

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



EFFECTO DEL MANEJO CONVENCIONAL DE *Erythroxylum coca* EN
INDICADORES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL SUELO, EN PADRE ABAD
- UCAYALI

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

ELIZABETH ENCARNACIÓN PURI

Tingo María – Perú.

2022



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 023-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 04 de julio del 2022 a horas 7:00 p. m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“EFECTO DEL MANEJO CONVENCIONAL DE *Erythroxylum coca* EN INDICADORES FÍSICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL SUELO, EN PADRE ABAD - UCAYALI”

Presentado por el Bachiller: **ENCARNACIÓN PURI, Elizabeth**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

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

Tingo María, 01 de Agosto de 2022

Ing. M. Sc. **JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO**
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. **ERLE OTTO J. SCAGLIONI BUSTAMANTE**
MIEMBRO

Dr. **LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ**
MIEMBRO

Dr. **NELINO FLORIDA ROFNER**
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ECUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACION DE
SUELOS Y AGUA



EFFECTO DEL MANEJO CONVENCIONAL DE *Erythroxylum coca* EN
INDICADORES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL SUELO, EN PADRE ABAD
- UCAYALI

Autor	: Bach. Elizabeth Encarnación Puri
Asesor	: Dr. Nelino Florida Rofner
Programa de Investigación	: Manejo y Conservación de Suelos
Línea (s) de Investigación	: Ciencias básicas del Suelo
Eje Temático	: Propiedades físicas y químicas del suelo
Lugar de ejecución	: Padre Abad
Duración del trabajo	: Seis meses
Financiamiento	: S/. 9 979,00
Propio	: Si
FEDU	: No
Otros	: No

Tingo María – Perú

2022

DEDICATORIA

A Dios, porque en él encontré paz en cada obstáculo que se me ha presentado en la vida y refugio cuando el mundo se me vino encima; porque gracias a su misericordia pude reponerme a los tropiezos que di en esta corta etapa de la vida y sobre todo porque cuidó de mí y me protegió en aquellos momentos en los que me sentí derrotada, demostrando que siempre estará ahí para ofrecer protección a todos sus hijos.

A mi adorada madre Gregoria Puri Zuñiga por el apoyo incondicional y desmedido que ofrece a sus hijos, por ser mi soporte emocional, mi inspiración, mi motor y motivo para seguir luchando día a día en este mundo lleno de obstáculos. A mis hermanos, abuelos, tíos y mi padrastro.

A todas aquellas personas que llegaron a mi vida con algún propósito y aportaron en su momento al desarrollo personal, emocional y profesional.

El autor

AGRADECIMIENTOS

A Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites disfrutar de todos mis logros que son resultado de tu ayuda, los obstáculos me sirven para mejorar como ser humano. La tesis ha sido una bendición en todo sentido y estaré agradecido, pues la meta está cumplida.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haber permitido formarme, gracias a todos los docentes que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos, fueron ustedes con sus aportes, que hoy se ve reflejada en la culminación de mi paso por la universidad.

Al Dr. Nelino Florida Rofner, por el asesoramiento en la formulación del proyecto, la ejecución, redacción, sustentación de la tesis y publicación del artículo científico.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Manejo convencional	3
2.2. Aplicación de herbicidas en sistemas convencionales.....	3
2.3. Calidad del suelo	4
2.4. Afectación del suelo por el manejo	4
2.5. Cultivo de E. coca	5
2.5.1. Degradación del suelo por el cultivo de E. coca	6
2.5.2. Impacto social por el cultivo de E. coca	7
2.6. Indicadores de calidad del suelo	8
2.6.1. Indicadores físicos.....	8
2.6.2. Indicadores químicos	9
a). Potencial de hidrógeno (pH)	9
b). Materia orgánica (MO)	9
c). Fósforo (P)	10
d). Potasio (K ⁺)	10
e). El calcio (Ca ²⁺)	10
e). El magnesio (Mg ²⁺)	10
2.7. Índice de calidad del suelo (ICS)	11
2.7.1. Método de cálculo del ICS	11
2.7.2. Método SUSS	12
2.7.3. Método ICS de Estrada, Sarmiento y Cantú	12
2.8 Estado del arte	13
2.8.1 Antecedentes internacionales	13
2.8.2 Antecedentes nacionales y locales	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Área de estudio	17

3.2	Características generales del área de estudio	17
3.3.	Materiales y equipos.....	18
3.3.1	Materiales de campo.....	18
3.3.2	Materiales de laboratorio.....	18
3.3.3	Equipos de campo y laboratorio.....	18
3.4.	Criterio y análisis del estudio	18
3.4.1	Tipo y nivel de investigación.....	18
3.4.2	Diseño de la investigación.....	18
3.5.	Metodología	19
3.5.1.	Sobre las áreas de E. coca	19
3.5.2.	Sobre el bosque secundario (BS)	19
3.5.3.	Determinación de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo	19
3.5.4.	Determinación del índice de calidad del suelo (ICS)	20
3.6.	Análisis estadístico	22
3.7.	Variables	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1.	Efecto del manejo convencional de <i>E. coca</i> sobre indicadores físicos del suelo	23
4.2.	Efecto del manejo convencional de <i>E. coca</i> en indicadores químicos del suelo	25
4.3.	Calidad del suelo a través de los índices de calidad ICS	29
V.	CONCLUSIÓN	31
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	32
VII.	REFERENCIAS	33
VIII.	ANEXO	40
	Evaluaciones estadísticas.....	40
	Trabajo de campo	50
	Reporte de análisis del suelo.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Especies de <i>E. coca</i> cultivada para producción de cocaína	6
2. Rangos de interpretación del método SUSS	12
3. Clases de calidad de Estrada	12
4. Clases de calidad de Cantú	13
5. Indicadores evaluados	20
6. Parámetros edáficos para determinar el ICS	21
7. Estadística general de indicadore físicos evaluados	23
8. Comparaciones múltiples de indicadore físicos	23
9. Estadística general de indicadore químicos	25
10. Comparaciones múltiples de indicadores químicos	26
11. Clases de ICS según tratamiento	29
12. Análisis de varianza para el indicador arena	40
13. Análisis post-hoc Tukey para el indicador arena	40
14. Análisis de varianza para el indicador arcilla	40
15. Análisis post-hoc Tukey para el indicador arcilla	41
16. Análisis de varianza para el indicador limo	41
17. Análisis post-hoc Tukey para el indicador limo	41
18. Análisis de varianza para el indicador Rp	42
19. Análisis post-hoc Tukey para el indicador Rp	42
20. Análisis de varianza para el indicador pH	42
21. Análisis post-hoc Tukey para el indicador pH	43
22. Análisis de varianza para el indicador MO	43
23. Análisis post-hoc Tukey para el indicador MO	43
24. Análisis de varianza para el indicador N	44
25. Análisis post-hoc Tukey para el indicador MO	44
26. Análisis de varianza para el indicador P	44
27. Análisis post-hoc Tukey para el indicador P	45
28. Análisis de varianza para el indicador K	45
29. Análisis de varianza para el indicador Ca	45
30. Análisis post-hoc Tukey para el indicador Ca	46
31. Análisis de varianza para el indicador Mg	46
32. Análisis post-hoc Tukey para el indicador Mg	46

33. Análisis de varianza para el indicador AI	47
34. Análisis post-hoc Tukey para el indicador AI	47
35. Análisis de varianza para el indicador CIC	47
36. Análisis post-hoc Tukey para el indicador CIC	48
37. Análisis de varianza para el indicador SB	48
38. Análisis post-hoc Tukey para el indicador SB	48
39. Análisis de varianza para el indicador AC	49
40. Análisis post-hoc Tukey para el indicador AC	49
41. Análisis de varianza para el indicador AC	49
42. Análisis post-hoc Tukey para el indicador SAI	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación del área de estudio.....	17
2. Comportamiento del %SB, %AC y %SAI	28
3. Manejo convencional de <i>E. coca</i> (CO15)	50
4. Muestreo de suelos en <i>E. coca</i> (CO15)	51
5. Muestreo de suelos en excoca (EC9).....	51
6. Muestreo de suelos en <i>E. coca</i> de 2 años (CO2).....	52
7. Muestreo de suelos en bosque secundario (BS)	52

RESUMEN

El cultivo de *E. coca*, se remonta a tiempos prehistóricos, con gran valor cultural, medicinal y actos espirituales, contrario a estas prácticas, en Perú el 90 % de la producción es destinada al narcotráfico generando violencia social, pobreza extrema e impactos negativos en la calidad del suelo. Por ello, el trabajo evaluó el efecto del manejo convencional de *E. coca* sobre indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo en Padre Abad, región Ucayali. Investigación descriptiva comparativa, con ajuste estadístico completamente aleatorizado (DCA), los tratamientos son: manejo convencional de *E. coca* de 2 (CO2) y 15 años (CO15), ex coca con regeneración natural de 9 años (EC9), y bosque secundario (BS). Se evaluó indicadores fisicoquímicos del para determinar la calidad a través de los índices de calidad del suelo (ICS). Los resultados muestran diferencias para arena, arcilla, limo y resistencia a la penetrabilidad (Rp), este último con incremento sostenido. Los indicadores químicos presentan diferencias, excepto el potasio, además, inicialmente (CO2) muestra efectos positivos sobre pH, MO, N, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, con disminución de Al³⁺, %AC y %SAI, sin embargo, en el tiempo presenta efectos negativos sobre los macronutrientes e incrementos de Al³⁺, %AC y %SAI. En conclusión, se evidencian cambios negativos en los indicadores fisicoquímicos y la calidad que paso de nivele bajo a muy bajos en 15 años de manejo convencional de la *E. coca*, y ligera recuperación en área de excoca con 09 años de regeneración natural.

Palabras clave: Compactación, índices de calidad, manejo convencional, regeneración natural.

ABSTRAC

The cultivation of *E. coca* dates to prehistoric times, with great cultural, medicinal, and spiritual value, contrary to these practices, in Peru 90% of production is destined for drug trafficking generating social violence, extreme poverty and negative impacts on soil quality. Therefore, the work evaluated the effect of conventional management of *E. coca* on physicochemical indicators of soil quality in Padre Abad, Ucayali region. Comparative descriptive research, with statistical of completely randomized design (DCA), the treatments are conventional management of *E. coca* of 2 (CO2) and 15 years (CO15), ex-coca with natural regeneration of 9 years (EC9), and secondary forest (BS). Physicochemical indicators were evaluated to determine quality through soil quality indices (ICS). The results show differences for sand, clay, silt, and resistance to penetrability (Rp), the latter with a sustained increase. The chemical indicators present differences, except for potassium, in addition, initially (CO2) shows positive effects on pH, MO, N, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺, with a decrease in Al³⁺, %AC and %SAI, however, over time it presents negative effects on macronutrients and increases in Al³⁺, %AC and %SAI. In conclusion, there are negative changes in the physicochemical indicators and the quality that went from low to very low levels in 15 years of conventional management of *E. coca*, and slight recovery in the excoca area with 09 years of natural regeneration.

Keywords: Compaction, quality indices, conventional management, natural regeneration.

I. INTRODUCCIÓN

La *E. coca* se produce en Colombia, Bolivia y Perú (Raffo et al., 2016), su impacto fue de tal magnitud que han influenciado fuertemente en su economía y política, especialmente en Perú y Colombia (Celis et al., 2020; Ocampo, 2016). El cultivo de *E. coca*, se remonta a tiempos prehistóricos, con gran valor cultural, medicinal y en diversos actos espirituales, contrario a estas prácticas, las zonas productoras como el valle del Ene, Marañón, Monzón, Huallaga y Aguaytía en décadas pasadas en Perú, el 90 % eran transformadas en pasta básica de cocaína y clorhidrato de cocaína, generando narcotráfico, violencia social y pobreza extrema (Ocampo, 2016; Chocce, 2015).

Para Celis et al. (2020) el cultivo de *E. coca* manejada convencionalmente tiene efectos severos sobre los principales indicadores de calidad del suelo, principalmente en la compactación de la capa superficial y en la disminución de MO, N y de bases cambiabiles, estos últimos terminan acentuando un proceso de acidificación del suelo, estos autores recomiendan desarrollar más estudios que permitan medir la real magnitud de los efectos de este cultivo. En el contexto de la realidad problemática, el trabajo planteó la interrogante ¿Cuál es el efecto del manejo convencional de *E. coca* en indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo, en Padre Abad - Ucayali - 2022?.

