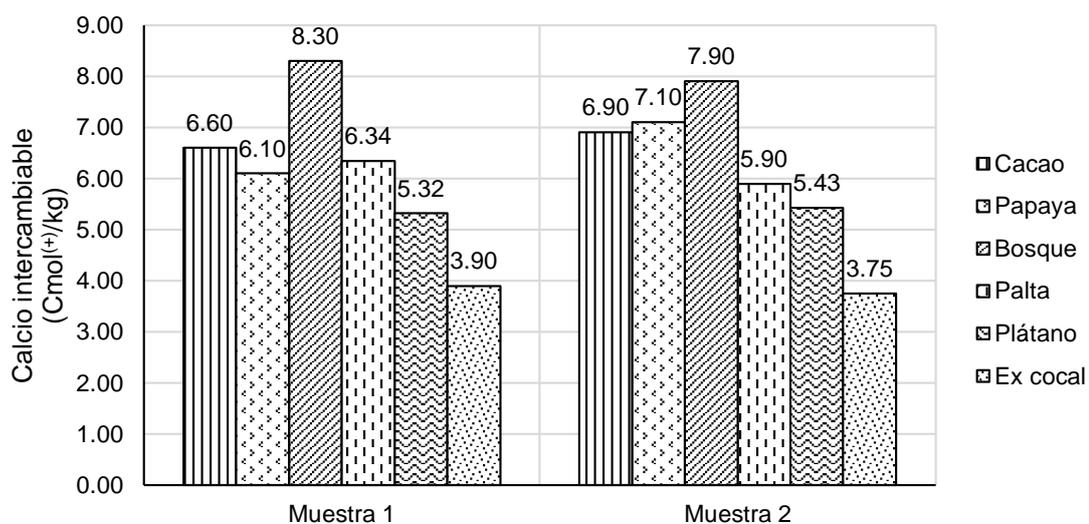


Figura 9. Calcio intercambiable de los sistemas de uso del suelo.

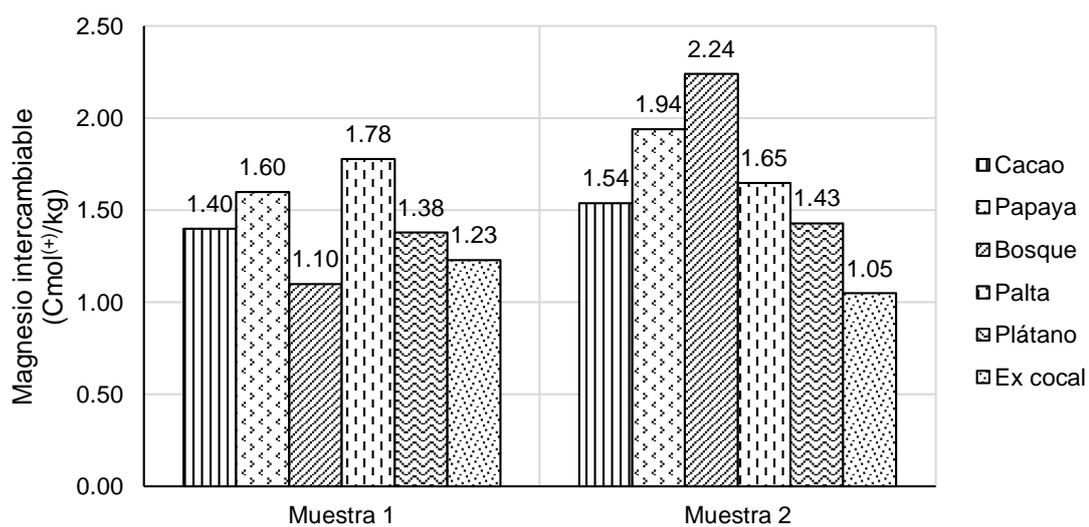


Figura 10. Magnesio intercambiable de los sistemas de uso del suelo.

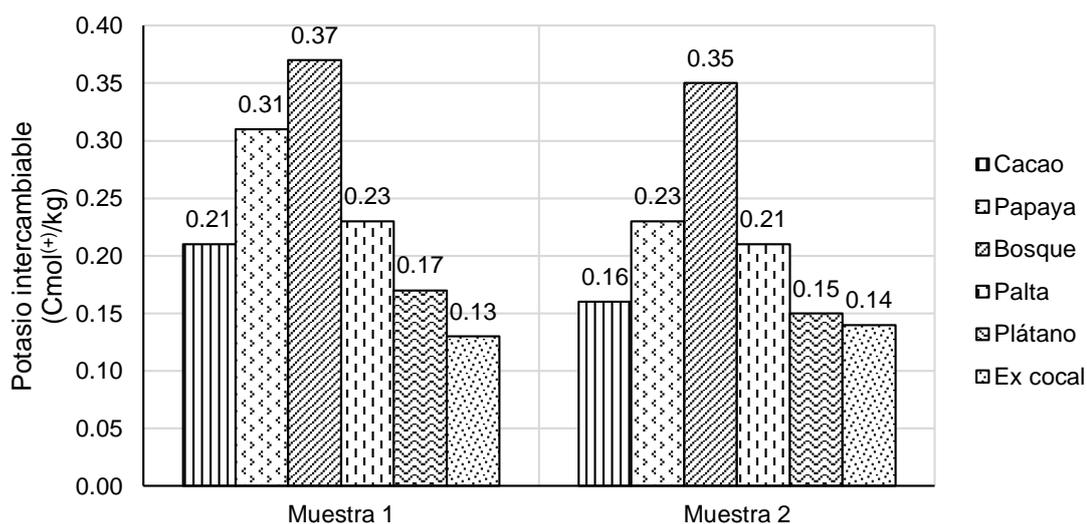


Figura 11. Potasio intercambiable de los sistemas de uso del suelo.

4.2.4. Capacidad de intercambio catiónico

Los sistemas de usos presenta una capacidad de intercambio catiónico que varían desde 4.94 Cmol(+)/kg a 10.49 Cmol(+)/kg (Cuadro 23).

Cuadro 23. Capacidad de intercambio catiónico de los sistemas de uso del suelo.

Sistema de uso	Muestra	Capacidad de intercambio catiónico CIC (Cmol(+)/kg)
Cacao	Muestra 1	8,21
	Muestra 2	8,60
Papaya	Muestra 1	8,01
	Muestra 2	9,27
Bosque	Muestra 1	9,77
	Muestra 2	10,49
Palta	Muestra 1	8,35
	Muestra 2	7,76
Plátano	Muestra 1	6,87
	Muestra 2	7,01
Ex cocal	Muestra 1	5,26
	Muestra 2	4,94

La capacidad de intercambio catiónico son ligeramente mayor en suelos de bosques y los valores más bajos se encuentran en suelos de ex cacaes (Figura 12).

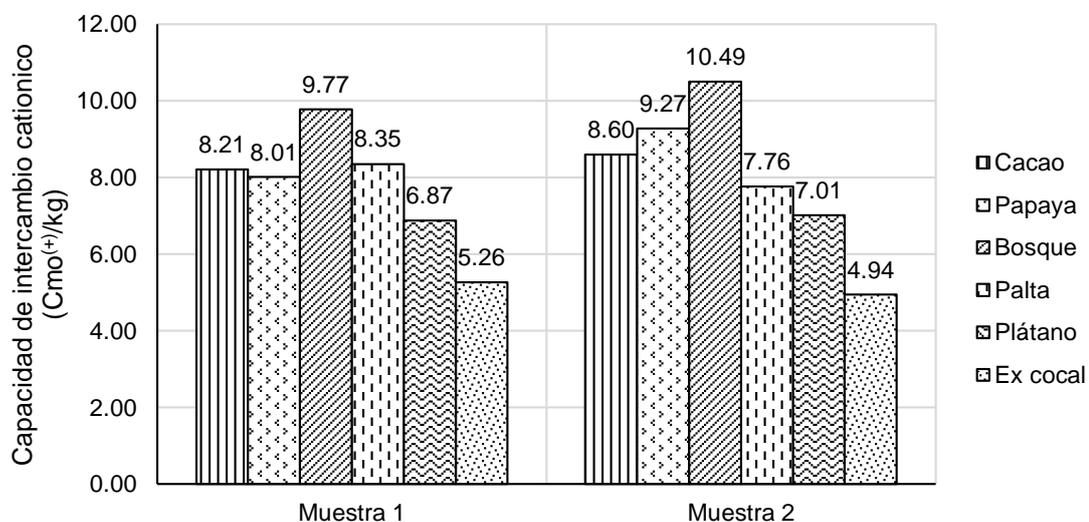


Figura 12. Capacidad de intercambio catiónico de los sistemas de uso del suelo.

