

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**CALIDAD DEL SUELO EN PLANTACIONES FORESTALES COETÁNEAS,
LOCALIZADAS EN LOS DEPARTAMENTOS SAN MARTÍN Y HUÁNUCO, PERÚ**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

LUIS WALTHER ESPINOZA AMBICHO

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 012-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 11 de noviembre 2024, a horas 4:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“CALIDAD DEL SUELO EN PLANTACIONES FORESTALES COETÁNEAS,
LOCALIZADAS EN LOS DEPARTAMENTOS SAN MARTÍN Y HUÁNUCO, PERÚ”**

Presentado por el Bachiller: **LUIS WALTHER ESPINOZA AMBICHO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 13 de enero de 2025


Ing. MSc. RAUL ARAUJO TORRES
PRESIDENTE


Dr. NELINO FLORIDA ROFNER
MIEMBRO


Ing. MSc. BRAYAN A. CALDAS DE LA CRUZ
MIEMBRO




Ph. D. LUIS A. VALDIVIA ESPINOZA
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS

Correo: repositorio@unas.edu.pe



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 028 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CALIDAD DEL SUELO EN PLANTACIONES FORESTALES COETÁNEAS, LOCALIZADAS EN LOS DEPARTAMENTOS SAN MARTÍN Y HUÁNUCO, PERÚ	LUIS WALTHER ESPINOZA AMBICHO	13 % Trece

Tingo María, 27 de enero de 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Malique
IEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



CALIDAD DEL SUELO EN PLANTACIONES FORESTALES COETÁNEAS, LOCALIZADAS EN LOS DEPARTAMENTOS SAN MARTÍN Y HUÁNUCO, PERÚ

Programa de investigación	:	Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales.
Línea de investigación	:	Recuperación de Ecosistemas Forestales.
Eje temático	:	Restauración Forestal.
Autor	:	Luis Walther Espinoza Ambicho.
Asesor(es)	:	Ph. D. Luis Alberto Valdivia Espinoza.
Lugar de ejecución	:	Distritos Nuevo Progreso y Uchiza (departamento San Martín) y Cholon y Morada (departamento Huánuco).
Duración del trabajo	:	Seis meses.
Financiamiento	:	S/. 5 807,50.
FEDU	:	No.
Propio	:	Si.
Otros	:	No

Tingo María – Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios, por ser la guía y fuerza en mi vida.

A mi madre, Dora Ambicho Tineo, y a mi padre político, Raúl Rosas Palomino, por su amor y apoyo incondicional.

A mi padre, Hugo Walter Espinoza Dueñas (Q. E. P. D.), cuya ausencia se siente profundamente, pero cuya memoria vive en nuestros corazones, y a mis tíos Sorayda Espinoza Dueñas y Manuel Espinoza Dueñas, por todo su apoyo moral brindado.

A mi abuelo, Emiliano Ambicho Alarcón (Q. E. P. D.), cuya memoria sigue siendo una inspiración constante.

A mi hija, Izu Valentina Espinoza Lino, la luz de mis días y la razón de mi esfuerzo.

A mis hermanos, Rosmeri, Raúl, Carlos, Francisca y Antony, y a mi cuñado Julio Silva Gamarra, por su compañía y cariño en cada momento.

A mis tíos, Hugo, Ana, José, Irma, Rufina, Carmen, Juan, Fidel, Manuel, Hilda, Edith, Saturnina, Reynalda, Carlos, y a toda la familia Ambicho, por su apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por brindarme la oportunidad de formarme académica y profesionalmente en un entorno de excelencia y compromiso.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por su dedicación, conocimiento y apoyo a lo largo de mi carrera. Su enseñanza ha sido fundamental para mi desarrollo profesional.

A mi asesor, el Ph. D. Luis Alberto Valdivia Espinoza, por su invaluable guía, paciencia y sabiduría. Sus consejos y orientación fueron cruciales para la realización de este trabajo.