La investigación se justifica considerando que el manejo convencional aplicado en cualquier tipo de cultivo produce efectos adversos sobre las propiedades del suelo y otros componentes de los agroecosistemas (Bedoya et al., 2017; Arteaga et al., 2016), provocando pérdida de los servicios ambientales que brinda el suelo (Bernex, 2009). Además, las investigaciones previas (Celis et al., 2020; Ocampo, 2016; Chocce, 2015), no explican el impacto en el tiempo causado por el manejo convencional de la coca y su recuperación por regeneración natural. Por ello, evaluar los efectos del manejo convencional de *E. coca* en los principales indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo en el ámbito del poblado de Nuevo Progreso en Padre Abad-Ucayali, resulta de importancia social, ambiental y académico científico,

Los alcances de los resultados de esta investigación contribuyen con nuevos conocimientos para la comunidad científica y para las instituciones que monitorean y controlan la producción de este cultivo, “Proyecto Especial de Control y Reducción del Cultivo de la Coca en el Alto Huallaga” (CORAH) y aquellos que promueven la sustitución por cultivos lícitos como la “Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas” (DEVIDA). Por lo que, la investigación plantea como respuesta hipotética “Si aplicamos el manejo convencional en el cultivo de *E. coca*, entonces, se tiene efectos significativos en indicadores fisicoquímicos de

calidad del suelo, en Padre Abad - Ucayali”. Los resultados logran contrastar la hipótesis, para ello, la investigación trabaja con los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del manejo convencional de *E. coca* sobre indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo, en Padre Abad – Ucayali -2022.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del manejo convencional de *E. coca* sobre indicadores físicos de calidad del suelo : textura y resistencia a la penetración (Rp).
- Determinar el efecto del manejo convencional de *E. coca* en indicadores químicos de calidad del suelo: pH, MO, N, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, H⁺, CIC, %BC, %AC y %SAI.
- Determinar la calidad a través de los índices de calidad del suelo “ICS”.
- Determinar diferencias a través del análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones múltiples, a través de la diferencia honesta significativa (HSD-Tukey), entre el manejo convencional y los indicadores evaluados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Manejo convencional

Conjunto de prácticas y paquetes tecnológicos basados en la industrialización de la agricultura cuyo objetivo fue aumentar los rendimientos, este sistema se originó en Norte America con la creación de semillas híbridas resistente a enfermedades y con alto potencial productivo, que prometía garantizar la seguridad alimentaria (Pichardo, 2006). Además, del área total de tierras en el planeta, solo una décima parte es utilizada para cultivos agrícolas y la mayoría depende de sistemas convencionales, que incluyen, uso de diferentes agroquímicos como fertilizantes, herbicidas e insecticidas, con impactos negativos sobre los ecosistemas, como ocurre en el cultivo de hoja *E. coca* (Devine et al., 2008).

El manejo convencional utiliza tecnología apropiadas, disponibles y recomendada por la comunidad científica de las últimas décadas, basados en la generación de conocimientos que demostraban beneficios en el desarrollo de los cultivos (Bruulsema, 2002); sin embargo, la falta de capacitación sobre el manejo de insumos químicos que forman parte de esta tecnología, denominados agroquímicos, fue usada sin criterio técnico, conduciendo a problemas de compactación, salinización, acidificación, pérdida de MO y en el tiempo disminución del potencial productivo (Florida et al., 2018; Orozco et al., 2016). Además, en el caso específico del manejo convencional de *E. coca* hay algunos factores que influyen de modo negativo en los indicadores de calidad del suelo, entre ellos: pobre incorporación de residuos, pérdida de cobertura de la superficie y como factor externo la erosión hídrica; como consecuencia, se pierde el estrato superficial y la estructura del suelo (Celis et al., 2020).

2.2. Aplicación de herbicidas en sistemas convencionales

Los herbicidas se utilizan en la actualidad para incrementar y mantener niveles óptimos en la producción de los cultivos, ya que, la proliferación de malezas constituye la mayor amenaza para el establecimiento, rendimiento y la rentabilidad de los cultivos, sin embargo, la aplicación sin criterio técnico ha convertido a este modelo de producción en un problema capaz de provocar múltiples efectos negativos sobre el agroecosistema (Tofiño et al., 2019; Alvear et al., 2006).

Los herbicidas pueden causar múltiples efectos sobre el funcionamiento de los microorganismos del suelo, afectando los ciclos generales de mineralización de los nutrientes y al desarrollo vegetal (Tofiño et al., 2019; Alvear et al., 2006), su efecto depende de varios factores como: naturaleza química, la dosis, método de aplicación, tipo de suelo, y el cultivo al que se aplica el tratamiento (Pedemonte, 2017; Alvear et al., 2006). El cultivo de *E. coca*

manejada convencionalmente, hace uso excesivo de herbicidas, provocando pérdida de la MO e incremento de Al^{3+} a niveles tóxicos, por la baja incorporación de residuos, pérdida de cobertura superficial y la erosión hídrica de los horizontes superficiales (Celis et al., 2020). Hay que tener en cuenta que la MO del suelo tiene una función importante en el suelo por presentar enlaces fuertes en sus grupos radicales de los carboxilos y fenoles, que forman complejos estables y determinan los diferentes procesos químicos del suelo (Bravo et al., 2014; Cortes et al., 2016). Por lo que, el uso de herbicidas en la producción de hoja de coca termina afectando aspectos relacionado a la fertilidad del suelo (Celis et al., 2020; Florida, López & Pocomucha, 2012).

2.3. Calidad del suelo

Hace referencia a la capacidad de éste para producir o ser utilizado sin degradarse ni perder la sostenibilidad de sus funciones básicas (Meza et al., 2017; García et al., 2012). Por ello, la comunidad científica desde los 90 ha mostrado su preocupación por la calidad del suelo y la sustentabilidad agrícola basada en: la productividad, seguridad, protección, viabilidad y accesibilidad (Machado, 2009).

Para García et al. (2012) el término fertilidad se planteó en un contexto de producción agropecuario y forestal, como capacidad del suelo a suministrar los nutrientes suficientes al cultivo, asegurando su crecimiento y su desarrollo, sin embargo, para el mismo autor es un concepto incompleto y limitado para determinar la calidad del suelo, este, debería integrar los atributos físicos, químicos y biológicos.

La fertilidad apareció con la agricultura industrial, hasta que se evidencio sus efectos negativos y la exclusión de otras propiedades importantes del suelo (Machado, 2009) . Por ello, García et al. (2012), propone la integración de los atributos físicos, químicos y biológicos, así, medir su capacidad para funcionar adecuadamente en función al uso. El concepto es integrador y busca proteger el ambiente.

2.4. Afectación del suelo por el manejo

En general las prácticas agrícolas que incluyen sistemas de monocultivo, mecanización y uso de agroquímicos conducen hacia la degradación de la estructura del suelo y provocan cambios en la calidad (Florida & Acuña, 2020; Stehlíková et al., 2016). Sin embargo, surge la agricultura de conservación con sistemas agroforestales, rotación y asociación de cultivos, labranza mínima, etc., como propuestas alternas para mejorar integralmente la fertilidad y optimizar los agroecosistemas (Bogunović et al., 2019, Ahmed et

al., 2020). Estos beneficios se producen por que estos sistemas regresan más residuos del cultivo al agroecosistema y provocan: disminución de la Da e incremento de la porosidad en comparación a sistemas convencionales, mientras más residuos se incorporan sobre la superficie, será menor la densidad aparente, la micro y meso porosidad es más alta y se observa un aumento en la estratificación de P, K⁺, Ca⁺² y Mg⁺² y disminución de la toxicidad del aluminio en la capa superficial del suelo (Verhulst et al., 2015).

La estructura del suelo es fundamental para mantener la sustentabilidad de los agroecosistemas, por ello, la perturbación física de la estructura producto del manejo da como resultado la alteración o destrucción de los agregados (Verhulst et al., 2015). Por tanto, la aplicación del manejo conservacionista produce mejoras en los indicadores físicos (Da, porosidad, Rp, etc.) asociados a la estructura, en comparación con el manejo convencional.

La degradación, según Espinoza et al. (2011) son procesos antropogénicos que afectan negativamente la capacidad del suelo para sostener la productividad, cuyos factores determinantes son: el régimen climático, las condiciones geomorfológicas, tipo de suelo, la deforestación, sistemas agrarios y las políticas públicas sobre la protección del ambiente. Además, manifiesta que el tipo de degradación dominante es la erosión hídrica que remueve el material superficial y provoca disminución del espesor del horizonte A, la segunda forma de degradación es la compactación, que provoca cambios en las condiciones físicas que afecta al crecimiento de las plantas y aumenta la susceptibilidad a la erosión, y finalmente la erosión eólica, por la reducción de la cobertura, condiciones de sequía y destrucción de la estructura y el laboreo en el estrato superficial.

2.5. Cultivo de *E. coca*

Se tienen aproximadamente 250 especies diseminadas en las zonas tropicales y subtropicales de América, Asia, África y Australia. De estas especies nativas en América, solamente dos especies son cultivadas para ser transformadas en cocaína, *E. coca* y *E. novogranatense* (**Tabla 1**), y cada especie tiene también dos variedades (*E. coca* tiene las variedades *coca e ipadu* mientras que *E. novogranatense* tiene las variedades *novogranatense* y *truxillense* (Gutiérrez et al., 2018). Según Téllez & Cote (2005), la planta es originaria de los andes americanos, su nombre proviene del Aimara en el Alto Perú, denominada KkoKa, que significa arbusto, consumida masivamente por sus pobladores aproximadamente desde hace 3000 años a.C.

Tabla 1. Especies de *E. coca* cultivada para producción de cocaína

<i>Erythroxylum coca</i> var. <i>coca</i>	Denominada coca “Huánuco” o coca “Boliviana”, distribuida en los Andes de Bolivia y Perú, especie más cultivada en la región Andina y destinada al uso tradicional y el narcotráfico.
La coca amazónica o ipadú, o <i>Erythroxylum coca</i> var. <i>ipadu</i>	Distribuida en las tierras bajas de la cuenca amazónica entre Brasil, Perú y Bolivia.
La coca colombiana, o <i>E. novogranatense</i> var. <i>novogranatense</i>	Originario de Colombia, raramente encontrado en Venezuela y Centroamérica. Usado como estimulante en Sierra Nevada de Santa Marta, Santander, Cauca y Huila, y como planta ornamental en Colombia, no se usa para la producción de cocaína.
La coca Trujillo, o <i>Erythroxylum</i> <i>novogranatense</i> var. <i>truxillense</i>	Cultivada en el occidente de Perú, con excelente sabor y alto contenido de alcaloide. No usada para producción de cocaína, sirve para saborizar la Coca-Cola.

Fuente: Gutiérrez et al. (2018)

Históricamente Perú producía la hoja de coca para el consumo de su población indígena con profundas raíces en su cultura ancestral, en la medicina tradicional y en los rituales espirituales (Celis et al., 2020). Sin embargo, pasó a la industria legal de la cocaína en 1880, básicamente en Cusco y en las tierras bajas cercanas a Huánuco para exportar hacia Alemania, para luego en 1890 abrir una tercera zona de producción, Otuzco, que se especializó en la exportación de hoja de coca hacia Norteamérica, para la fabricación de Coca-Cola (López, 2018).

En Perú la técnica de extracción de la cocaína básica era deficiente, por lo que fue sustituida por la coca de Java. Merck en 1906 consideró que ese producto no cumplía los estándares de calidad, Así, la coca y la cocaína legal de origen Peruano llegó a su fin en 1910. Sin embargo, el cultivo presentó un nuevo surgimiento a partir de 1970 en un contexto de narcotráfico y dominado por el consumo recreativo, por lo que, los productores y comercializadores fueron perseguidos por la ley y pasaron a la historia por niveles extremos de violencia que aplicaron (López, 2018).

2.5.1. Degradación del suelo por la *E. coca*

Los sistemas de monocultivos de coca en suelos de laderas, está causando degradación y deforestación en las Yungas de Bolivia, la coca es una amenaza de grandes dimensiones para los ecosistemas, al punto que se pierden prácticas ancestrales como rotación y asociación de cultivos. El cultivo de *E. coca* en la actualidad están basadas en el monocultivo

y generalmente se instalan en tierras con pendiente que pueden ser manejadas hasta por 30 años; la escasa cobertura por aplicación permanente de herbicidas, y la salida periódica de macro y micronutrientes a través de la cosecha de hojas, dejan los suelos no aptos para el desarrollo de otros cultivos (Jacobi et al., 2018).

El manejo convencional de *E. coca* considera el uso de herbicidas, entre ellos el glifosato y paraquat, su aplicación a largo plazo a mostrado efectos sobre los niveles de MO, N, pH y sobre los macronutrientes en los suelos (Celis et al., 2020). Sin embargo, algunos estudios a corto plazo han registrado efectos positivos sobre los niveles de MO y pH aplicando glifosato (Tofiño et al., 2019; Florida et al., 2012). Estos autores advierten que en el tiempo este crecimiento podría descender por menor incorporación de residuos vegetales y por sus efectos sobre la microflora.

Los indicadores físicos del suelo más afectados por este cultivo en zonas tropicales son la Da y la Rp, mostrando tendencia de incremento para ambos indicadores y un proceso severo de compactación de los suelos, además, químicamente tienen efectos negativos sobre pH, MO, N, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, e incremento no deseado de Al³⁺, %AC y %SAI. Se atribuye estos efectos al uso excesivo de insumos químicos en el proceso productivo que provoca la degradación en el tiempo (Celis et al., 2020).

2.5.2. Impacto social por el cultivo de *E. coca*

En general, el cultivo de coca genera colonización, atrayendo poblaciones de diferentes orígenes, que llegan para cultivar y cosechar la hoja, transformar y comprar la cocaína, o participar en las actividades económicas lícitas generadas por este auge económico (Torres, 2012). La expansión de este cultivo genera directa o indirectamente aumento exagerado y no planificado de nuevos poblados y expansión desordenada de áreas urbanas, provocando la expansión de la frontera agrícola, acelerando el ritmo de poblamiento, reduciendo la dispersión poblacional en el territorio, además, trae consigo un elemento no deseado “violencia” (Chocce, 2015; Torres, 2012).

Cuáles serían los elementos que consolidan el arraigo ancestral del cultivo de la hoja de coca en Perú y otros países de la región, para Chocce (2015) son: a) su función en la economía, para nuestros antepasados este producto se podía vender o intercambiar, la venta o canje permitía conseguir otros productos de otras zonas, b) función de estimulación física y social, su masticación en las actividades agrícolas estimula el cuerpo para soportar las inclemencias del clima, y su masticación en reuniones sociales, nacimiento, matrimonio, fallecimiento y otras de carácter social y familiar que fortalecían el vínculo entre sus miembros,

y c) uso en la medicina tradicional, utilizado como mecanismo de diagnóstico y estrategia terapéutica.