4.3. Determinación de la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS).

El subíndice de uso sustentable del suelo de los seis sistemas en estudio resultó mayor en los suelos de bosques con 0.75 que corresponde a una clasificación de calidad “sensible”, es decir los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos. Así mismo los suelos de cacao, papaya, palta y plátano presentan valores que varían desde 0.49 a 0.60 cuya clasificación de calidad es “marginal”, donde los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables. En el caso de suelos de ex cacaes presenta el valor más bajo con 0.25 con una clasificación de calidad de “pobre”, esto significa que la calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada

o afectada; los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables (Cuadro 24 y Figura 13).

Cuadro 24. Subíndice de uso sustentable del suelo y clasificación de la calidad de los tres sistemas de suelo en estudio.

Sistema de uso del suelo	SUSS	Calidad
Cacao	0.60	Marginal
Papaya	0.52	Marginal
Bosque	0.75	Sensible
Palta	0.49	Marginal
Plátano	0.50	Marginal
Ex cocal	0.25	Pobre

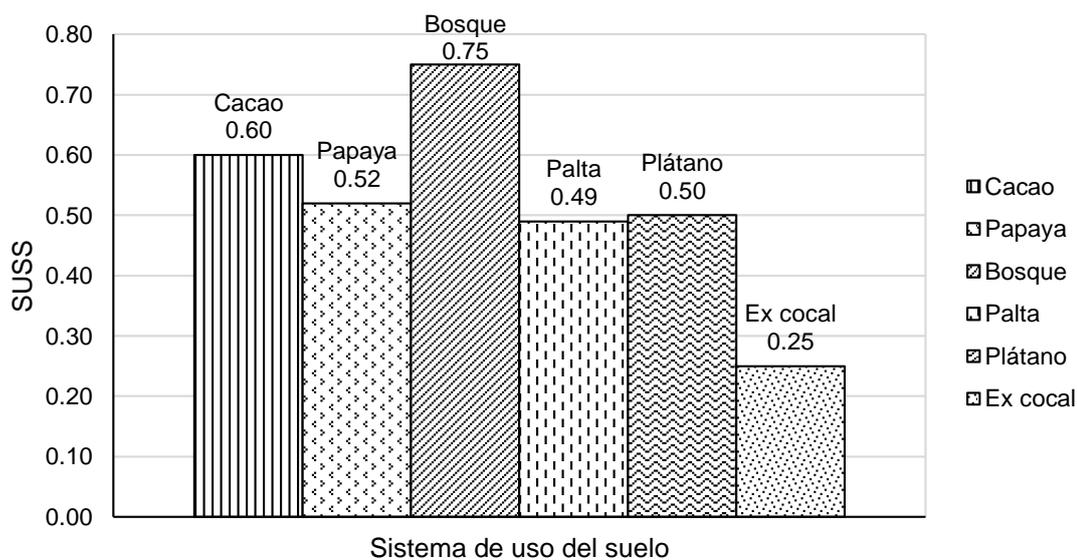


Figura 13. SUSS de los sistemas de uso del suelo.

4.4. Indicadores que influyen más sobre la calidad del suelo mediante la correlación de Pearson

Según la correlación de Pearson, los indicadores fisicoquímicos que muestran mayor influencia son: CIC, materia orgánica, calcio disponible, y Nitrógeno total, siendo este último quien presenta una fuerte correlación demostrando una significancia de 0.001 (< 0.01) (Cuadro 25).

Cuadro 25. Correlación de Pearson con nivel de significancia de 0.01 y 0.05 de los parámetros físicos y químicos.

Parámetros	DA	RP	pH	P	MO	N	Ca	Mg	K	CIC
Correlación de Pearson	-0.342	-0.258	0.736	0.781	,967**	,973**	,970**	0.665	0.794	,949**
SUSS Sig. (bilateral)	0.507	0.621	0.095	0.067	0.002	0.001	0.001	0.149	0.059	0.004
N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

DA: densidad aparente, RP: resistencia a la penetración, pH, P: fosforo, MO: materia orgánica, N: nitrógeno, Ca: Calcio, Mg: Magnesio, K: potasio, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

En base al parámetro que presenta una correlación más significativa con el SUSS es el Nitrógeno, se muestra la estimación de los parámetros del modelo de regresión por el método de mínimos cuadrados ordinarios (Cuadro 26).

Cuadro 26. Estimación de parámetros para el modelo de regresión lineal.

Variable		Constante		Correlación de Pearson
Dependiente	Independiente	a	b	
SUSS	Nitrógeno	0.2291	3.1551	0.973

Modelo de ecuación de regresión lineal:

$$\text{SUSS} = 0.2291 + 3.1551 * N + e_1$$

El gráfico de las variable SUSS y Nitrógeno, se ajustan a la línea de tendencia, mostrando así una fuerte correlación entre ambas variables (Figura 14).

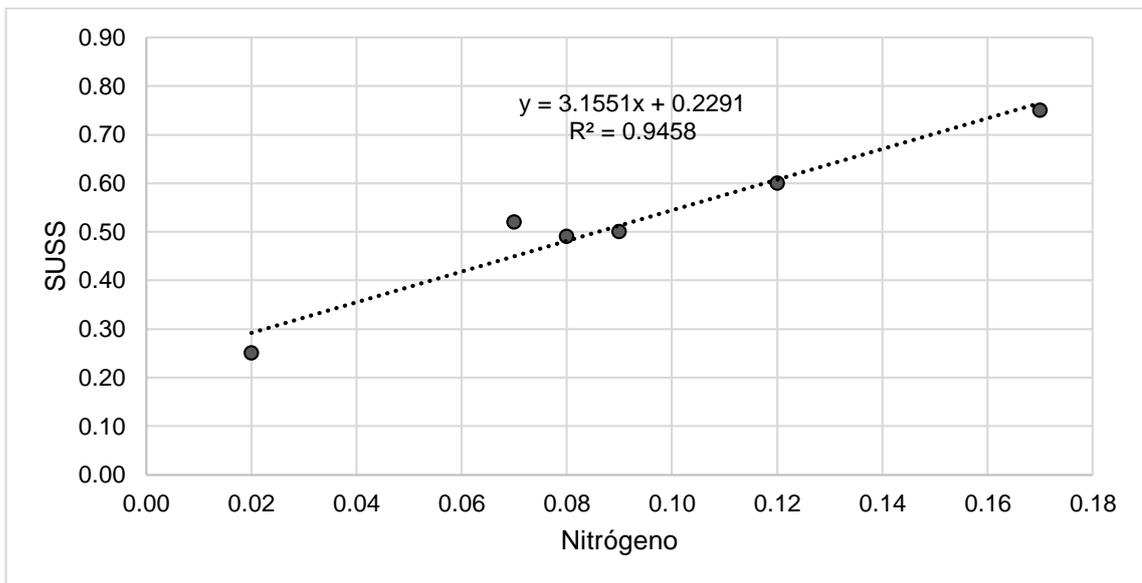


Figura 14. Modelo de correlación del Nitrógeno y el SUSS.