Finalmente, un aspecto muy importante que ha permitido que en nuestros tiempos los productores de hoja de coca persistan, según Barrientos & Schug (2006) está relacionada a: las características de una planta relativamente robusta, mantenimiento mínimo comparado con otros cultivos, se adapta a cualquier método de producción, utiliza menos productos químicos, bajo costos de producción, renovación prolongada (40-60 años) y ciclos cortos de cosecha permanente. Además, en el caso peruano en su política de lucha contra las drogas a través de DEVIDA, apoyada y financiada por USAID realizan el monitoreo y control forzada, eliminando sin éxito el cultivo de la coca, y desarrollando proyectos alternativos al cultivo ilícito, que al momento no han generado las mejoras socioeconómicas por deficiencias en: criterios técnicos agronómicos, asistencia técnica y fortalecimiento organizacional que se traduce en descontento social y rechazo a los proyectos alternativos (Alvarado et al., 2020).

2.6. Indicadores de calidad del suelo

Es una herramienta que permite simplificar, cuantificar e identificar fenómenos complejos, y son aplicables a diferentes áreas del conocimiento, por lo que, según García et al. (2012) los indicadores se perciben como herramienta de medición para generar información integral sobre procesos y características del suelo, así, en el tiempo evaluar estado actual y los potenciales impactos negativos o positivos generados por el manejo.

2.6.1. Indicadores físicos

Los principales atributos físicos que se pueden usar como indicadores son: la estructura, Da, Rp, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del perfil arable, capacidad de retención de agua entre otros (García et al., 2012). Un indicador importante es la textura, por su relación directa e indirecta con los procesos y con otros indicadores físicos y químicos, Su repercusión está ligada a la clase textural, este a su vez, está representada por diferentes fracciones minerales con dimensiones estandarizadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-USDA (Camacho et al., 2017; FAO, 2009).

La densidad aparente, también es un indicador muy susceptible a cambios producto del manejo, permitiendo indirectamente determinar el grado de perturbación y/conservación de la estructura, la resistencia a la penetración de las raíces (Rp) y la cohesión de las partículas que determinan la estabilidad de los agregados. Asimismo, la Rp tiene relación

directa con procesos de compactación haciendo que el suelo pierda sus propiedades y disminuya su potencial productivo, por cambios físicos, aumentando la R_p , la D_a y reduciendo la porosidad (Demuner et al., 2013), por aplicación de cualquier tipo de presión sobre la superficie (FAO, 2009).

2.6.2. Indicadores químicos

Los principales atributos químicos que pueden usarse como indicadores son: macronutrientes N, P, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , CO, carbono orgánico lábil, pH, CE, capacidad de absorción de fosfatos, CIC, cambios en la MO, N y el nitrógeno mineralizable (García et al 2012).

a). Potencial de hidrógeno (pH)

Considerado indicador referente, con capacidad para ser utilizado como herramienta de diagnóstico y pronóstico de la calidad del suelo, por su gran influencia en la biodisponibilidad de los nutrientes esenciales para las plantas (SAGARPA, 2012). Una reducción en los niveles de pH en los suelos genera deficiencias e impactos negativos en el desarrollo de cultivos, por reducción de los principales macronutrientes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y P, además, el descenso de pH favorece la solubilidad de elementos no deseados (Al, Mn y otros), que pueden afectar el desarrollo de las raíces, absorción, translocación y en general la nutrición de las plantas. Por ello, los niveles de pH en los suelos permiten identificar es estado actual y el potencial nutricional para un normal desarrollo de los cultivos (Rivera et al., 2018).

b). Materia orgánica (MO)

Fracción orgánica incorporada a la mineral, constituye la base de su fertilidad por su relación sobre el resto de los indicadores determinantes en: la nutrición de las plantas (Demuner et al., 2013), y la formación de agregados, particularmente en la formación de macroagregados estables con tamaño superior a 0,25 mm (Cunha et al., 2018). Además, la MO cumple un papel importante en la nutrición, por su aporte directo de nutrientes a través de la mineralización, disponibilidad de los nutrientes por su alta capacidad de intercambio y por su participación en funciones física que favorece buena estructuración, aireación, retención de humedad, reducción de la erosión y mejora en la CIC del suelo (SAGARPA, 2012).

c). Fósforo (P)

Elemento esencial con una variedad de dificultades para estar en formas disponibles para las plantas (SAGARPA, 2012). Es asimilado por las raíces a través del flujo de masas y por una acción combinada entre microorganismos y las raíces de las plantas, además, la cantidad asimilada está en función de su concentración en el suelo (Fernández, 2007). Existe relación entre P, Ca y Al, producto de su naturaleza química tiende a reaccionar y formar fosfatos de calcio, quedando retenido en las superficies de los carbonatos formados y no disponible para la planta. Además, en suelos tropicales, subtropicales y volcánicos con altos niveles de ácidos, reaccionan con el aluminio y como consecuencia se precipitan en forma de fosfatos de aluminio altamente insolubles, lo que genera bajos niveles de P y disminución en el desarrollo radicular por altos niveles de Al en la solución (Fernández, 2007).

d). Potasio (K⁺)

Clasificado como elemento esencial, asimilado en gran cantidad por la planta, es liberada a la solución a partir del K⁺ que forma parte de la estructura de las arcillas (SAGARPA, 2012). Se encuentra en el suelo bajo cuatro formas: soluble, intercambiable, no intercambiable, y fijada en la matriz de las arcillas tipo 2:1. Por ello, los diferentes sistemas de producción requieren aportes externos para suplir deficiencias en el suelo o cubrir las exigencias de los cultivos (Aguado et al., 2002).

e). El calcio (Ca²⁺)

Elemento esencial para la nutrición vegetal, presente en concentraciones altas en suelos de regiones áridas (SAGARPA, 2012), sus niveles pueden ser muy variadas, que van de 1 a 2 Cmol/Kg en suelos ácidos y hasta 25 % en suelos alcalinos (Havlin *et al.*, 1999). Suelos con concentraciones medias de Ca mantienen al pH neutro o ligeramente alcalino, deseable para el desarrollo de cultivos, por ello, es conveniente diseñar programas de reposición o incremento de los niveles de Ca²⁺ para mantener pH deseables y la relación sinérgica o antagónica con otros cationes como Mg²⁺, Al en suelos ácidos y Na⁺ en suelos alcalinos (Navarro & Navarro, 2003).

e). El magnesio (Mg²⁺)

Elemento esencial para la nutrición vegetal, presente en concentraciones normales, aunque, es posible encontrar niveles bajos de este elemento en suelos ácidos con texturas arenosas (Bohn, 1993). Los contenidos de Mg²⁺ en el suelo pueden variar dependiendo del material de origen, clase textural, niveles de Al, Ca y/o Na, niveles de pH, condición

climática, la extracción por las plantas y los aportes externos de enmiendas calcáreas. Además, en la estructura vegetal cumple funciones claves al formar parte de la clorofila, asociado a la fotosíntesis (SAGARPA, 2012).

2.7. Índice de calidad del suelo (ICS)

Los ICS incluyen variables que permiten evaluar la condición del suelo, a través de indicadores. Es una herramienta que mide y genera información integral sobre las propiedades, procesos y características. Los indicadores son atributos medibles del suelo que revelan la respuesta de la productividad o funcionalidad del suelo y ponen en evidencia los efectos del manejo sobre la calidad y la tendencia o impacto que tienen las prácticas agrícolas sobre la degradación (Estrada et al., 2017). No hay ICS que sean adecuados para todos los propósitos y contextos (Cantú et al., 2007).

Los ICS son variables numéricas obtenida a partir de indicadores físico, químico y biológico del suelo, permitiendo una evaluación integral, exacta y confiable del estado del suelo aplicando principios estadísticos como el conjunto mínimo de datos (MDS) y el análisis de componentes principales (PCA) (Sarmiento et al., 2018). Además, un aspecto fundamental es la elección de los indicadores a evaluar, según Sarmiento et al. (2018), Estrada et al. (2017), Prieto et al. (2013) y Cantú et al. (2007) hasta el momento no se alcanzó un consenso dentro de la comunidad científica, razón por el cual, existe una escasa estandarización de las metodologías, considerando la heterogeneidad que presentan los suelos, que dificulta la aplicabilidad de los índices de manera estandarizada. Sin embargo, los mismos autores sugieren aplicar los siguientes criterios para determinar los indicadores a evaluar entre ellos: conceptos teóricos, tipo y condición de suelo ideal, disponibilidad de nutrientes, presencia de carbonatos, rendimientos máximos, condiciones climáticas y la experiencia de investigadores locales.

2.7.1 Método de cálculo del ICS

Para el cálculo del ICS debe obtenerse un valor único en cada parámetro a través de un promedio ponderado para cada sistema de manejo evaluado, una vez normalizado los indicadores pasan a una escala entre 0 y 1, representando la más baja y alta condición de calidad del suelo respectivamente, independientemente de los valores individuales de cada indicador (Sarmiento et al., 2018; Estrada et al., 2017; Cantú et al., 2007).

2.7.2 Método SUSS

Uno de los métodos más simples y prácticos para su aplicación es el Sub índice de uso sustentable del suelo (SUSS), Se basa en la normalización de los valores de los diferentes indicadores de calidad del suelo, un método sencillo y de utilidad práctica, propuesta por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012), Su propuesta forma parte de la línea de base del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, para evaluar los impactos causados al recurso suelo. El SUSS, establece sus criterios de interpretación (**Tabla 2**) de la calidad del suelo.

Tabla 2. Rangos de interpretación del método SUSS

Calidad de suelo	Descripción
Buena (0,95 – 1,00)	La calidad es la deseable para llevar a cabo la actividad agrícola.
Aceptable (0,80 – 0,95)	La calidad está cercana a las condiciones deseables. Las variables se alejan un poco de los valores adecuados.
Sensible (0,65 – 0,78)	Los parámetros medios ocasionales se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0,45 – 0,65)	Los indicadores son distantes de los valores deseables.
Pobre (0,00- 0,45)	La calidad para fines agrícolas se encuentra amenazada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables.

Fuente: SAGARPA (2012)

2.7.3. Método ICS de Estrada, Sarmiento y Cantú

Estos autores aplican criterios similares para establecer los indicadores y el umbral calculados a partir de criterios teóricos, tipo de suelo, condiciones de suelo ideal, disponibilidad de nutrientes, presencia de carbonatos, rendimientos máximos, condiciones climáticas y la experiencia de investigadores locales. Finalmente, los valores de ICS se interpretan con la **Tabla 3 y 4**, para determinar la calidad por este método.

Tabla 3. Clases de calidad de Estrada

Clase	Escala
Exceso	1.00 - 1.30
Muy alta calidad	0,80 – 1,00
Alta calidad	0,60 - 0,79
Moderada calidad	0,40-0,59
Baja Calidad	0,20 - 0,39
Muy baja calidad	0,00 - 0,19
Déficit	-1,00 – 0,00

Fuente: Estrada et al. (2017)

Tabla 4. Clases de calidad de Cantú

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

Fuente: Cantú et al. (2007)

2.8. Estado del arte

Se han realizado diversos estudios con relación al tema. A continuación, referenciamos algunas investigaciones relacionadas a la presente investigación:

2.8.1. Antecedentes internacionales

Navarro et al. (2019) en dos oxisoles (Rhodic Hapludox (Rh) y Anionic Acrudox (Aa) y la producción de caña de azúcar en Jaboticabal, São Paulo, Brasil. No encontraron diferencias en MO, IEA, RP, PT, Ma y Mi entre los sistemas de manejo, en estratos de 0.00 a 0.10 y 0.10 a 0.20 m, además se observaron diferencias en el DMP de Rh de 0.00 a 0.10 m y en Aa de 0.10 a 0.20 m y en la DS el estrato de 0.10 a 0.20 m del Aa, lo cual demostró que el uso del suelo altera algunas propiedades físicas, mas no afecta la productividad.

Tofiño et al. (2019), en el departamento del Cesar, Colombia, Evaluó el efecto del herbicida glifosato sobre la fertilidad química y microbiológica del suelo. Encontraron diferencias de rendimiento y respuesta de los indicadores químicos y microbiológicos en función del tratamiento. La aplicación de glifosato en suelo sin mulch generó una disminución del 29% en el rendimiento, asociada a la mayor prevalencia de plagas y enfermedades fúngicas. Concluyen que en lotes de frijol biofortificado con alta presión de la maleza *Cyperus rotundus*, se recomienda el uso de glifosato acompañado de mulch para mantener la productividad en el tiempo.

Jacobi et al. (2018) en las Yungas de La Paz. Identificaron iniciativas y experiencias de recuperación de conocimientos ancestrales del cultivo sostenible de la coca, que integran técnicas de la agroforestería dinámica. Concluye, el cultivo de la coca en agroforestales dinámicos necesita apoyo técnico e institucional en el manejo de los sistemas agroforestales, en la investigación y en la comercialización tanto de la coca agroecológica como otros productos agroforestales.

Arteaga et al. (2016) en el Corregimiento de Obonuco, Municipio de Pasto (Colombia). evaluó algunas características químicas, en siete tipos de uso y manejo del suelo. Los valores mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos para los contenidos de pH, %MO, %CO, N total, P, CIC Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Fe y S, mientras que no se presentaron efectos sobre los contenidos de Al, Mn, B, Zn y Cu. Los mayores valores de %MO, %CO, N total, CIC, Ca^{2+} , Mg^{2+} y S, fueron obtenidos con los tratamientos T3, T4 y T7. Los resultados sugieren a la materia orgánica, como la variable más sensible al efecto del manejo de los suelos.

Ceballos et al. (2010) evaluó el efecto de sistemas de labranzas sobre algunas de las propiedades físicas del suelo. La densidad aparente, conductividad hidráulica y porosidad total, no presentaron diferencias, sin embargo, la penetrabilidad si presentó diferencias para la dirección de surcado, siendo el sistema de siembra a favor de la pendiente el que presentó mayor R_p con relación al sistema en contra de la pendiente. La meso porosidad presentó diferencias estadísticas significativas para la interacción labranzas por dirección de surcado donde la labranza convencional en contra de la pendiente mostró mayores porcentajes de mesoporos.

Alvear et al. (2006), determinaron el efecto de diferentes herbicidas aplicados en cultivos anuales tradicionales sobre las actividades biológicas del suelo. En general, todas las actividades biológicas fueron afectadas negativamente por los distintos tratamientos de herbicidas ($p < 0,05$) en el primer y segundo muestreo respecto al testigo y las actividades enzimáticas fueron también afectadas por el cultivo de cada tratamiento, siendo necesario seguir estudiando la relación entre las actividades enzimáticas y los diferentes manejos agrícolas incluyendo la aplicación de herbicidas.

2.8.2. Antecedentes nacionales y locales

Huamán (2021), en Cora Cora distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado. Evaluó el efecto de sistemas de manejo en la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable (SUSS). Encontró una D_a en un rango ideal y temperatura favorables para el desarrollo de los cultivos. Concluye, que la calidad del suelo en los tres sistemas de manejo evaluados, el sistema agroforestal presenta una calidad sensible (0.68), mientras que el sistema coca (0.16) y bosque (0.12) presentan una calidad pobre. Estos resultados son equivalentes con la clasificación de Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) como alta calidad para el sistema agroforestal (0,60-0,79)y muy baja calidad (0,0-0,19)para el sistema de coca de 10 años de manejo.

Celis et al. (2020) evaluaron el impacto del manejo convencional de *E. coca*, *Theobroma cacao* L. y bosque como referencia, sobre indicadores físicos y químicos del suelo, en Padre Abad región Ucayali-Perú. Los resultados muestran diferencias significativas en la Da y la Rp y en los indicadores químicos pH, MO, K⁺, Ca²⁺, Al³⁺, AC y SAl. Concluyen, que el manejo convencional de *E. coca* afecta severamente los indicadores físicos Da y Rp en ambos estratos evaluados (0,0-0,10 y 0,10-0,20 m) y afecta negativamente sobre los niveles de pH, MO, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y aumenta la compactación del estrato superficial, del Al³⁺ y acidez cambiante, en comparación al bosque.

Alvarado et al. (2020) en Bella Bajo Monzón, realizó la evaluación Ex Post del Proyecto de Inversión Pública (PIP), mejoramiento de las cadenas productivas estrategias (café y cacao) ámbito Bella Bajo Monzón, ejecutado entre 2012-2015. El 100 % de beneficiarios califican en total desacuerdo al proyecto ejecutado, según los criterios de evaluación ex post (pertinencia, eficiencia, eficacia, impactos y sostenibilidad); el cumplimiento de los componentes del proyecto es calificado entre pésimo y regular, generando reducción de sus ingresos, consumo de alimentos, excepto, las mejoras en salud y educación se mantienen y continúan usando los servicios públicos. No existió criterios técnicos agronómicos adecuados, asistencia técnica y fortalecimiento organizacional en asociatividad, aspectos que reflejan descontento social.

Solsol (2018), el distrito de Mariano Dámaso Beraún, Leoncio Prado-Huánuco. Evaluó la recuperación de los suelos degradados ex cicales por procesos naturales. Encontró aumento de la velocidad de infiltración y disminución de la Da, temperatura y la Rp; en los indicadores químicos no encontró diferencias, todos oscilaron de bajo a muy bajo. La calidad del suelo a través del SUSS en los 5 poblados muestra valores entre 0,15 a 0,21 para ex coca de 5 años y entre 0,33 a 0,38 en ex coca de 20 años clasificado como suelos pobres (0,00-0,45); Estos resultados son equivalentes con la clasificación de Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) como muy baja calidad (0,0-0,19) a baja calidad (0,20-0,39) para excoca de 5 años y baja calidad (0,20 - 0,39) para excoca de 20 años de regeneración natural. Concluye que se observa una tendencia de recuperación de la calidad en 20 años de regeneración natural en suelos ex cicales.

Bedoya et al. (2017) explica sobre los agricultores cocaleros del valle de los ríos Apurímac y Ene (VRAE), demuestra que la abundancia de bosques secundarios se debe a la sobreutilización de los suelos donde se cultiva la coca, a la utilización excesiva de insumos modernos o agroquímicos en dichas plantaciones y al manejo tradicional o empírico del cultivo del cacao y otros sembríos transitorios. La alta correlación entre el tamaño del predio y el área

en purmas es un reflejo de la crisis del barbecho en el VRAE. Los factores más importantes de dicha crisis son la intensificación en el cultivo de la coca que degrada el suelo y uso extensivo del suelo sin un cambio tecnológico. Estas llevarían a la destrucción de los bosques, la deforestación y la degradación del suelo.

Chocce (2015), en San José de Villa Vista, distrito de Chungui, provincia La Mar, región Ayacucho. Realizó un análisis del aspectos económico, político, social y cultural de la coca en tiempos de violencia política suscitado en la región Ayacucho. Las funciones socioculturales de la hoja de coca han mostrado cambios, antes de la violencia política se utilizaba como moneda de cambio, chacchado y como medicina andina y en la época post violencia política, las personas migran de la sierra a la selva con una esperanza de superación económica rápida en el cultivo de la hoja de coca en los tiempos post violencia que comprende desde 1992 hasta la actualidad, los campesinos siguen con esa expectativa económica.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El lugar donde se desarrolló la investigación se encuentra en la jurisdicción del poblado de Nuevo Progreso (**Figura 1**), políticamente, el centro poblado pertenece al distrito y provincia de Padre Abad en la región Ucayali. Las áreas de cultivo de *E. coca* son de propiedad del Sr. Rolando Cometivos.

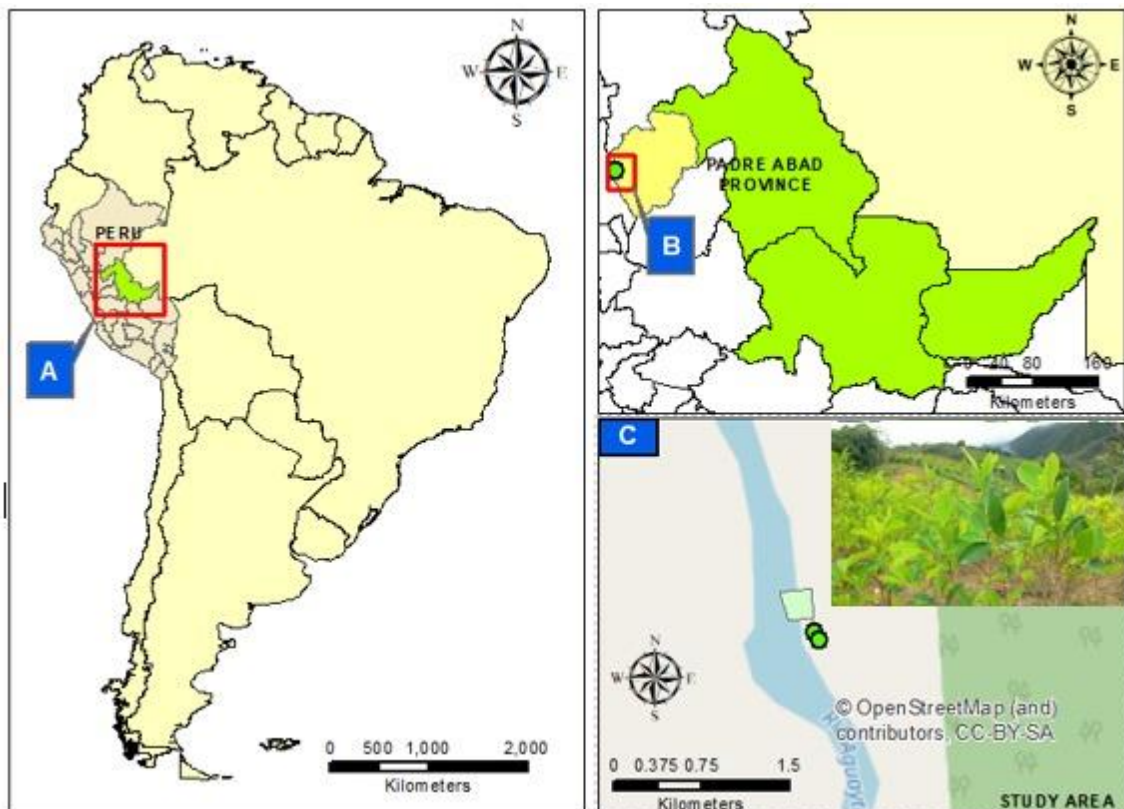


Figura 1. Ubicación del área de estudio

3.2. Características agrológicas del área de estudio

Según Celis et al. (2020) y Castro (2015) la jurisdicción de la provincia de Padre Abad pertenece según la clasificación bioclimática de Holdridge (2001) al ecosistema de bosque muy húmedo - Premontano Tropical (bmh-PT). El área de estudio se encuentra en el flanco oriental del trópico peruano y presenta dos regímenes de humedad, Temporada seca de mayo a octubre y húmeda de noviembre hasta abril, las condiciones climáticas generales que presenta son las siguientes: temperatura media anual es de 26,2 °C, la máxima 26,6 °C y la mínima 25,9 °C, humedad relativa de 84 %, precipitación anual de 2 000 a 4 000 mm y una altitud media del área de 265 msnm. Además, de acuerdo con la clasificación ecogeográfica

planteada por Pulgar (2014), el área pertenece a la ecorregión Omagua o selva baja, teniendo como principal fuente hídrica, el río Aguaytía

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales de campo

Vestuario de campo, balde de plástico capacidad 20 L, bolsas plásticas de 2 Kg de capacidad, etiquetas de papel, papel aluminio, Marcador indeleble, machete, pala recta y botas de goma.

3.3.2. Materiales de laboratorio

Probeta de 100, 500 y 1000 cm³, tubos de ensayo, buretas digitales, tamiz de 5.2 y 0.25 mm de diámetro, papel filtro N° 40, reactivos y matraces de diferentes medidas volumétricas.

3.3.3. Equipos de campo

Teléfono celular Samsung Core A01, GPS Garmin *Map S26*.

3.3.4. Equipos de laboratorio

Balanza gramera, balanza analítica, molino de suelo, estufa, mufla, pH metro, conductímetro, espectro fotómetro AA, agitador magnético, agitador mecánico, centrifuga, y espectro fotómetro UV-VIS,

3.4. Criterio y análisis del estudio

3.4.1. Tipo y nivel de investigación

Aplicada, porque se utilizó los conocimientos actuales correspondiente a las ciencias biológicas y del suelo para encontrar alternativas de solución al problema de la calidad del suelo con manejo convencional de *E. coca*. Corresponde a una investigación descriptiva transversal, porque se evaluó los indicadores de calidad física y química del suelo con técnicas de manejo convencional de *E. coca* de diferentes edades de instalación y regeneración y se comparó con el bosque secundario, como tratamiento de referencia.

3.4.2. Diseño de la investigación

No experimental, descriptiva-comparativa, con ajuste estadístico de diseño completamente aleatorizado (DCA), donde los tratamientos lo constituyen el Manejo

convencional de *E. coca* de 2 y 15 años, ex coca con regeneración natural de 9 años, y bosque secundario como tratamiento control. El área de muestreo fue 1 000 m² como sub parcela en cada área seleccionada, donde se ubicaron puntos aleatoriamente para extraer 08 muestras de suelo por tratamiento.

3.5. Metodología

La investigación realizó la coordinación respectiva con el propietario del fundo, el Sr. Rolando Cometivos Ruiz y registró el manejo aplicado al área de *E. coca*, la edad de las áreas, y el distanciamiento de siembra, entre otros datos. Una vez registrado se realizó el muestreo del suelo en las áreas seleccionadas: coca de 2 y 15 años, área ex cocal de 9 años de regeneración natural y bosque secundario como referencia.

3.5.1. Sobre las áreas de *E. coca*

Se identificó 02 áreas en producción, la primera de 2 años de instalación y la segunda de 15 años, presentan una densidad de siembra de 0,3 m entre planta y 1 m entre fila, además, el manejo aplicado en ambas áreas son: control de malezas a base de aplicación de herbicida glyphosato® 36 % (3-4 L glyphosato ha⁻¹ entre 130 a 160mL/mochila 20 L) con intervalo de aplicación de 60 a 70 días, después de la cosecha se aplica el fertilizante foliar baifolan y a los 30 días de la cosecha se realiza una aplicación de insecticida tifón® (0,1 L/mochila de 20 L) cada trimestre para proteger de los insectos y larvas.

3.5.2. Sobre el bosque secundario (BS)

Se utilizó como tratamiento control o referencia, son áreas adyacentes a los cultivos de hoja de coca y reserva de área boscosa, las especies más comunes son: *Polyscias murrayi* F. Muel (palo lápiz), *Inga ruiziana* G. Don (shimbillo), *Calycophyllum Spruceanum* (Bent.) Hook (capirona), *Uncaria guianensis* (Aubel) J.F.Gmel (uña de gato), *Cecropia membranacea* Trécul (setico), *Ochroma pyramidale* Cav. Ex. Lamb (topa) y una palmera muy común el *Euterpe oleracea* Mart. (huasai), entre otras especies.