V. DISCUSIÓN

5.1. De los indicadores físicos

Los resultados muestran suelos de textura franco arenoso y franco arcillo arenoso, la densidad aparente varía desde 1.15 a 1.40 g/cm³, con respecto a la resistencia a la penetración los valores varían desde 1.33 a 2.28 kg/cm². Los valores más bajos en densidad aparente lo presentan el sistema de uso plátano en comparación al sistema de uso con papaya que presenta los valores más altos, sin embargo, para la resistencia a la penetración el sistema cacao presento los valores más bajos y el sistema excocal los valores más altos.

De acuerdo con USDA (1999) para los suelos franco arenoso y franco arcillo arenoso una densidad menor a 1.4 g/cm³ se considera un suelo ideal, por lo tanto, a pesar que el suelo de papaya y ex cocal presentan los mayores valores de densidad (1.3-1.4 g/cm³), aún se encuentra en el límite de un suelo ideal, esto no necesariamente refleja o se traduce en un suelo de buena calidad.

Con respecto a la resistencia a la penetración según HOSOKAY (2012) lo considera suelo suave para resistencias que varían de 1-2 Kg/cm² y suelo duro de 2 a 3 Kg/cm², en estos casos los sistemas de cacao y plátano son suelos suaves y los de papaya, bosque y el ex cocal son suelos duros.

Según los sistemas de usos seleccionados podemos agrupar como sistemas convencionales al plátano, papaya y ex cocal y los sistemas de cacao y palta como sistemas similares a un bosque secundario y podríamos considerarlo como sistemas no convencionales. Por lo tanto, los resultados encontrados demuestran que los sistemas convencionales presentan los mayores valores de densidad y resistencia a la penetración. Valores que a medida que se incrementan van a tener efectos en los cultivos (USDA 1999).

Además, algunas investigaciones corroboran estos resultados, entre ellos, NOGUERA y VÉLEZ (2011) en evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos en el departamento de Nariño, encontró que los sistemas agroforestales presentaron mayores valores de porosidad total, conductividad hidráulica y menores promedios de densidad aparente y resistencia a la penetración.

En el ámbito de influencia de esta investigación, YAROS (2016) en uso sustentable del suelo en diferentes sistemas de cultivo en el distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo. Muestra que los menores valores de densidad aparente, corresponden al bosque secundario y cacao (1.2, 1.05 g/cm³) y los valores más altos corresponden a cítrico, Ex coca y cocal (1.28, 1.25 y 1.35 g/cm³). Además, muestran una clara tendencia de aumento de la resistencia a la penetración en los sistemas de ex coca y coca. También, AZAÑERO (2016) encontró que los sistemas agroforestales con cacao presento los menores valores de densidad aparente y resistencia a la penetración el suelo de cocal presentó bajas condiciones de porosidad y aireación del suelo, reflejados por la

mayor densidad aparente y resistencia a la penetración, así como también la menor velocidad de infiltración.

Por lo que, en concordancia con los demás autores, en esta investigación el cacao se presenta como una buena alternativa, como un sistema que contribuye a mantener la densidad y resistencia a la penetración en valores ideales, tal como lo indica (USDA ,1999 y HOSOCAY, 2012).

5.2. De los indicadores químicos

De acuerdo a los niveles críticos de SAGARPA (2012), los niveles de pH varían de ligeramente ácido a ligeramente alcalino (5.89 a 7.91), el sistema de plátano y ex cocal presentan los valores más bajos; presenta niveles bajos de fósforo (3.9 a 5.50 ppm) con excepción del sistema bosque que presenta nivel medio (8.47 ppm). La materia orgánica está en niveles medios para los sistemas de bosque y cacao, y bajos para papaya, palta, plátano y ex coca, este último presenta los valores más bajos (0.41 y 0.54%). Para el calcio los sistemas cacao papaya, palta y bosque presentan niveles medios (5.3 a 8.3 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$), solo el ex cocal presenta nivel bajo en Ca (3.75 a 3.9 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$). En el caso del Mg se encuentran en un nivel medio, con excepción de ex coca que está en un nivel bajo (<1.3 $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$). Los niveles de K^{+} son medio para bosque, bajo para cacao y papaya y muy bajo para palta, plátano y ex coca. La CIC están en niveles bajos, con excepción de la ex coca que presenta un nivel muy bajo.

En general, se observa un efecto de los sistemas de uso sobre los niveles de pH, materia orgánica, P, K y CIC, principales indicadores de calidad, pues estadísticamente existen diferencias significativas para estos parámetros

en los diferentes sistemas de uso. Al respecto, TORRES *et al.* (2006), afirma que la degradación de tierras es un proceso que conlleva a un deterioro progresivo de la calidad del suelo, en especial, desde el punto de vista químico, lo que se traduce en una pérdida de la productividad agrícola

Este resultado coincide con otras investigaciones, entre ellos, NAVARRO *et al.* (2018) al evaluar sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso, concluye que los suelos bajo sistemas convencionales presentan los efectos más negativos para la estructura del suelo, por la menor estabilidad de agregados (macro y microporosidad), reflejados por los menores contenidos de carbono orgánico del suelo.

Además, TORRES *et al.* (2006) encontró que el tipo de uso de la tierra bajo manejo convencional mostró los mayores problemas de degradación química al presentar una drástica reducción en el contenido de carbono orgánico, menor capacidad de intercambio catiónico y menor contenido de bases. También, en el ámbito local encontramos los resultados de la zona de Monzón, donde se encontró que el SAF tuvo mayor contenido de P, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en comparación con el bosque secundario y cocal (AZAÑERO, 2016). Finalmente, YAROS (2016) también encontró que el sistema coca presento los menores valores de pH (4.75), fosforo disponible (5.72), materia orgánica (1.1%), y potasio (118.24 ppm).

En este contexto, los resultados encontrados muestran claramente que hay una tendencia de disminución de los niveles de los diferentes

indicadores químicos analizados tal como lo advierte NAVARRO *et al.* (2018) y TORRES *et al.* (2006), en el que enfatizan que son los sistemas convencionales los que mayor efecto negativo producen, en nuestro caso el sistema de plátano, papaya y ex coca se encuentran dentro de este tipo de manejo y son los que coincidentemente afectaron negativamente las variables químicas evaluadas.

5.3. De la calidad del suelo

La Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, elaboró un estudio, el cual forma parte de la línea de base de su programa de sustentabilidad de los recursos naturales, con el objetivo de contar con datos contractuales que sirvan para guiar la instrumentación del programa, así como para, en su momento, evaluar los impactos del mismo SAGARPA, 2012). Es esta metodología el que se utilizó en esta investigación, para medir el efecto de los sistemas de uso del suelo en la calidad del mismo. En consecuencia, se encontró que el sistema Bosque (0.75) corresponde a una calidad sensible; cacao (0.60) marginal; Papaya (0.52) marginal; palta (0.49) marginal, plátano (0.50) marginal y el sistema ex cocal (0.25) con una calidad pobre.

Estos resultados son corroborados por (AZAÑERO, 2016) quien determino que el sistema agroforestal con cacao SAF presentó un SUSS de 0.93 (calidad aceptable), con respecto al bosque secundario y el cocal de 0.77 (sensible) y 0.57 (marginal), destacando al sistema de coca como el de menor calidad. También, (YAROS, 2016) encontró en cacao un SUSS sensible (0.65), el plátano, bosque secundario, y cítrico con un SUSS marginal (0.59, 0.56 y 0.50)

y el ex cocal y cocal con un SUSS pobre (0.41 y 0.38), concluye que los diferentes sistemas de uso del suelo influyen sobre la calidad de los mismos y que el sistema de uso con coca es el sistema que presenta un mayor efecto negativo. Finalmente, en diferentes áreas de la zona de uso especial del Parque Nacional Tingo María identifico suelos de calidad aceptable, sensible, pobre y marginal (OBREGÓN, 2017).

Por lo tanto, esta investigación por los resultados encontrados demuestra que los sistemas de uso tienen efectos sobre indicadores físicos, y estadísticamente se observa diferencias en los parámetros químicos y sobre la calidad en general expresados a través del sub índice de uso sustentable, evidenciando que el sistema cacao es el que mejor conserva la calidad y el sistema ex cocal muestra los efectos más negativos generados al suelo por este sistema. Este comportamiento coincide con los resultados de las referencias citadas.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados encontrados se concluye:

- 1 Los indicadores físicos evaluados muestran suelos de textura franco arenoso y franco arcillo arenoso, la densidad aparente varía desde 1.15 a 1.40 g/cm³, considerado suelo ideal; con respecto a la resistencia a la penetración los valores varían desde 1.33 a 2.28 kg/cm² categorizado como suelo suave y duro).
- 2 Los indicadores químicos evaluados muestran, pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino (5.89 a 7.91), el sistema de plátano y ex cocal presentan los valores más bajos; presenta niveles bajos de fósforo (3.9 a 5.50 ppm) con excepción del sistema bosque (8.47 ppm). La materia orgánica está en niveles medios para los sistemas de bosque y cacao, y bajos para papaya, palta, plátano y ex cocal, este último presentó los valores más bajos (0.41 y 0.54%); el calcio en los sistemas cacao papaya, palta y bosque presentan niveles medios (5.3 a 8.3 Cmol⁽⁺⁾/kg), solo el ex cocal presenta nivel bajo en Ca (3.75 a 3.9 Cmol⁽⁺⁾/kg). En el caso del Mg se encuentran en un nivel medio, con excepción de ex coca presenta nivel bajo (<1.3 Cmol⁽⁺⁾/kg); los niveles de K⁺ son medio para bosque, bajo para

cacao y papaya y muy bajo para palta, plátano y ex coca. La CIC están en niveles bajos, con excepción de la ex coca que presenta un nivel muy bajo.

- 3 De acuerdo a la metodología de La Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA (2012), el sistema Bosque (0.75) presenta a una calidad sensible; cacao (0.60) una calidad marginal; Papaya (0.52) calidad marginal; palta (0.49) calidad marginal, plátano (0.50) calidad marginal y el sistema ex cocal (0.25) con una calidad pobre.
- 4 De los parámetros físicos y químicos que tiene una correlación más fuerte con el subíndice de uso sustentable del suelo es el nitrógeno, seguido del calcio, materia orgánica y el CIC.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Realizar mediciones en diferentes tiempos (menos en época de abonamiento) para ver si existen variaciones en la modificación de los parámetros físicos y químicos del suelo.
2. Realizar varios puntos de muestreo y analizar estadísticamente las variaciones que tienen los parámetros físico y químicos con el sistema de uso del suelo.
3. Desarrollar como alternativa el sistema de uso cacao, porque presenta los menores efectos negativos sobre la calidad del suelo.
4. Desarrollar sistemas agroforestales con cacao en áreas de ex cocal y monitorear su recuperación, porque AZAÑERO (2016) encontró el índice más alto (aceptable) de las referencias, con el objetivo de generar tecnologías que mejoren la calidad afectado por el sistema de uso con coca.

VIII. ABSTRACT

Agriculture has evolved and the effects are seen in a sustained loss of the physical, chemical and biological quality of some soil, which is a worldwide problem. Thus, the research determined the influence of the different systems of use on the soil properties in the Papayal sector, Castillo Grande district, Leoncio Prado province, Huanuco, Peru. Six systems of use were selected, located on terraces and soil from low hills, typical of the sector; the systems are: secondary forest, cacao, avocado, papaya, plantain and ex-coca. The USDA's criteria for evaluating the physical and chemical properties of the soil were applied: apparent density, penetration resistance, pH, MO, P, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ and CEC (CIC in Spanish). To determine the quality, the sub-index for sustainable soil use methodology, as proposed by SAGARPA (2012), was used. The results show that the systems of use with ex-coca present greater negative effects on the penetration resistance; moreover, significant differences are observed for the different indicators evaluated, with the ex-coca use being that which presented the lowest values. It is concluded that the forest system (0.75) presented a sensible quality; cacao (0.60) a marginal quality; papaya (0.52) a marginal quality; avocado (0.49) a marginal quality, plantain (0.50) a marginal quality and the ex-coca system (0.25) a poor quality; with the cacao being that which presented the best system for soil conservation and the opposite occurred with the ex-coca system.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSHAD, M., MARTÍN, S., 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 153-160p.
- AEMA. 1999. *Environment in the European Union at the Turn of the Century*. Agencia Europea de Medio Ambiente.
- AZAÑERO, L. 2016. *Calidad del suelo en tres sistemas de uso en la localidad de río Espino – Monzón*. Tesis Ing. Ambiental. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 86 p.
- BRADFORD, J. 1986. Penetrability. P.463-478. In: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1 Physical and mineralogical methods*. Agronomy No.9. Am. Soc.Agron., Madison, WI.
- COMISIÓN MULTISECTORIAL PARA LA PACIFICACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA ZONA DEL HUALLAGA - CODEHUALLAGA. 2014. *Plan de Desarrollo Territorial para la zona del Huallaga al 2021*. [EN LINEA]: Plan Huallaga, (http://codehuallaga.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/plan_huallaga.pdf, octubre, 2014).
- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA – USDA. 1999. *Guía para la evaluación de la calidad y*

salud del suelo. [EN LINEA]: NCRS, (http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf, 12 nov. 2014).

DONOSO C. 1992. Ecología forestal. Editorial Universitaria, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

DORAN, J. y PARKIN, B. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

HOSOKAY, M. 2012. Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge - Tingo María. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables con mención en Conservación de Suelos y Agua. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 112 p.

GARCÍA, F., HILL, M., KAPLÁN, A., PONCE DE LEÓN, J., RUCKS, L. 2004. Propiedades Físicas del Suelo. Universidad de la República Facultad de Agronomía Dpto. Suelos Y Aguas, Montevideo, Uruguay.

JIMENEZ, R., GONZALES, V. 2006. La calidad de suelos como medida para su conservación (Vol. 13). Madrid, España: Universidad autónoma de Madrid.

KARLEN, D., MAUSBACH, M., DORAN, J., CLINE, R., HARRIS, R., SCHUMAN, G. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal 61, 4– 10.

- KARWASRA S. 1991. Socioeconomic considerations in tillage. Proc. 12th. Conference of INTRO. "Soil tillage for agricultural sustainability" IITA. Ibadan pp 536-545.
- LARSON, W., PIERCE, F. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality. In Evaluation for sustainable land management in the developing world. En Proc. of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai. pp. 175-203. 15-21 Sept. 1991. Int. Board of Soil Res. and Manage., Bangkok, Thailand.
- LARCHER, W. 2003. Physiological plant ecology; Ecophysiology and stress physiology of functional groups. Fourth edition. Springer. 513 p.
- MARTINEZ, V. 1998. Geología de los cuadrángulos de Aucayacu, Rio Santa Ana y Tingo María. 1 edición, Lima. Perú.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, London. 889 p
- MENGEL, K., KIRKBY, E. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4 edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO-MINAGRI. 2016. Estudio del cacao en el Perú y en el Mundo; Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015. MINAGRI-DGPA-DEEIA, pp 86
- NAVARRO, V., FLORIDA R., NAVARRO V. 2018: Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros

sistemas de uso. Livestock Research for Rural Development. Volume 30, Article #137. [EN LINEA]: Livestock Research for Rural Development (<http://www.lrrd.org/lrrd30/8/nelino30137.html>, agosto, 2018).