3.5.3. Determinación de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo

La evaluación del suelo se realizó siguiendo los siguientes pasos:

a). Determinación del área en estudio

Se seleccionó dos plantaciones activas de *E. coca* con manejo convencional de 2 y 15 años, un área con regeneración natural en donde el CORAH erradico la coca hace 9 años (ex coca) y bosque secundario, en ellos se extrajeron 8 muestras de suelo por cada área.

b). Muestreo y análisis de suelos

En cada área seleccionada previamente se realizó el muestreo, para ello se delimitó una subárea de 1 000 m² dentro de las plantaciones de *E. coca*, ex coca y bosque (tratamientos) y la extracción de muestras (8 muestras por área) basados a los procedimientos de la Soil Survey Staff (2014). La **Tabla 5**, muestra los indicadores físicos y químicos que se evaluaron, los protocolos para su determinación están descritos en Bazán (2017).

Tabla 5. Indicadores evaluados

Indicadores	Método de análisis
Textura	Bouyoucos
Resistencia a la penetrabilidad	Penetrómetro de cono
pH	Electrométrico
MO	Walkley y Black
N	Micro Kjeldahl
P	Olsen modificado-Espectro UV-Vis
K ⁺	
Ca ²⁺	
Mg ²⁺	Acetato de amonio - EAA
% SB	
% AC	
CIC	

Fuente: Elaborado por el autor

3.5.4. Determinación del índice de calidad del suelo (ICS)

Se aplicó el método del Sub índice de uso sustentable del suelo (SUSS) desarrollada por SAGARPA (2012). Además, se utilizó los rangos de valor deseado y de corte de saturación de bases aplicados por Cantú et al (2007). La calidad del suelo se determinó a través de los siguientes cálculos:

a). Sub índice SUSS – SAGARPA (2012)

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

Donde: P es el promedio de los parámetros normalizados, i el indicador analizado y n el número total de indicadores analizados. Además, Para encontrar el SUSS primero se determinó el promedio de los valores normalizados en cada indicador (i).

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

Donde: Rn es el valor del parámetro normalizado, m el número de muestras analizadas, y j es cada muestra de suelo. Finalmente, encontrado el valor de P (2) se calculó el parámetro normalizado (3) de cada indicador (i).

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

Donde: Rn es el resultado normalizado, Vr el valor del indicador, d es el valor deseable del indicador, c el valor de corte del indicador, y j es cada muestra de suelo.

La **Tabla 6**, muestra los rangos de los valores deseables y los valores de corte para el cálculo de cada indicador.

Tabla 6. Parámetros edáficos para determinar el ICS

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor Deseable (d)	Valor de corte (C)
MO	%	MO > 5	0.5
Densidad aparente	G cm ³	Da < 1.1	1.47
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	CE < 1	4.1
pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5
P	ppm	P > 5.5	0
Mg	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Mg > 0.3	0
Ca	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	Ca > 5	0
CIC	Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	CIC > 15	5
N	%	N > 0.2	0.05
Saturación de bases*	%	100	50
Saturación de aluminio**	%	10	50

Fuente: SAGARPA (2012), *Cantú et al. (2007), ** Propuesto por el autor

La determinación de la calidad se realizó según los valores medios finales obtenidos y aplicando los rangos de calidad del SUSS (**Tabla 2**), la clase de calidad de Estrada (**Tabla 3**) y de Cantú (**Tabla 4**), muestran los rangos que determinará la calidad y su interpretación correspondiente.

3.6. Análisis estadístico

El trabajo se ajustó estadísticamente a un DCA, donde los tratamientos fueron áreas con manejo convencional de *E. coca*: coca 2 años de manejo-CO2 (T1), coca 15 años de manejo-CO15 (T2), ex área de coca con 9 años de regeneración natural-EC9 (T3) y bosque secundario-BS (T4), con tamaño de muestra $n= 32$ (8 por tratamiento). Los datos se sometieron al análisis de varianza y prueba post hoc de Tukey ($p < 0,05$) para la comparación de medias entre los indicadores del suelo según tratamientos, y las comparaciones múltiples a través de HSD-Tukey. El análisis estadístico se realizó con el software IBM-SPSS 25.

3.7. Variables

3.7.1. Independiente:

- Sistemas de Manejo convencional de *E. coca*, ex coca y bosque secundario

3.7.2. Dependiente:

- Indicadores físicos y químicos del suelo.
- Índices de calidad del suelo

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto del manejo convencional de *E. coca* sobre indicadores físicos del suelo

La **Tabla 7**, muestra el comportamiento de los indicadores físicos evaluados, las fracciones de arena, arcilla y limo muestran diferencias altamente significativas en todos los casos al igual que la resistencia a la penetrabilidad (Rp).

Tabla 7. Estadística general de indicadores físicos evaluados

Indicador	Tratamiento				Estadísticos	
	BS	EC9	CO2	CO15	SEM	Sig
Arena (%)	43,25±1,58c	38,13±3,97b	47,13±4,22c	23,38±2,67a	10,826	<0,001
Arcilla (%)	28,5±0,93b	29,13±0,99b	22,63±1,60a	22,38±1,41a	1,594	<0,001
Limo (%)	28,25±1,16a	32,63±3,50b	30,25±3,33ab	54,25±2,12c	7,299	<0,001
Textura	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Franco	Franco limoso	---	---
Rp (kg/cm ²)	1,12±0,23a	1,51±0,15b	1,69±0,22b	2,73±0,33c	0,058	<0,001
Clase Rp	Suave	Suave	Suave	Duro		

BS bosque secundario, EC9 excoca de 9 años, CO2 y CO15 coca con 2 y 15 años de manejo, Rp resistencia a la penetración, SEM error estándar de la media, Sig. Significancia, letras diferentes en la misma fila expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), \pm desviación estándar.

Con respecto a la **Tabla 8**, pone en evidencia que la fracción arena y limo en EC9 y CO15 son diferentes al BS, la fracción arcilla en CO2 y CO15 se muestran diferentes al BS y en caso de la Rp todas las áreas de coca y excoca son diferentes al bosque secundario.

Tabla 8. Comparaciones múltiples de indicadores físicos

HSD Tukey				
(I) Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Variable: Arena (%)				
BS	EC9	5,1250*	1,64514	0,021
	CO2	-3,8750	1,64514	0,110
	CO15	19,8750*	1,64514	0,000
Variable: Arcilla (%)				
BS	EC9	-0,6250	0,63122	0,756
	CO2	5,8750*	0,63122	0,000
	CO15	6,1250*	0,63122	0,000
Variable: limo (%)				
BS	EC9	-4,3750*	1,35084	0,015
	CO2	-2,0000	1,35084	0,462
	CO15	-26,0000*	1,35084	0,000
Variable: Rp (kg/cm ²)				
BS	EC9	-,3938*	0,12011	0,014
	CO2	-,5750*	0,12011	0,000
	CO15	-1,6063*	0,12011	0,000

BS bosque secundario, EC9 excoca de 9 años, CO2 y CO15 coca con 2 y 15 años de manejo.

Los indicadores físicos evaluados (**Tabla 7**) fueron la textura y la Rp, encontrándose según la FAO (2009) texturas franco arcilloso para BS y EC9, franco para CO2 y franco limoso para CO15. Además, las fracciones de arena, arcilla y limo muestran diferencias en todos los casos al igual que la Rp, este último, clasificado por Acuña (2020) como suelo suave ($1-2 \text{ Kg/cm}^2$) para BS, EC9 y CO2, y suelo duro ($2-3 \text{ Kg/cm}^2$) para CO15, según el análisis de comparación múltiple HSD-Tukey (**Tabla 8**) todas las áreas de coca y excoca son diferentes al bosque secundario.

Las principales características físicas del suelo que se pueden usar como indicadores son la Rp y la textura (García et al., 2012), por su relación con los procesos de degradación (Camacho et al., 2017; FAO, 2009), con la densidad aparente, la porosidad, la retención hídrica, aireación, drenaje y contenido de MO del suelo (Camacho et al., 2017).

El incremento de la Rp produce cambios en las propiedades físicas del suelo, aumentando la compactación (Orozco et al., 2016), la densidad aparente y reduciendo la porosidad (Demuner et al., 2013). Es un indicador que expresa endurecimiento de la capa superficial (FAO, 2009). La Rp en este trabajo muestra cambios importantes en todas las áreas de coca y excoca (**Tabla 7**), son diferentes al bosque secundario, con una tendencia de incremento sostenido con el tiempo de manejo convencional de la coca (CO15) y una ligera recuperación en área de excoca con 9 años de regeneración natural (EC9), en comparación al bosque secundario (BS), este último, es un comportamiento también observado por Solsol (2018), reducción de la Rp evaluando parcelas de entre 5 y 20 años de regeneración en áreas de excoca.

Resultados similares fueron encontrados por Celis et al. (2020) quienes también evaluaron el área CO15 y reportan la misma clase textural, además, los valores de Rp son más altos (4.26 Kg/cm^2) clasificado como suelo extremadamente duro, la explicación a esta diferencia está relacionada al régimen climático, las evaluaciones de este autor se realizaron entre julio y agosto del 2019, coincide con la época seca en la zona y las evaluaciones de este trabajo se realizó en el mes de marzo del 2022 en plena temporada de lluvias, sin embargo, la tendencia entre las áreas evaluadas es muy similar independientemente de la temporada o régimen en el cual se realizaron ambos trabajos, para este autor el indicador físico más afectado por la coca es la resistencia a la penetrabilidad, mostrando tendencia de incremento para este indicador y un proceso severo de compactación de los suelos.

La dominancia de la fracción limo en CO15 ya es evidenciada por Celis et al. (2020), explican que el manejo convencional de *E. coca* afectan negativamente los indicadores físicos del suelo por: el escaso aporte de residuos, pérdida de cobertura por largos periodos y

alta pluviometría de la zona, generan erosión hídrica; en consecuencia, pérdida de los horizontes superficiales del suelo, que pueden estar alterando la proporción de las diferentes fracciones.

Finalmente, esta explicación a los cambios y tendencias de los indicadores físicos es respaldada por Espinoza et al. (2011) quien afirma que el tipo de degradación dominante es la erosión hídrica que remueve el material superficial y provoca disminución del espesor del horizonte A, la segunda forma de degradación es la compactación. Por lo que, los resultados evidencian cambios negativos en las condiciones físicas que afectaran el crecimiento de las plantas y aumento de la susceptibilidad a la erosión en las áreas de coca evaluadas.

4.2. Efecto del manejo convencional de *E. coca* en indicadores químicos del suelo

La **Tabla 9**, muestra las medias para los diferentes indicadores químicos, también, se observa diferencias altamente significativas en todos los casos, excepto, el K^+ y el tratamiento CO15 presenta los valores más bajos en Ca^{2+} , Mg^{2+} , CIC, SB, y más altos en AC y SAI, mostrando a la coca de 15 años como el tratamiento con los valores medios menos deseables.

Tabla 9. Estadística general de indicadores químicos

Indicador	Tratamiento				Estadísticos	
	BS	EC9	CO2	CO15	SEM	Sig
pH	4,06±0,10a	4,48±0,22b	4,65±0,06b	4,31±0,47ab	0,072	0,001
MO (%)	3,49±0,66b	2,61±0,54a	2,48±0,29a	2,50±0,46a	0,255	0,001
N (%)	0,17±0,03b	0,13±0,03a	0,12±0,02a	0,12±0,02a	0,001	0,001
P (ppm)	3,26±0,14c	2,81±0,12a	2,92±0,37ab	3,16±0,17bc	0,05	0,001
K (ppm)	62,71±1,94a	58,05±7,84a	63,51±1,35a	61,87±3,19a	19,306	0,087
Ca (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	1,10±0,29a	3,25±1,14b	3,60±0,65b	0,89±0,29a	0,475	0,000
Mg (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	0,35±0,09b	0,76±0,23c	0,49±0,12b	0,13±0,02a	0,018	0,000
Al (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	4,52±0,35d	4,05±0,51c	2,37±0,17a	3,31±0,22b	0,116	0,000
CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)	7,87±0,43b	9,04±1,32c	7,53±0,65b	4,93±0,19a	0,597	0,000
SB (%)	18,50±4,21a	43,13±10,40b	54±5,40c	20,75±5,37a	45,942	0,000
AC (%)	81,5±4,21c	56,88±10,40b	46±5,40a	79,25±5,37c	45,942	0,000
SAI (%)	57,63±4,34c	45,63±9,32b	31,75±3,92a	67±4,60d	35,545	0,000

BS bosque secundario, EC9 excoca de 9 años, CO2 y CO15 coca con 2 y 15 años de manejo, SEM error estándar de la media, Sig. Significativo, letras diferentes en la misma fila expresan diferencias estadísticas ($p < 0,05$), \pm desviación estándar, SAI porcentaje de saturación de aluminio.

La **Tabla 10**, muestra las comparaciones múltiples, se observa que para MO, N, Al^{3+} y AC todos los tratamientos EC9, CO2 y CO15 son diferentes al bosque secundario. Además, el P, Ca^{2+} y BC solo EC9 y CO2 son diferentes al BS, y el Mg^{2+} y CIC solo EC9 y

CO15 se muestra distinto que el bosque secundario, este análisis pone en evidencia la diferencias que existen entre los tratamientos según los indicadores evaluados.

Tabla 10. Comparaciones múltiples de indicadores químicos

(I) Tratamiento		Diferencia de	Desv. Error	Sig.
Variable: pH				
BS	EC9	-,4275*	0,13406	0,017
	CO2	-,5975*	0,13406	0,001
	CO15	-0,2550	0,13406	0,250
Variable: MO				
BS	EC9	,8787*	0,25225	0,008
	CO2	1,0100*	0,25225	0,002
	CO15	,9887*	0,25225	0,003
Variable: N				
BS	EC9	,0425*	0,01282	0,013
	CO2	,0500*	0,01282	0,003
	CO15	,0513*	0,01282	0,002
Variable: P				
BS	EC9	,4525*	0,11198	0,002
	CO2	,3462*	0,11198	0,022
	CO15	0,1025	0,11198	0,797
Variable: Ca ²⁺				
BS	EC9	-2,1463*	0,34465	0,000
	CO2	-2,4950*	0,34465	0,000
	CO15	0,2100	0,34465	0,928
Variable: Mg ²⁺				
BS	EC9	-,4100*	0,06758	0,000
	CO2	-0,1338	0,06758	0,220
	CO15	,2200*	0,06758	0,015
Variable: Al ³⁺				
BS	EC9	,4700*	0,17006	0,046
	CO2	2,1475*	0,17006	0,000
	CO15	1,2100*	0,17006	0,000
Variable: CIC				
BS	EC9	-1,1725*	0,38631	0,025
	CO2	0,3350	0,38631	0,822
	CO15	2,9338*	0,38631	0,000
Variable: BC				
BS	EC9	-24,6250*	3,38903	0,000
	CO2	-35,5000*	3,38903	0,000
	CO15	-2,2500	3,38903	0,910
Variable: AC				
BS	EC9	12,0000*	2,98097	0,002
	CO2	25,8750*	2,98097	0,000
	CO15	-9,3750*	2,98097	0,019

BS bosque secundario, EC9 excoca de 9 años, CO2 y CO15 coca con 2 y 15 años de manejo

Se encontró diferencias altamente significativas en todos los indicadores químicos, excepto, el K^+ (**Tabla 9**) y el tratamiento CO15 presenta los valores más bajos en Ca^{2+} , Mg^{2+} , CIC, SB, y más altos en AC y SAl, mostrando a la coca de 15 años como el tratamiento con los valores medios menos deseables.

La materia orgánica (MO), según SAGARPA (2012) y Bazán (2017) presento niveles medios con valores entre 2,48 (CO2) a 3,49 % (BS), los valores más bajos corresponden a las áreas de coca CO2 y CO15. La MO es sin duda un indicador importante por su efecto regulador del aluminio toxico, en la retención de cationes, formación de complejos estables, solubilización y adsorción (Bravo et al., 2014; Cortes et al., 2016), y evita la erosión hídrica de los horizontes superficiales (Verhulst et al., 2015; Espinoza et al., 2011). Los resultados muestran tendencias de pérdida en las áreas en producción de hoja de coca y recuperación en área de exococa con 9 años de regeneración natural, en comparación al BS,

El trabajo de Celis et al., (2020), presenta valores de 0,79 % considerado como niveles pobres de MO en el área de CO15, valor que dista de lo encontrado en este trabajo, nivel medio (2,50 %), como explicar esta diferencia, atribuimos esta diferencia a tres aspectos: *a*) el muestreo en este trabajo se realizó en temporada lluviosa que genera un crecimiento rápido de plantas no deseadas en el área, *b*) el área se encontraba cubierta al 100% de *Axonopus compressus* (torourco), *c*) el área estaba en etapa previa al control de malezas con herbicidas. Por lo tanto, la presencia de esta gramínea es presuntamente la responsable, esta afirmación es respaldada por Navarro et al. (2018), Silva et al. (2015) quienes encontraron altos niveles de MO en áreas de pastos con gramínea, los autores explican que este comportamiento se debe al sistema radicular de las gramíneas, exploran un mayor volumen de suelo en relación a los cultivos anuales y contribuye a elevar los contenidos de MO del suelo, sin embargo, estos autores advierten que este comportamiento no significa que se tenga los mismos efectos sobre otros indicadores de calidad del suelo.

Según SAGARPA (2012) y Bazán (2017) las áreas (**Tabla 9**) presentan un pH fuertemente acido, bajo en P y K^+ , muy bajo a bajo en Ca y Mg, bajo en CIC y SB, y niveles tóxicos en Al^{3+} , AC y SAl. Respecto al pH, los niveles encontrados corresponden a suelos de baja fertilidad con deficiencias de los principales macronutrientes K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , evidenciados en este trabajo, y son condiciones que normalmente se presentan a estos niveles de pH (Rivera et al., 2018; Rosas et al., 2017). Además, el manejo convencional (Celis et al., 2020), la alta pluviometría de la zona y las texturas francas encontradas en las áreas explicarían estos niveles de pH (SAGARPA, 2012; Havlin *et al.*, 1999; Bohn, 1993). Los resultados muestran diferencias, sin embargo, los valores encontrados no cambian de nivel y tampoco son

condiciones favorables para los cultivos. Además, coinciden con los reportes de Celis et al. (2020) y Navarro et al. (2018), quienes encontraron diferencias para este indicador en diferentes sistemas de manejo.

La Figura 2, muestra la tendencia de los parámetros intercambiables del suelo, se observa que el %SB tiende a incrementar en CO2 y a disminuir notablemente en CO15, comportamiento contrario presenta el %AC y %SAI.

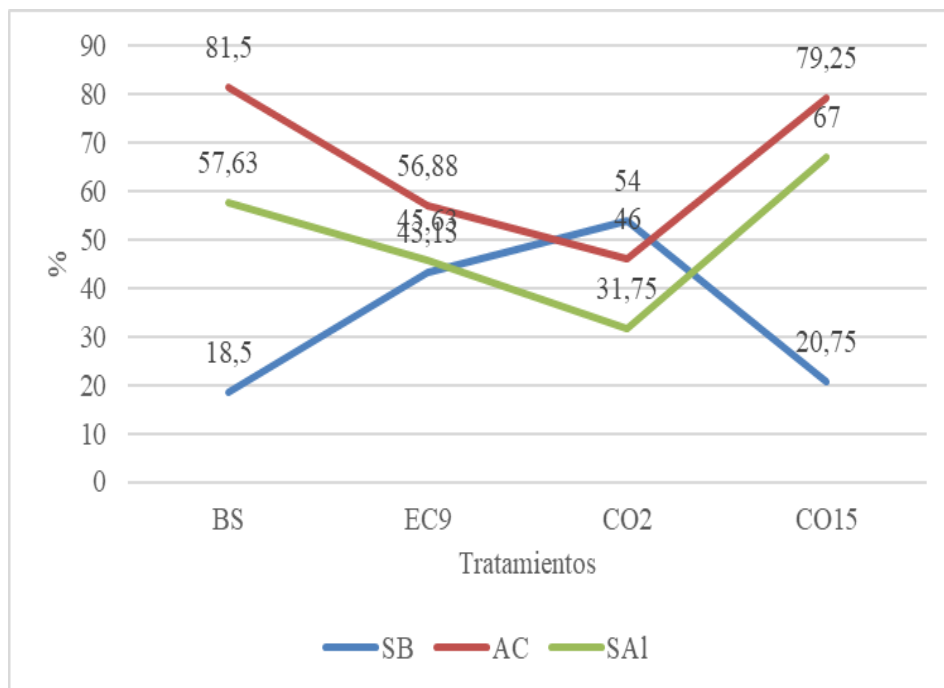


Figura 2. Comportamiento del %SB, %AC y %SAI

Las tendencias mostradas en la **Figura 2**, revelan el efecto que tiene la preparación de terreno, rozo, tala y quema, este último, aporta gran cantidad de bases cambiables en forma de óxidos que incrementa los niveles de macronutrientes (Acuña, 2021) Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ que determinan la SB, razón por el cual CO2 presenta los mayores porcentajes de SB, para decrecer en CO15 a valores similares al bosque secundario producto del manejo convencional. Además, la tendencia mostrada en la **Figura 2**, también puede explicarse por: a) la relación inversamente proporcional entre la SB, AC y a la SAI, b) por procesos intensos de alteración química y lavado de bases que favorecen la solubilidad del Al, generados por el clima (May, 2015), c) los suelos fuertemente ácidos de las áreas evaluadas (Havlin *et al.*, 1999), d) baja capacidad de intercambio de cationes del suelo (Bohn, 1993). Estas condiciones provocan incremento de la AC y la SAI, tal como se observa en el tratamiento CO15 (**Tabla 9** y **Figura 2**).

En general, el manejo convencional de la *E. coca* evidencia tener efectos positivos significativos sobre los niveles de pH, MO, N, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, con disminución de Al³⁺, %AC y %SAI, al inicio de la instalación del cultivo (CO2), presumiblemente por efectos de la quema (Acuña, 2021), sin embargo, en el tiempo (CO15) presenta efectos negativos sobre los macronutrientes e incrementos de Al³⁺, %AC y %SAI, atribuidos al uso excesivo de herbicidas, insecticidas, extracción de la hoja de coca (Celis et al., 2020), sumado a los efectos de las altas precipitaciones de la zona y suelos fuertemente ácidos (May, 2015; Havlin *et al.*, 1999), que provoca la degradación del suelo a largo plazo.

4.3. Calidad del suelo a través de los índices de calidad ICS

La **Tabla 11**, expone con claridad los valores del ICS para cada tratamiento, clasificándolos como suelo pobre a todos los tratamientos según SAGARPA (2012), sin embargo, Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) lo clasifican como baja calidad al tratamiento BS, EC9 y CO2, y de muy baja calidad al tratamiento CO15.

Tabla 11. Clases de ICS según tratamiento

Características del suelo		Criterios del SUSS		Rn según tratamiento e indicador evaluado							
Indicador	Unidad	Deseable	Corte	BS	Rn	EC9	Rn	CO2	Rn	CO15	Rn
Rp	g/cm ³	1	4	1,12	0,88	1,51	0,49	1,69	0,31	2,73	-0,73
SB	%	100	50	18,5	-0,63	43,13	-0,14	54	0,08	20,75	-0,59
SAI	%	10	50	57,63	-0,19	45,63	0,11	31,75	0,46	67	-0,43
pH		7	5	4,06	-0,47	4,48	-0,26	4,65	-0,18	4,31	-0,35
P	ppm	9	0,1	3,26	0,36	2,81	0,30	2,92	0,32	3,16	0,34
MO	%	5	0,5	3,49	0,66	2,61	0,47	2,48	0,44	2,5	0,44
N	%	0,2	0,05	0,17	0,80	0,13	0,53	0,12	0,47	0,12	0,47
Ca	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0	1,1	0,12	3,25	0,36	3,6	0,40	0,89	0,10
Mg	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0	0,35	0,12	0,76	0,25	0,49	0,16	0,13	0,04
CIC	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5	7,87	0,29	9,04	0,40	7,53	0,25	4,93	-0,01
ICS según tratamiento					0,20		0,29		0,32		0,05
Clase de ICS-SAGARPA (2012)					Pobre		Pobre		Pobre		Pobre
Clase de ICS- Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007)					Baja calidad (0,20-0,39)					Muy baja calidad (<0,19)	

El uso de indicadores de calidad es una herramienta de medición para generar información y evaluar en el tiempo los potenciales efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo (García et al., 2012) y es la base para generar información integral a través de los

índices de calidad del suelo “ICS”. Los ICS incluyen variables que permiten evaluar, aplicando principios estadísticos (Sarmiento et al., 2018) la condición del suelo, y ponen en evidencia los efectos del manejo sobre la calidad y la tendencia que tienen las prácticas agrícolas sobre la degradación (Estrada et al., 2017; Prieto et al., 2013; Cantú et al., 2007).

Los resultados (**Tabla 11**), muestran clara tendencia de degradación de la calidad con el manejo convencional del cultivo de la hoja de coca en el tiempo, según SAGARPA (2012) la calidad del suelo para fines agrícolas se encuentra amenazada y los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables, en particular el área de coca con 15 años de manejo convencional (CO15), pasando de un nivel de baja calidad a muy baja calidad (BS a CO15). Resultados similares fueron encontrados por Solsol (2018) en suelos de excoca de 5 años reporta suelos de muy baja calidad, también, Huamán (2021) encontró muy baja calidad (0,16) para el sistema de coca de 10 años de manejo.

El cultivo de la *E. coca* es una planta robusta, de mantenimiento mínimo, adapta a cualquier método y bajo costo de producción, renovación prolongada y ciclos cortos de cosecha permanente (Barrientos & Schug, 2006), es una amenaza para los ecosistemas, la biodiversidad y las prácticas tradicionales como rotación y diversificación de cultivos (Jacobi et al., 2018). Así, Celis et al. (2020) demostró que el manejo convencional intensifica la degradación fisicoquímica del suelo, y no sería el único problema llevar al suelo a un nivel de muy baja calidad (0.05 de ICS en CO15), también, las áreas excoca presentan una lenta recuperación por regeneración natural, más de 20 años según Solsol (2018). Finalmente, las investigaciones consultadas en este trabajo advierten que el cultivo de *E. coca* puede generar colonización no planificada (Torres, 2012), violencia y más pobreza (Chocce, 2015). A pesar de la intervención del estado, en el caso peruano, desarrollando proyectos alternativos al cultivo ilícito en estas zonas, no han generado las mejoras socioeconómicas, traduciéndose en descontento social (Alvarado et al., 2020).