NOGUERA, J., VÉLEZ L. 2011. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos. Revista de Ciencias Agrícolas. 28(01): 40-52

OBREGON, E. 2017. Clasificación taxonómica y calidad de suelo en la zona de uso especial del Parque Nacional de Tingo María (PNTM). Tesis. Universidad Nacional Agraria de la Selva (revisado el 10 de octubre del 2018).

OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS CONTRA LA DROGA Y EL DELITO - UNDOC. 2008. Monitoreo de Cultivos de Coca en el Perú. 120p. [EN LINEA]: UNODC, (https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Peru_monitoreo_cultivos_coca_2008.pdf, julio 2009).

OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS CONTRA LA DROGA Y EL DELITO - UNDOC. 2016. Monitoreo de Cultivos de Coca Perú. 95p. [EN LINEA]: UNODC, (https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Peru/Peru_Monitoreo_de_coca_2016_web.pdf, noviembre 2017).

ORGANISMO DE SUPERVISIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES Y DE FAUNA SILVESTRE-OSINFOR. 2016. Glosario de términos forestales y de fauna silvestre. [EN LINEA]: OSINFORD, (<https://www.osinfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/08/RESOLUCION-PRESIDENCIAL-00078-2016-OSINFOR-01.1.pdf>, 27 jul. 2016).

- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN-FAO. 2000. Informe sobre el estado de los recursos forestales en América del sur. [EN LINEA]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/Peru.pdf>, 17 oct. 2018)
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN-FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Trad. Ronald Vargas. 4 ed. Roma, Italia, Viale delle Terme di Caralla. 99 p.
- PAREDES, M. 2004. Manual de cultivo de cacao programa para el desarrollo de la Amazonia Ministerio de Agricultura. Lima. Perú. 37-45pp.
- PORTA, J., LÓPEZ, M., POCH, R. 2011. Introducción a la Edafología. Uso y protección de suelos. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda Edición. España, 535 p.
- RAMIREZ, R. 1997. Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos. Bogotá: Produmedios.
- SAGARPA, J. 2012. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Subíndice de uso sustentable del suelo – Metodología de Cálculo. [En línea]: ([http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico_suelos.pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf), 02 noviembre 2015).
- SALAZAR, I. 2007. Estrategia para posicionar la papaya procedente de Leoncio Prado (Huánuco) en el mercado nacional. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 155 p.

- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). 2012. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. Componente: Línea de Base del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales. 58 p.
- SEYBOLD, C., MAUSBACH, M., KARLEN, D., ROGERS, H. 1997. Quantification of Soil Quality. En Soil Process and the Carbon Cycle (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.), pp. 387-403, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- SINGER, M., EWING, S. 2000. Soil quality. In: Sumner, M.E. (Ed.), Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. G-271– G-298.
- SQI. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- TORRES, D., RODRÍGUEZ N., YENDIS H., FLORENTINO A., ZAMORA F. 2006. Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, estado Falcón, Venezuela. Bioagro 18(2): 123-128.
- URRELO, G. R. 1997. Desarrollo agroecológico para la región andino-amazónica peruana afectada por cultivos ilícitos. [EN LINEA]: Agroeco, (<http://www4.congreso.gob.pe/congresista/1995/rurrelo/agroeco.htm>, 11 oct. 1997).

VASQUEZ, J. 2010. Asistencia técnica y evaluación de injertos en el cultivo de palto (*Persea americana* Mill) en dos comunidades del distrito de Hermilio Valdizán. Tingo María. Bach. Ing. Agrónomo. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 68 p.

YAROS, M., 2016. Uso sustentable del suelo en diferentes sistemas de cultivo en el distrito de Padre Felipe Luyando –Naranjillo. Tesis. Universidad nacional agraria de la selva. 79p. (revisado el 15 de octubre del 2018).

ANEXO

CALIDAD DEL SUELO - MÉTODO SUSS											
SISTEMA DE USO		CACAO									
CACAO : M-1				Deseable	Corte						
Densidad aparente	DA	1.27	g/cm ³	1.1	1.47						
Potencial de hidrógeno	pH	7.80		7	5						
Fósforo disponible	P	4.30	mg/kg	9	0						
Materia orgánica	MO	2.45	%	5	0.5						
Nitrógeno total	N	0.12	%	0.2	0.05						
Calcio intercambiable	Ca	6.60	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0						
Magnesio intercambiable	Mg	1.40	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0						
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	8.21	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5						
CACAO : M-2				Deseable	Corte						
Densidad aparente	DA	1.30	g/cm ³	1.1	1.47						
Potencial de hidrógeno	pH	7.50		7	5						
Fósforo disponible	P	5.10	mg/kg	9	0						
Materia orgánica	MO	2.18	%	5	0.5						
Nitrógeno total	N	0.11	%	0.2	0.05						
Calcio intercambiable	Ca	6.90	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0						
Magnesio intercambiable	Mg	1.54	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0						
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	8.60	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5						
RESULTADOS:	M-1	M-2									
Densidad aparente	0.54	0.46									
Potencial de hidrógeno	1.40	1.25									
Fósforo disponible	0.48	0.57									
Materia orgánica	0.43	0.37									
Nitrógeno total	0.48	0.39									
Calcio intercambiable	0.73	0.77									
Magnesio intercambiable	0.47	0.51									
Capacidad de intercambio catiónico	0.32	0.36									
Promedio	0.61	0.59									
SUSS			0.60								
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Calidad del suelo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bueno (0.95 < SUSS ≤ 1.0)</td> </tr> <tr> <td>Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)</td> </tr> <tr> <td>Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)</td> </tr> <tr> <td>Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)</td> </tr> <tr> <td>Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)</td> </tr> </tbody> </table>		Calidad del suelo	Bueno (0.95 < SUSS ≤ 1.0)	Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)	Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)	Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)	Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)
Calidad del suelo											
Bueno (0.95 < SUSS ≤ 1.0)											
Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)											
Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)											
Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)											
Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)											
				CALIDAD DEL SUELO Marginal							
Descripción:											
Los indicadores de la calidad son distantes de los valores deseables											

Figura 15. Cálculo SUSS para el sistema de uso cacao.

CALIDAD DEL SUELO - MÉTODO SUSS											
SISTEMA DE USO		PAPAYA									
PAPAYA : M-1				Deseable	Corte						
Densidad aparente	DA	1.40	g/cm ³	1.1	1.47						
Potencial de hidrógeno	pH	7.70		7	5						
Fósforo disponible	P	4.30	mg/kg	9	0						
Materia orgánica	MO	1.50	%	5	0.5						
Nitrógeno total	N	0.07	%	0.2	0.05						
Calcio intercambiable	Ca	6.10	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0						
Magnesio intercambiable	Mg	1.60	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0						
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	8.01	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5						
PAPAYA : M-2				Deseable	Corte						
Densidad aparente	DA	1.35	g/cm ³	1.1	1.47						
Potencial de hidrógeno	pH	7.91		7	5						
Fósforo disponible	P	5.14	mg/kg	9	0						
Materia orgánica	MO	1.22	%	5	0.5						
Nitrógeno total	N	0.06	%	0.2	0.05						
Calcio intercambiable	Ca	7.10	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0						
Magnesio intercambiable	Mg	1.94	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0						
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	9.27	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5						
RESULTADOS:	M-1	M-2									
Densidad aparente	0.19	0.32									
Potencial de hidrógeno	1.35	1.46									
Fósforo disponible	0.48	0.57									
Materia orgánica	0.22	0.16									
Nitrógeno total	0.17	0.07									
Calcio intercambiable	0.68	0.79									
Magnesio intercambiable	0.53	0.65									
Capacidad de intercambio catiónico	0.30	0.43									
Promedio	0.49	0.56									
SUSS		0.52									
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Calidad del suelo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bueno (0.95 < SUSS ≤ 1.0)</td> </tr> <tr> <td>Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)</td> </tr> <tr> <td>Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)</td> </tr> <tr> <td>Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)</td> </tr> <tr> <td>Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)</td> </tr> </tbody> </table>			Calidad del suelo	Bueno (0.95 < SUSS ≤ 1.0)	Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)	Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)	Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)	Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)
Calidad del suelo											
Bueno (0.95 < SUSS ≤ 1.0)											
Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)											
Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)											
Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)											
Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)											
			CALIDAD DEL SUELO Marginal								
Descripción: Los indicadores de la calidad son distantes de los valores deseables											

Figura 16. Cálculo SUSS para el sistema de uso papaya.

CALIDAD DEL SUELO - MÉTODO SUSS					
SISTEMA DE USO		BOSQUE			
BOSQUE : M-1				Deseable	Corte
Densidad aparente	DA	1.23	g/cm ³	1.1	1.47
Potencial de hidrógeno	pH	7.34		7	5
Fósforo disponible	P	8.47	mg/kg	9	0
Materia orgánica	MO	3.54	%	5	0.5
Nitrógeno total	N	0.18	%	0.2	0.05
Calcio intercambiable	Ca	8.30	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0
Magnesio intercambiable	Mg	1.10	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	9.77	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5
BOSQUE : M-2				Deseable	Corte
Densidad aparente	DA	1.25	g/cm ³	1.1	1.47
Potencial de hidrógeno	pH	7.32		7	5
Fósforo disponible	P	6.43	mg/kg	9	0
Materia orgánica	MO	3.13	%	5	0.5
Nitrógeno total	N	0.16	%	0.2	0.05
Calcio intercambiable	Ca	7.90	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0
Magnesio intercambiable	Mg	2.24	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	10.49	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5
RESULTADOS:	M-1	M-2			
Densidad aparente	0.65	0.59			
Potencial de hidrógeno	1.17	1.16			
Fósforo disponible	0.94	0.71			
Materia orgánica	0.68	0.58			
Nitrógeno total	0.85	0.71			
Calcio intercambiable	0.92	0.88			
Magnesio intercambiable	0.37	0.75			
Capacidad de intercambio catiónico	0.48	0.55			
Promedio	0.76	0.74			
SUSS		0.75			
			CALIDAD DEL SUELO		
			Sensible		
Descripción:					
Los parámetros medios ocasionalmente se alejan de los valores óptimos					

Figura 17. Cálculo SUSS para el sistema de uso bosque.

CALIDAD DEL SUELO - MÉTODO SUSS					
SISTEMA DE USO		PALTA			
PALTA : M-1				Deseable	Corte
Densidad aparente	DA	1.32	g/cm ³	1.1	1.47
Potencial de hidrógeno	pH	6.90		7	5
Fósforo disponible	P	5.50	mg/kg	9	0
Materia orgánica	MO	1.77	%	5	0.5
Nitrógeno total	N	0.09	%	0.2	0.05
Calcio intercambiable	Ca	6.34	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0
Magnesio intercambiable	Mg	1.78	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	8.35	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5
PALTA : M-2				Deseable	Corte
Densidad aparente	DA	1.38	g/cm ³	1.1	1.47
Potencial de hidrógeno	pH	7.10		7	5
Fósforo disponible	P	5.45	mg/kg	9	0
Materia orgánica	MO	1.36	%	5	0.5
Nitrógeno total	N	0.07	%	0.2	0.05
Calcio intercambiable	Ca	5.90	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0
Magnesio intercambiable	Mg	1.65	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	7.76	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5
RESULTADOS:	M-1	M-2			
Densidad aparente	0.41	0.24			
Potencial de hidrógeno	0.95	1.05			
Fósforo disponible	0.61	0.61			
Materia orgánica	0.28	0.19			
Nitrógeno total	0.26	0.12			
Calcio intercambiable	0.70	0.66			
Magnesio intercambiable	0.59	0.55			
Capacidad de intercambio catiónico	0.34	0.28			
Promedio	0.52	0.46			
SUSS			0.49		
				CALIDAD DEL SUELO	
				Marginal	
Descripción: Los indicadores de la calidad son distantes de los valores deseables					

Figura 18. Cálculo SUSS para el sistema de uso palta.

CALIDAD DEL SUELO - MÉTODO SUSS					
SISTEMA DE USO		PLÁTANO			
PLÁTANO : M-1				Deseable	Corte
Densidad aparente	DA	1.19	g/cm ³	1.1	1.47
Potencial de hidrógeno	pH	6.81		7	5
Fósforo disponible	P	5.12	mg/kg	9	0
Materia orgánica	MO	1.91	%	5	0.5
Nitrógeno total	N	0.10	%	0.2	0.05
Calcio intercambiable	Ca	5.32	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0
Magnesio intercambiable	Mg	1.38	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	6.87	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5
PLÁTANO : M-2				Deseable	Corte
Densidad aparente	DA	1.15	g/cm ³	1.1	1.47
Potencial de hidrógeno	pH	6.36		7	5
Fósforo disponible	P	5.45	mg/kg	9	0
Materia orgánica	MO	1.63	%	5	0.5
Nitrógeno total	N	0.08	%	0.2	0.05
Calcio intercambiable	Ca	5.43	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0
Magnesio intercambiable	Mg	1.43	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	7.01	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5
RESULTADOS:	M-1	M-2			
Densidad aparente	0.76	0.86			
Potencial de hidrógeno	0.91	0.68			
Fósforo disponible	0.57	0.61			
Materia orgánica	0.31	0.25			
Nitrógeno total	0.30	0.21			
Calcio intercambiable	0.59	0.60			
Magnesio intercambiable	0.46	0.48			
Capacidad de intercambio catiónico	0.19	0.20			
Promedio	0.51	0.49			
SUSS		0.50		CALIDAD DEL SUELO Marginal	
Descripción: Los indicadores de la calidad son distantes de los valores deseables					

Figura 19. Cálculo SUSS para el sistema de uso plátano.

CALIDAD DEL SUELO - MÉTODO SUSS					
SISTEMA DE USO		PLÁTANO			
PLÁTANO : M-1				Deseable	Corte
Densidad aparente	DA	1.35	g/cm ³	1.1	1.47
Potencial de hidrógeno	pH	6.01		7	5
Fósforo disponible	P	3.90	mg/kg	9	0
Materia orgánica	MO	0.41	%	5	0.5
Nitrógeno total	N	0.02	%	0.2	0.05
Calcio intercambiable	Ca	3.90	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0
Magnesio intercambiable	Mg	1.23	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	5.26	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5
PLÁTANO : M-2				Deseable	Corte
Densidad aparente	DA	1.30	g/cm ³	1.1	1.47
Potencial de hidrógeno	pH	5.89		7	5
Fósforo disponible	P	4.60	mg/kg	9	0
Materia orgánica	MO	0.54	%	5	0.5
Nitrógeno total	N	0.03	%	0.2	0.05
Calcio intercambiable	Ca	3.75	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0
Magnesio intercambiable	Mg	1.05	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0
Capacidad de intercambio catiónico	CIC	4.94	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5
RESULTADOS:	M-1	M-2			
Densidad aparente	0.32	0.46			
Potencial de hidrógeno	0.51	0.45			
Fósforo disponible	0.43	0.51			
Materia orgánica	-0.02	0.01			
Nitrógeno total	-0.20	-0.15			
Calcio intercambiable	0.43	0.42			
Magnesio intercambiable	0.41	0.35			
Capacidad de intercambio catiónico	0.03	-0.01			
Promedio	0.24	0.25			
SUSS			0.25		
				CALIDAD DEL SUELO	Pobre
Descripción:	La calidad de suelos para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.				