V. CONCLUSIÓN

1. Los indicadores físicos evaluados son la textura y la Rp, encontrándose texturas franco arcilloso para BS y EC9, franco para CO2 y franco limoso para CO15. Además, las fracciones de arena, arcilla y limo muestran diferencias en todos los casos al igual que la Rp, este último, clasificado como suelo suave para BS, EC9 y CO2 y suelo duro para CO15, según el análisis de comparación múltiple HSD-Tukey las áreas de coca y excoca son diferentes al bosque secundario.
2. Los indicadores químicos presentan diferencias altamente significativas en todos los casos, excepto potasio, y el tratamiento CO15 presenta los valores más bajos en Ca^{2+} , Mg^{2+} , CIC, SB, y más altos en AC y SAl. Los suelos presentan pH fuertemente ácido, niveles bajo en P y K^+ , muy bajo a bajo en Ca^{2+} y Mg^{2+} , bajo en CIC y SB, y niveles tóxicos en Al^{3+} , AC y SAl. Además, inicialmente (CO2) tiene efectos positivos sobre los niveles de pH, MO, N, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , con disminución de Al^{3+} , %AC y %SAl, además, en el tiempo (CO15) presenta efectos negativos sobre los macronutrientes e incrementos de Al^{3+} , %AC y %SAl.
3. Los índices de calidad del suelo “ICS”, clasifican a las áreas evaluadas como baja calidad al tratamiento BS, EC9 y CO2 y de muy baja calidad al tratamiento CO15, calidad del suelo está amenazada y los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables (CO15). En general, los resultados evidencian cambios negativos en indicadores fisicoquímicos que provoca disminución de la calidad, que paso de niveles bajo a muy bajos en 15 años de manejo de la *E. coca*.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. No aplicar el manejo convencional en la producción de *E. coca* por los cambios negativos en indicadores fisicoquímicos, que provoca disminución de la calidad del suelo en el tiempo.
2. Desarrollar investigaciones en áreas de excoca con diferentes edades para determinar el tiempo que tarda la recuperación de un suelo, ya que los resultados de este trabajo muestran una recuperación importante en 09 años de regeneración natural (EC9).
3. Diseñar tecnologías, con aplicación de especies de rápido crecimiento y aporte de nitrógeno, aplicación de EM u otra técnica para ayudar al proceso de regeneración y recuperación del suelo.
4. Aplicar métodos de valoración económica y ambiental, para valorar en el tiempo la pérdida económica como consecuencia de la degradación del suelo en áreas de producción de hoja de *E. coca*.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, G. (2021). Indicadores fisicoquímicos del suelo con manejo tradicional de cultivos en la comunidad nativa de Chambira Picota- San Martín, 2019. [Tesis posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1867/TS_GAN_2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Aguado, L. G., Etchevers, J. D., Hidalgo, M. C., Galvis, S. A., & Aguirre, G. A. (2002). Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia*, 36(01), 11-21. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236102>
- Alvarado, Y., Ferrer, R. S., & Florida, N. (2020). Evaluación ex post al proyecto productivo alternativo de Bella Bajo Monzón. *CIENCIA UNEMI*, 13(34), 47-58. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss34.2020pp47-58p>
- Alvear Z, M., López, E R., Rosas, G. A. & Espinoza, N. N. (2006). Efecto de la Aplicación de Herbicidas en Condiciones de Campo Sobre Algunas Actividades Biológicas. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 6(1), 64-76. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912006000100007>
- Ahmed, A., Aref, I., & Alshahrani, T. (2020). Investigating the variations of soil fertility and *Sorghum bicolor* L. physiological performance under plantation of some *Acacia* species. *Plant, Soil and Environment*. 66(1): 33-40. <https://doi.org/10.17221/449/2019-PSE>
- Arteaga, J., Navia, J. & Castillo, J. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Rev. Cienc. Agr.* 33(2), 62-75. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.53>.
- Barrientos, J. C., & Schug, W. (2006). La decisión de los agricultores del área tropical de Cochabamba (Bolivia) de cultivar coca en lugar de los productos alternativos recomendados por el Estado. *Agronomía Colombiana*. 24(1), 147-157. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20020>
- Bazán, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Repositorio INIA, http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/BazanManual_de_procedimientos_de_los.pdf

- Bedoya, G. E., Eduardo, A. C. & Burneo, Z. (2017). Una agricultura insostenible y la crisis del barbecho: el caso de los agricultores del valle de los ríos Apurímac y Ene, VRAE. *ANTHROPOLOGICA*, 35(38), 211-240. <https://doi.org/10.18800/anthropologica.201701.008>
- Bernex, N. (2009). El impacto del narcotráfico en el medio ambiente; Los cultivos ilícitos de coca, un crimen contra los ecosistemas y la sociedad. *Mapa del narcotráfico en el Perú*, Parte I, 83-98. Recuperado de http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/39934/4_impacto_medioambiente.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Bogunović I., Kovács P.G., Đekemati I., Kisić I., Balla I., Birkás M. (2019). Long-term effect of soil conservation tillage on soil water content, penetration resistance, crumb ratio and crusted area. *Plant, Soil and Environment*. 65(9), 442–448. <https://doi.org/10.17221/249/2019-PSE>
- Bohn, H. L., McNeal, B. L., & O’Conor, G.A. (1993). Química del suelo. Editorial Limusa. 1º Edición. México. pp 363.
- Bravo, R., Arboleda, P. & Martín, P. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia. *Acta Agronómica*, 63(02), 164-174. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.39569>
- Camacho, T. J., Forero, C. N., Ramírez, L. L. & Rubiano, Y. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1),5-18. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiviano, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia Suelo*. 25: 173-178
- Castro, C. (2015). Evaluación de la fenología reproductiva y dinámica de producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN–51, en el distrito de Irazola. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]. Repositorio UNIA. <http://repositorio.unia.edu.pe/handle/unia/90>

- Ceballos, D. V., Hernández I. O. & Vélez L. J. (2010). Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas en un Andisol del departamento de Nariño. *Revista de Agronomía*, 27(1), 40-48. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5104154.pdf>
- Celis, R., Florida, N., & Rengifo, A. (2020). Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao . *CIENCIA UNEMI*, 13(33), 1-9. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss33.2020pp1-9p>
- Chocce, F. D. (2015). Funciones de la hoja de coca durante el proceso de violencia política en el centro poblado de san José de villa vista, distrito de Chungui, provincia La Mar, región Ayacucho. [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP, <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/87/T363-CH.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortes, P., Bravo, R., Martin, P. & Menjivar, F. (2016). Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agronómica* 65(3): 232-238
- Cunha, F. V. Da, Pereira, M. G., Leles, P. S. dos S., & Abel, E. L. da S. (2018). Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba - MG. *Ciência Florestal*, 28(1), 13–24. <https://doi.org/10.5902/1980509831569>
- Demuner, M. G., Cadena, Z. M., & Campos, M. S. (2013). Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1): 68-71. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000500012&lng=es&tlng=es
- Devine, G. J., Eza, D., Oigusuku, E. & Furlong, M. J. (2008). Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 25(1): 74-100
- Espinosa, M., Andrade, E., Rivera, P., & Romero, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*. 53 (4), 77-88. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40721572006>
- Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J. J., Navarro, H., & Etchevers, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>

- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XLI(2), 51-57. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>
- Florida, N., López, C. & Pocomucha, V. (2012). Efecto del herbicida paraquat y glifosato en propiedades del suelo que condicionan el desarrollo de bacterias y fungi. *RevIA.*;2:35-43.
- García, Y., Ramírez, W. & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Gutiérrez, R., Canal, D. & Ávila, F. (2018). Cultivos de coca en Colombia: impactos socio-ambientales y política de erradicación. *ELEMENTA, Consultoría en Derechos*. <http://fileserv.idpc.net/library/Capitulo%204.pdf>
- Havlin, J.L. et al. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Prentice Hall. New Jersey, USA. 499 p.
- Huamán, J. H. (2021). Influencia de los sistemas de uso en la calidad de suelo sector Cora Cora distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2034>
- Jacobi, J., Lohse, L. & Milz, J. (2018). El cultivo de la hoja de coca en sistemas agroforestales dinámicos en los Yungas de La Paz. *ACTA NOVA*, 8(4): 604 – 630. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000200008&lng=es&nrm=iso
- López, A. (2018). Ilusiones defraudadas: auge y caída del comercio legal de coca y cocaína en los países andinos *Anuario Colombiano de Historia Social y de la Cultura* 45(2), 233-260. <https://dx.doi.org/10.15446/achsc.v45n2.71033>
- Machado, F. & Mielniczuk, J. (2009). Revisão de literatura uma visão sobre qualidade do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*. 33: 743-755. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000400001
- Meza, M., Castro, C., Pereira, K. & Puga, G. (2017). Indicadores para el monitoreo de la calidad del suelo en áreas periurbanas. valle de Quillota, cuenca del Aconcagua, Chile. *Interciencia*, 42(8), 494-502. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/494.pdf>

- Navarro, V. M., Florida, R. N. & Navarro, V. L. (2019). Atributos físicos y materia orgánica de oxisols en sistemas de producción de caña de azúcar. *Revista De Investigaciones Altoandinas* 21(2), 89 – 99. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.453>
- Navarro, V. L., Florida, R. N. & Navarro, V. M. (2018). Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso. *Livestock Research for Rural Development*. 30, Article #137. <http://www.lrrd.org/lrrd30/8/nelino30137.html>
- Navarro, B. & Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 487p.
- Ocampo, B. Y. (2016). *Sembrando coca y cosechando plata: economía familiar cocalera en el pueblo Awá de Ricaurte Colombia*. [Tesis postgrado. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales] Repositorio Flacso. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec:8080/bitstream/10469/8156/2/TFLACSO-2016YMOB.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos 4^o edición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Pedemonte, C. F. (2017). *Problemática del uso de glifosato*. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3011>
- Pichardo, G. B. (2006). La revolución verde en México. *Agraria, São Paulo*, 4(1), 40-68. Recuperado de <https://www.revistas.usp.br/agraria/article/download/121/121/0>
- Prieto, J., Prieto, F., Acevedo, O. A., & Méndez, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ics) Cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 83-91. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43726204013>
- Pulgar, V. J. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis (Nova Série)* 3: 1-20. <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Raffo, L. L., Castro, J. A. & Díaz, E. A. (2016). Los efectos globo en los cultivos de coca en la Región Andina (1990-2009) *Apuntes del CENES*, 35(61), 207-236. www.scielo.org.co/pdf/cenes/v35n61/v35n61a08.pdf

- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. RIC. 4(Nº especial), 101-105.
- Rosas, P. G., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742
- Sarmiento, E., Fandiño, S., & Gómez, L. (2018). Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática. *Ecosistemas*. 27(3), 130-139. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- SAGARPA. (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo*. Recuperado de https://www.fao-evaluacion.org.mx/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf
- Silva, B. C., Teixeira, R. B., Wendling, B., & Alves, C. D. (2015). Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. *Rev. Ambient. Água*. 10(01), 660-675. <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n3/1980-993X-ambiagua-10-03-00660.pdf>
- Solsol, E. (2018). La recuperación de suelos degradados ex cacaos por procesos naturales en periodos de abandono en 5, 10, 15, 20 años en el distrito de Mariano Dámaso Beraun-2018. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1468/SRE_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Stehlíková I., Madaras M., Lipavský J., Šimon T. (2016): Study on some soil quality changes obtained from long-term experiments. *Plant, Soil and Environment*. 62(2), 74–79. <https://doi.org/10.17221/633/2015-PSE>
- Téllez, J., & Cote, M. (2005). Efectos toxicológicos y neuropsiquiátricos producidos por consumo de cocaína. *Rev Fac Med Univ Nac Colomb*. 53(1), 10-26. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v53n1/v53n1a03.pdf>
- Tofiño, R. A., Carbone, M. R., Melo, R. A. & Merini, L. J. (2019). Efecto del glifosato sobre la microbiota, calidad del suelo y cultivo de frijol biofortificado en el departamento del Cesar, Colombia. *Rev Argent Microbiol*. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.01.006>

- Torres, M. C. (2012). Coca, política y estado el caso de Putumayo. [Tesis postgrado. Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL, <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9902>
- Verhulst, N., François, I. & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-CIMMYT. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QY2016100045>

ANEXOS

Análisis estadístico general

Tabla 12. Análisis de varianza para el indicador arena

Variable dependiente: Arena					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2597,844 ^a	3	865,948	79,989	0,000
Intersección	46132,031	1	46132,031	4261,268	0,000
Tratamiento	2597,844	3	865,948	79,989	0,000
Error	303,125	28	10,826		
Total	49033,000	32			
Total, corregido	2900,969	31			

a. $R^2=0,896$ (R^2 ajustada = 0,884)

Tabla 13. Análisis post-hoc Tukey para el indicador arena

HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
CO15	8	23,38		
EC9	8		38,13	
BS	8			43,25
CO2	8			47,13
Sig.		1,00	1,00	0,11

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.
b. Alfa = ,05.

Tabla 14. Análisis de varianza para el indicador arcilla

Variable dependiente: Arcilla					
2	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	320,594 ^a	3	106,865	67,052	0,000
Intersección	21063,781	1	21063,781	13216,490	0,000
Tratamiento	320,594	3	106,865	67,052	0,000
Error	44,625	28	1,594		
Total	21429,000	32			
Total, corregido	365,219	31			

a. $R^2=0,878$ (R^2 ajustada = 0,865)

Tabla 15. Análisis post-hoc Tukey para el indicador arcilla

HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
CO15	8	22,375	
CO2	8	22,625	
BS	8		28,50
EC9	8		29,125
Sig.		0,979	0,756

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.
b. Alfa = ,05.