Figura 20. Cálculo SUSS para el sistema de uso ex cocal.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
LABORATORIO DE CONSERVACION DE SUELOS
ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: RIVERA CRUZ DAVE ARQUIMEDES	PROCEDENCIA:	DISTRITO:	RUPA RUPA
		PROVINCIA:	LEONCIO PRADO
		DEPARTAMENTO:	HUANUCO

DATOS DE LA MUESTRA		ANALISIS FISICO										CAMBIABLES cmol(+)/KG.					%SB			
SISTEMA DE USO	SECTOR	ARCILLA %	LIMO %	ARENA %	CLASE TEXTURAL	Da gr/cc	pH	MO %	N %	P PPM	K PPM	CIC			Ca	Mg	K	Na	Al	H
cacao1	Papayal	24.62	11.06	64.32	Franco Arcillo Arenoso	1.27	7.80	2.45	0.12	4.30	67.90	8.21	6.60	1.40	0.21	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
cacao2	Papayal	19.62	10.06	70.32	Franco Arenoso	1.30	7.50	2.18	0.11	5.10	74.20	8.80	6.90	1.54	0.16	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
papaya1	Papayal	19.62	8.06	72.32	Franco Arenoso	1.40	7.70	1.50	0.07	4.30	56.70	8.01	6.10	1.60	0.31	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
papaya2	Papayal	21.62	8.06	70.32	Franco Arcillo Arenoso	1.35	7.91	1.22	0.06	5.14	63.38	9.27	7.10	1.94	0.23	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
bosque1	Papayal	33.62	10.06	56.32	Franco Arcillo Arenoso	1.23	7.34	3.54	0.18	8.47	89.43	9.77	8.30	1.10	0.37	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
bosque2	Papayal	27.62	12.06	60.32	Franco Arcillo Arenoso	1.25	7.32	3.13	0.16	6.43	94.20	10.49	7.90	2.24	0.35	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
paita1	Papayal	17.62	14.06	68.32	Franco Arenoso	1.32	6.90	1.77	0.09	5.50	73.40	8.35	6.34	1.78	0.23	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
paita2	Papayal	21.62	12.06	66.32	Franco Arenoso	1.38	7.10	1.36	0.07	5.45	63.50	7.76	5.90	1.65	0.21	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
platano1	Papayal	32.62	9.06	58.32	Franco Arcillo Arenoso	1.19	6.81	1.91	0.10	5.12	45.23	6.87	5.32	1.38	0.17	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
platano2	Papayal	25.62	14.06	60.32	Franco Arcillo Arenoso	1.15	6.36	1.63	0.08	5.45	39.65	7.01	5.43	1.43	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
ex coca1	Papayal	36.62	11.06	52.32	Arcilla arenosa	1.35	6.01	0.41	0.02	3.90	32.70	5.26	3.90	1.23	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
ex coca2	Papayal	39.62	14.06	46.32	Arcilla arenosa	1.30	5.89	0.54	0.03	4.60	35.74	4.94	3.75	1.05	0.14	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0



(Handwritten signature)

Ing. M. Sc. JOSE DOLORES LEYANO CRISÓSTOMO

FECHA: 14/06/2017
MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

Figura 21. Resultado del análisis de suelo.

Cuadro 27. Correlación de Pearson con nivel de significancia de 0.01 y 0.05 con el programa SPSS.

		DA	RP	pH	P	MO	N	Ca	Mg	K	CIC	SUSS
DA	Correlación de Pearson	1	0.456	0.230	-0.431	-0.482	-0.472	-0.105	0.268	0.045	-0.048	-0.342
	Sig. (bilateral)		0.364	0.660	0.394	0.333	0.344	0.843	0.607	0.932	0.928	0.507
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
RP	Correlación de Pearson	0.456	1	-0.308	0.244	-0.261	-0.279	-0.120	0.166	0.336	-0.062	-0.258
	Sig. (bilateral)	0.364		0.553	0.641	0.618	0.592	0.820	0.754	0.515	0.907	0.621
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
pH	Correlación de Pearson	0.230	-0.308	1	0.240	0.561	0.584	,828 [*]	0.794	0.616	,840 [*]	0.736
	Sig. (bilateral)	0.660	0.553		0.647	0.247	0.224	0.042	0.059	0.193	0.036	0.095
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
P	Correlación de Pearson	-0.431	0.244	0.240	1	,842 [*]	,829 [*]	0.736	0.475	,812 [*]	0.726	0.781
	Sig. (bilateral)	0.394	0.641	0.647		0.035	0.041	0.095	0.341	0.050	0.102	0.067
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
MO	Correlación de Pearson	-0.482	-0.261	0.561	,842 [*]	1	,999 ^{**}	,898 [*]	0.485	0.731	,860 [*]	,967 ^{**}
	Sig. (bilateral)	0.333	0.618	0.247	0.035		0.000	0.015	0.330	0.099	0.028	0.002
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
N	Correlación de Pearson	-0.472	-0.279	0.584	,829 [*]	,999 ^{**}	1	,906 [*]	0.500	0.727	,869 [*]	,973 ^{**}
	Sig. (bilateral)	0.344	0.592	0.224	0.041	0.000		0.013	0.312	0.101	0.025	0.001
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ca	Correlación de Pearson	-0.105	-0.120	,828 [*]	0.736	,898 [*]	,906 [*]	1	0.781	,873 [*]	,995 ^{**}	,970 ^{**}
	Sig. (bilateral)	0.843	0.820	0.042	0.095	0.015	0.013		0.067	0.023	0.000	0.001
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Mg	Correlación de Pearson	0.268	0.166	0.794	0.475	0.485	0.500	0.781	1	0.743	,835 [*]	0.665
	Sig. (bilateral)	0.607	0.754	0.059	0.341	0.330	0.312	0.067		0.090	0.039	0.149
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
K	Correlación de Pearson	0.045	0.336	0.616	,812 [*]	0.731	0.727	,873 [*]	0.743	1	,889 [*]	0.794
	Sig. (bilateral)	0.932	0.515	0.193	0.050	0.099	0.101	0.023	0.090		0.018	0.059
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CIC	Correlación de Pearson	-0.048	-0.062	,840 [*]	0.726	,860 [*]	,869 [*]	,995 ^{**}	,835 [*]	,889 [*]	1	,949 ^{**}
	Sig. (bilateral)	0.928	0.907	0.036	0.102	0.028	0.025	0.000	0.039	0.018		0.004
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
SUSS	Correlación de Pearson	-0.342	-0.258	0.736	0.781	,967 ^{**}	,973 ^{**}	,970 ^{**}	0.665	0.794	,949 ^{**}	1
	Sig. (bilateral)	0.507	0.621	0.095	0.067	0.002	0.001	0.001	0.149	0.059	0.004	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