Tabla 16. Análisis de varianza para el indicador limo

Variable dependiente: Limo					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3496,844 ^a	3	1165,615	159,693	0,00
Intersección	42267,781	1	42267,781	5790,815	0,00
Tratamiento	3496,844	3	1165,615	159,693	0,00
Error	204,375	28	7,299		
Total	45969,000	32			
Total, corregido	3701,219	31			

a. $R^2 = 0,945$ (R^2 ajustada = 0,939)

Tabla 17. Análisis post-hoc Tukey para el indicador limo

HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
BS	8	28,250		
CO2	8	30,250	30,250	
EC9	8		32,625	
CO15	8			54,25
Sig.		0,462	0,314	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.
b. Alfa = 0,05.

Tabla 18. Análisis de varianza para el indicador Rp

Variable dependiente: Rp					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	11,264 ^a	3	3,755	65,073	0,00
Intersección	99,405	1	99,405	1722,764	0,00
Tratamiento	11,264	3	3,755	65,073	0,00
Error	1,616	28	0,058		
Total	112,285	32			
Total, corregido	12,880	31			

a. $R^2 = 0,875$ (R^2 ajustada = 0,861)

Tabla 19. Análisis post-hoc Tukey para el indicador Rp

HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
BS	8	1,1188		
EC9	8		1,5125	
CO2	8		1,6937	
CO15	8			2,7250
Sig.		1,000	,446	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.

b. Alfa = ,05.

Tabla 20. Análisis de varianza para el indicador pH

Variable dependiente: pH					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,562 ^a	3	0,521	7,240	0,001
Intersección	612,850	1	612,850	8525,127	0,000
Tratamiento	1,562	3	0,521	7,240	0,001
Error	2,013	28	0,072		
Total	616,424	32			
Total, corregido	3,574	31			

a. R al cuadrado = 0,437 (R al cuadrado ajustada = 0,377)

Tabla 21. Análisis post-hoc Tukey para el indicador pH

HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
BS	8	4,056	
CO15	8	4,311	4,311
EC9	8		4,484
CO2	8		4,654
Sig.		0,250	0,073

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00.

b. Alfa = 0,05.

Tabla 22. Análisis de varianza para el indicador MO

Variable dependiente: MO					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5,599 ^a	3	1,866	7,333	0,001
Intersección	245,644	1	245,644	965,150	0,000
Tratamiento	5,599	3	1,866	7,333	0,001
Error	7,126	28	0,255		
Total	258,369	32			
Total, corregido	12,726	31			

a. $R^2 = 0,44$ (R^2 ajustada = 0,38)

Tabla 23. Análisis post-hoc Tukey para el indicador MO

HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
CO2	8	2,4800	
CO15	8	2,5013	
EC9	8	2,6113	
BS	8		3,49
Sig.		0,953	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00.

b. Alfa = 0,05.

Tabla 24. Análisis de varianza para el indicador N

Variable dependiente: N					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,014 ^a	3	0,005	7,165	0,001
Intersección	0,608	1	0,608	924,214	0,000
Tratamiento	0,014	3	0,005	7,165	0,001
Error	0,018	28	0,001		
Total	0,640	32			
Total, corregido	0,033	31			

a. $R^2 = 0,434$ (R^2 ajustada = 0,374)

Tabla 25. Análisis post-hoc Tukey para el indicador MO

HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
CO15	8	0,123	
CO2	8	0,124	
EC9	8	0,131	
BS	8		0,174
Sig.		0,903	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 26. Análisis de varianza para el indicador P

Variable dependiente: P					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,057 ^a	3	0,352	7,023	0,001
Intersección	295,427	1	295,427	5890,401	0,000
Tratamiento	1,057	3	0,352	7,023	0,001
Error	1,404	28	0,050		
Total	297,888	32			
Total, corregido	2,461	31			

a. $R^2 = 0,429$ (R^2 ajustada = 0,368)

Tabla 27. Análisis post-hoc Tukey para el indicador P

HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
EC9	8	2,8112		
CO2	8	2,9175	2,9175	
CO15	8		3,1613	3,1613
BS	8			3,2637
Sig.		0,779	0,154	0,797

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.

b. Alfa = 0,05.

Tabla 28. Análisis de varianza para el indicador K

Variable dependiente: K					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	140,403 ^a	3	46,801	2,424	0,087
Intersección	121179,645	1	121179,645	6276,936	0,000
Tratamiento	140,403	3	46,801	2,424	0,087
Error	540,555	28	19,306		
Total	121860,603	32			
Total, corregido	680,958	31			

a. $R^2 = 0,206$ (R^2 ajustada = 0,121)

Tabla 29. Análisis de varianza para el indicador Ca

Variable dependiente: Ca					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	47,732 ^a	3	15,911	33,487	0,000
Intersección	156,512	1	156,512	329,409	0,000
Tratamiento	47,732	3	15,911	33,487	0,000
Error	13,304	28	0,475		
Total	217,548	32			
Total, corregido	61,036	31			

a. $R^2 = 0,782$ (R^2 ajustada = 0,759)

Tabla 30. Análisis post-hoc Tukey para el indicador Ca

HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
CO15	8	0,8938	
BS	8	1,1037	
EC9	8		3,2500
CO2	8		3,5988
Sig.		0,928	0,744

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05.

Tabla 31. Análisis de varianza para el indicador Mg

Variable dependiente: Mg					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,665 ^a	3	0,555	30,389	0,00
Intersección	6,047	1	6,047	330,983	0,00
Tratamiento	1,665	3	0,555	30,389	0,00
Error	0,512	28	0,018		
Total	8,224	32			
Total, corregido	2,177	31			

a. $R^2 = 0,765$ (R^2 ajustada = 0,740)

Tabla 32. Análisis post-hoc Tukey para el indicador Mg

HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
CO15	8	0,1338		
BS	8		0,3538	
CO2	8		0,4875	
EC9	8			0,7637
Sig.		1,000	0,220	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.

b. Alfa = 0,05.

Tabla 33. Análisis de varianza para el indicador AI

Variable dependiente: AI					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	21,075 ^a	3	7,025	60,726	0,00
Intersección	405,698	1	405,698	3507,057	0,00
Tratamiento	21,075	3	7,025	60,726	0,00
Error	3,239	28	0,116		
Total	430,011	32			
Total, corregido	24,314	31			

a. $R^2 = 0,867$ (R^2 ajustada = 0,853)

Tabla 34. Análisis post-hoc Tukey para el indicador AI

HSD Tukey ^{a,b}					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
CO2	8	2,3700			
CO15	8		3,3075		
EC9	8			4,0475	
BS	8				4,5175
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.
b. Alfa = 0,05.

Tabla 35. Análisis de varianza para el indicador CIC

Variable dependiente: CIC					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	71,962 ^a	3	23,987	40,183	,000
Intersección	1725,047	1	1725,047	2889,748	,000
Tratamiento	71,962	3	23,987	40,183	,000
Error	16,715	28	,597		
Total	1813,724	32			
Total, corregido	88,677	31			

a. $R^2 = 0,812$ (R^2 ajustada = 0,791)

Tabla 36. Análisis post-hoc Tukey para el indicador CIC

HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
CO15	8	4,9325		
CO2	8		7,5313	
BS	8		7,8663	
EC9	8			9,0388
Sig.		1,000	0,822	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 37. Análisis de varianza para el indicador SB

Variable dependiente: SB					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7192,344 ^a	3	2397,448	52,184	0,000
Intersección	37196,281	1	37196,281	809,636	0,000
Tratamiento	7192,344	3	2397,448	52,184	0,000
Error	1286,375	28	45,942		
Total	45675,000	32			
Total, corregido	8478,719	31			

a. R² = 0,848 (R² ajustada = 0,832)

Tabla 38. Análisis post-hoc Tukey para el indicador SB

HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
BS	8	18,5000		
CO15	8	20,7500		
EC9	8		43,1250	
CO2	8			54,0000
Sig.		,910	1,000	1,000

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.

b. Alfa = ,05.

Tabla 39. Análisis de varianza para el indicador AC

Variable dependiente: AC					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7192,344 ^a	3	2397,448	52,184	0,000
Intersección	138996,281	1	138996,281	3025,475	0,000
Tratamiento	7192,344	3	2397,448	52,184	0,000
Error	1286,375	28	45,942		
Total	147475,000	32			
Total, corregido	8478,719	31			

a. $R^2 = 0,848$ (R^2 ajustada = 0,832)

Tabla 40. Análisis post-hoc Tukey para el indicador AC

HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
CO2	8	46,0000		
EC9	8		56,8750	
CO15	8			79,2500
BS	8			81,5000
Sig.		1,000	1,000	0,910

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00

b. Alfa = 0,05.

Tabla 41. Análisis de varianza para el indicador AC

Variable dependiente: SAI					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5586,750 ^a	3	1862,250	52,392	0,00
Intersección	81608,000	1	81608,000	2295,930	0,00
Tratamiento	5586,750	3	1862,250	52,392	0,00
Error	995,250	28	35,545		
Total	88190,000	32			
Total, corregido	6582,000	31			

a. $R^2 = 0,849$ (R^2 ajustada = 0,833)

Tabla 42. Análisis post-hoc Tukey para el indicador SAI

HSD Tukey ^{a,b}					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
CO2	8	31,7500			
EC9	8		45,6250		
BS	8			57,6250	
CO15	8				67,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,00					
b. Alfa = 0,05					

Trabajos de campo**Figura 3.** Manejo convencional de *E. coca* (CO15)



Figura 4. Muestreo de suelos en *E. coca* (CO15)



Figura 5. Muestreo de suelos en excoca (EC9)



Figura 6. Muestreo de suelos en *E. coca* de 2 años (CO2)



Figura 7. Muestreo de suelos en bosque secundario (BS)

Reporte de análisis de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		ELIZABETH ENCARNACION PURI																		
N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR	NOMBRE DE LA PARCELA	AREA (Has)	CULTIVO ANTERIOR	CULTIVO ACTUAL	RENDIMIENTO (kg/ha)	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm)	DENSIDAD DE SIEMBRA	EDAD DEL CULTIVO (AÑOS)	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)				
														LATITUD	LONGITUD					
N°	CODIGO DEL LABORATORIO	REFERENCIA	ANÁLISIS MECÁNICO			PH	M.O. %	N %	P ppm	K disponible ppm	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg				CICE	%	%	%	
			Arena %	Arcilla %	Limo %							Ca	Mg	K	Na					AI
1	S0199-1	UCAYALI	PADRE ABAD																	
1	S0199-1	COCAL DE 2 AÑOS	41	24	35	4.66	2.28	0.11	3.13	64.37		4.14	0.62		2.47	0.63	7.86	61	39	31
2	S0199-2	COCAL DE 2 AÑOS	41	24	35	4.67	2.81	0.14	3.32	62.82		4.13	0.46		2.59	0.91	8.10	57	43	32
3	S0199-3	COCAL DE 2 AÑOS	51	20	29	4.66	2.72	0.14	2.66	62.87		3.04	0.38		2.44	0.92	6.78	50	50	36
4	S0199-4	COCAL DE 2 AÑOS	46	22	32	4.71	2.55	0.13	2.56	63.88		3.50	0.54		2.37	1.33	7.74	52	48	31
5	S0199-5	COCAL DE 2 AÑOS	47	24	29	4.66	2.02	0.10	2.66	62.79		3.54	0.53		2.38	1.32	7.77	52	48	31
6	S0199-6	COCAL DE 2 AÑOS	51	22	27	4.72	2.37	0.12	2.47	61.28		4.55	0.59		2.09	1.12	8.36	62	38	25
7	S0199-7	COCAL DE 2 AÑOS	49	24	27	4.60	2.81	0.14	3.41	64.38		3.35	0.26		2.16	1.34	7.10	51	49	30
8	S0199-8	COCAL DE 2 AÑOS	51	21	28	4.55	2.28	0.11	3.13	65.71		2.54	0.52		2.46	1.02	6.54	47	53	38
9	S0200-1	BOSQUE	45	28	27	4.15	4.04	0.20	3.32	63.63		1.42	0.31		4.89	2.11	8.73	20	80	56
10	S0200-2	BOSQUE	45	28	27	4.04	3.86	0.19	3.22	63.99		0.86	0.31		4.21	2.29	7.68	15	85	55
11	S0200-3	BOSQUE	42	28	30	4.05	3.60	0.18	3.13	64.42		1.45	0.39		4.17	2.03	8.04	23	77	52
12	S0200-4	BOSQUE	43	28	29	4.21	4.30	0.22	3.23	62.40		1.30	0.48		4.87	1.13	7.78	23	77	63
13	S0200-5	BOSQUE	43	28	29	4.01	3.25	0.16	3.45	63.89		0.95	0.42		4.04	1.96	7.38	19	81	55
14	S0200-6	BOSQUE	45	28	27	3.86	3.07	0.15	3.03	61.24		0.91	0.33		4.49	2.01	7.74	16	84	58
15	S0200-7	BOSQUE	41	30	29	4.04	2.20	0.11	3.32	63.51		0.67	0.19		4.87	1.73	7.46	11	89	65
16	S0200-8	BOSQUE	42	30	28	4.09	3.60	0.18	3.41	58.63		1.27	0.40		4.60	1.85	8.12	21	79	57

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO No. 001-0644224

TINGO MARIA, 20 DE ABRIL 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María,

[Signature]



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI

Jefe (e) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