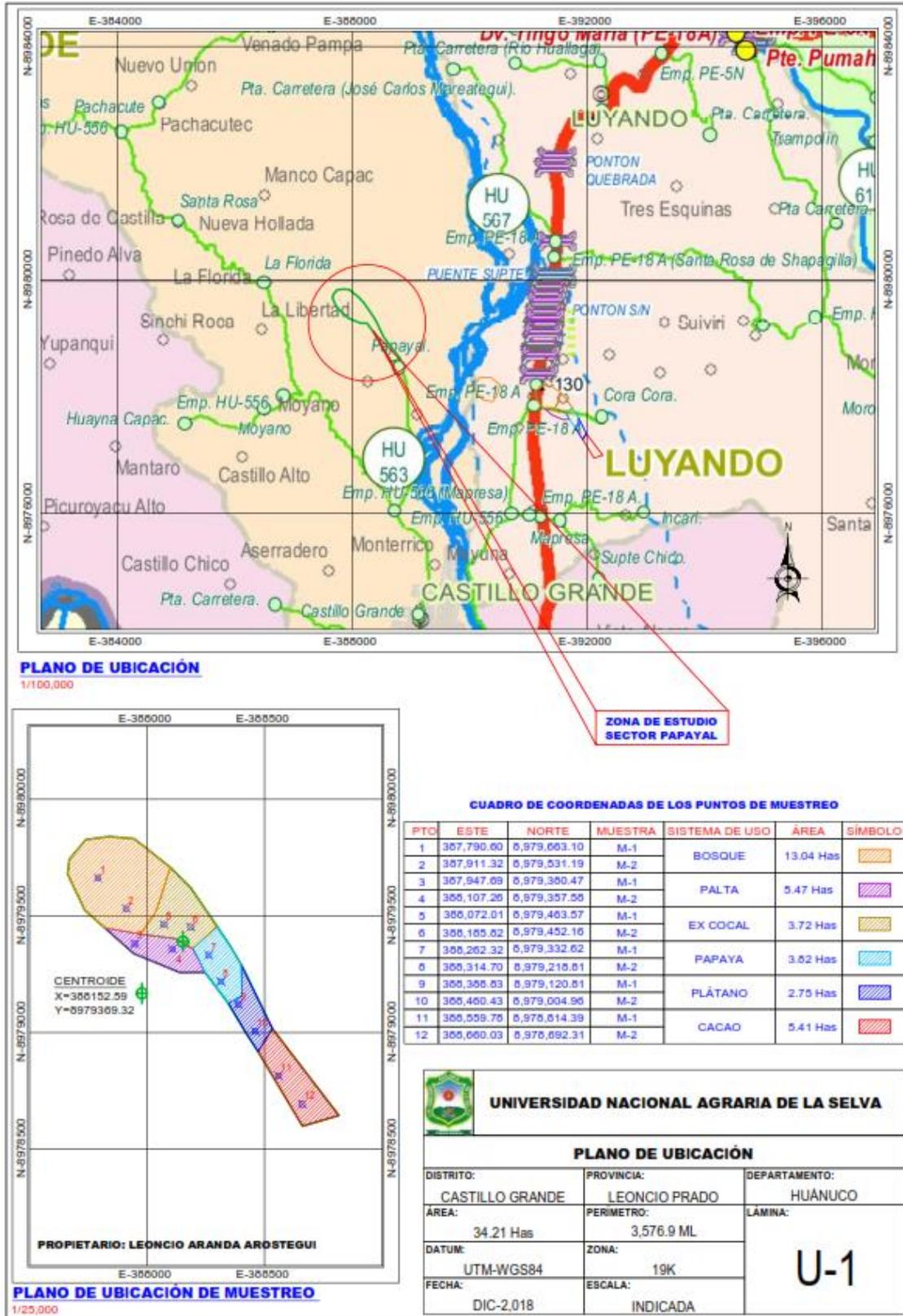


Figura 22. Croquis de ubicación del lugar de estudio.

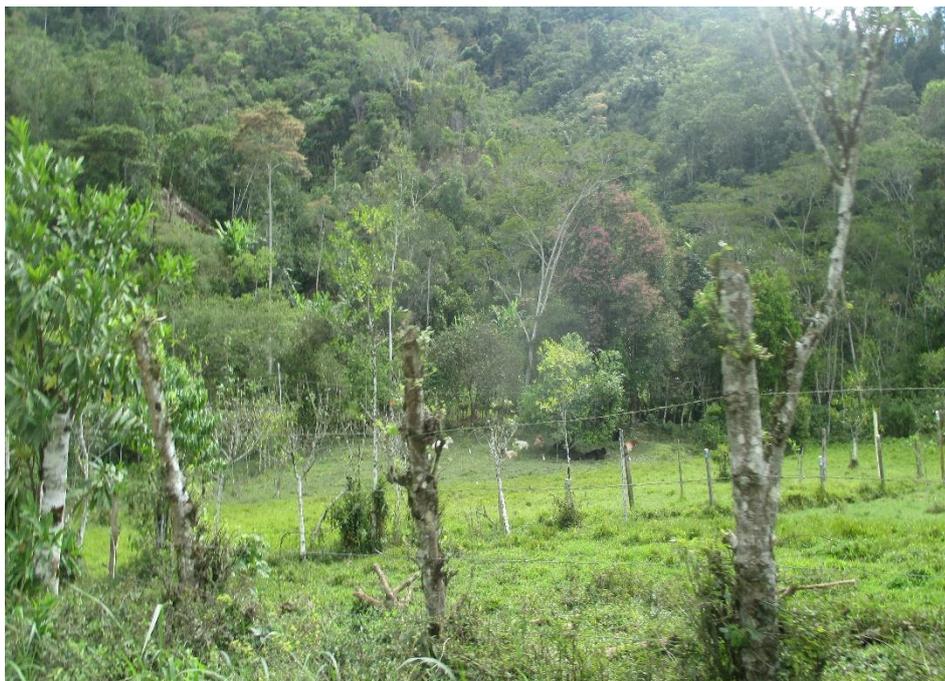


Figura 23. Zona de bosques a ser analizada.



Figura 24. Parcela de plátano a ser analizada.



Figura 25. Parcela de papaya a ser analizada.

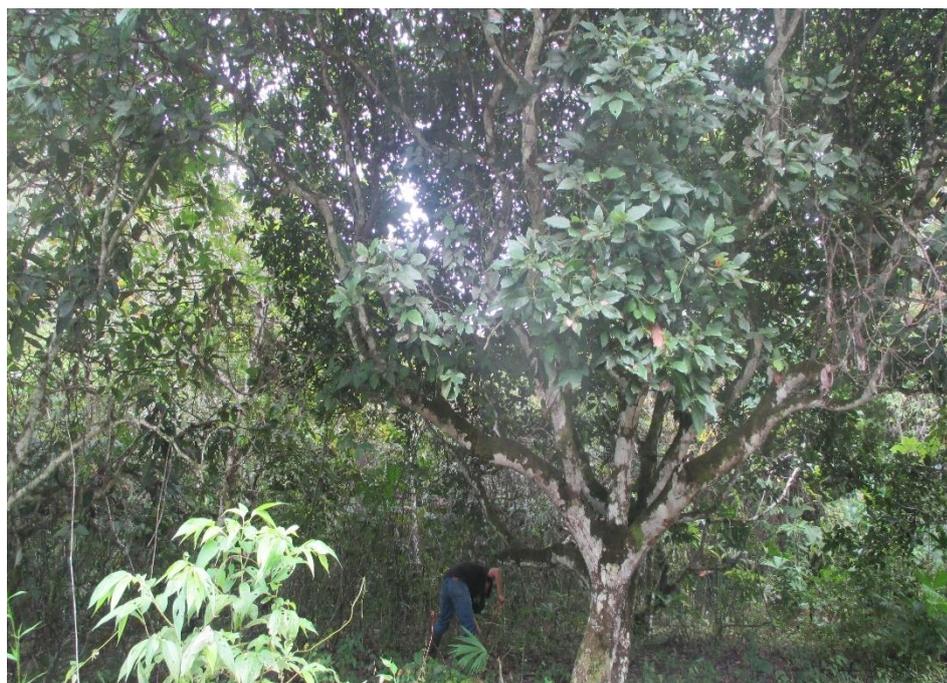


Figura 26. Parcela de palta a ser analizada.



Figura 27. Parcela de cacao a ser analizada.



Figura 28. Terreno de ex cacaos a ser analizada.



Figura 29. Medición de la parcela a evaluar.



Figura 30. Recolección de muestra para su análisis fisicoquímico.