Al presidente del jurado, Ingeniero M. Sc Araujo Torres, y a los miembros de mis jurados, Doctor Nelino Florido Rofner y al Ingeniero M. Sc. Brayan Andre Caldas de la Cruz, por su tiempo, esfuerzo y valiosos comentarios durante la evaluación de mi tesis. Su rigor académico y su compromiso han sido esenciales para culminar este proyecto con éxito.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.1.1. Suelos.....	3
2.1.2. Calidad de suelo.....	3
2.1.3. Función de los parámetros evaluados	16
2.1.4. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS).....	16
2.1.5. Generalidades de las especies forestales en estudio	16
2.2. Estado del arte	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Lugar de ejecución.....	24
3.1.1. Características de las parcelas con especie forestal en estudio.....	25
3.2. Material y métodos	26
3.2.1. Materiales de campo	26
3.2.2. Materiales de laboratorio	26
3.2.3. Equipos	26
3.2.4. Tipo de investigación.....	27
3.2.5. Metodología.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1. Evaluación de los indicadores fisicoquímicos del estado del recurso suelo para determinar su calidad, en plantaciones forestales coetáneas	37
4.1.1. Densidad aparente.....	37
4.1.2. Nivel de pH.....	39
4.1.3. Conductividad eléctrica	41
4.1.4. Materia orgánica	43
4.1.5. Nitrógeno	46
4.1.6. Fósforo	49
4.1.7. Calcio	51
4.1.8. Magnesio.....	53
4.1.9. Sodio	55
4.1.10. Capacidad de intercambio catiónico	57

4.2. Calidad del suelo mediante la aplicación del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), en plantaciones forestales coetáneas	60
4.3. Determinación de la relación entre el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) y los indicadores fisicoquímicos, en las plantaciones forestales coetáneas	63
V. CONCLUSIONES	65
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	66
VII. REFERENCIAS.....	67
ANEXO.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Propiedades físicas indicadoras de la calidad del suelo.	7
2. Propiedades químicas indicadoras de la calidad del suelo.	7
3. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.	8
4. Rangos interpretativos para el pH.	9
5. Rangos interpretativos para la conductividad eléctrica.	10
6. Rangos interpretativos para la materia orgánica (%).	11
7. Rangos interpretativos para el nitrógeno total.	12
8. Rangos interpretativos para el fósforo disponible.	13
9. Rangos interpretativos para calcio (Ca) intercambiable.	14
10. Rangos interpretativos para magnesio (Mg) intercambiable.	14
11. Rangos interpretativos para sodio (Na) intercambiable.	15
12. Rangos interpretativos para la CIC.	15
13. Ubicación política y geográfica de las plantaciones coetáneas de cuatro especies forestales.	24
14. Descripción de las plantaciones forestales.	24
15. Metodología para el análisis de los indicadores fisicoquímicos del suelo.	28
16. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo.	32
17. Rangos interpretativos del SUSS.	33
18. Grupos de comparación de las plantaciones en estudio.	33
19. Estadígrafos de la densidad aparente en los suelos de las plantaciones coetáneas.	37
20. ANVA para la densidad aparente en los suelos de las plantaciones coetáneas.	38
21. Estadígrafos del nivel de pH en los suelos de las plantaciones coetáneas.	39
22. ANVA para el nivel de pH en los suelos de las plantaciones coetáneas.	40
23. Estadígrafos de la conductividad eléctrica en los suelos de las plantaciones coetáneas.	41
24. ANVA para la conductividad eléctrica en los suelos de las plantaciones coetáneas.	42

25. Estadígrafos de la materia orgánica en los suelos de las plantaciones coetáneas.	43
26. ANVA para la materia orgánica en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	44
27. Comparación de medias de la materia orgánica en los suelos de las plantaciones coetáneas.	45
28. Estadígrafos del nivel de nitrógeno en los suelos de las plantaciones coetáneas.	46
29. ANVA para el nivel de nitrógeno en los suelos de las plantaciones coetáneas.	47
30. Comparación de medias para el nivel de nitrógeno en los suelos de las plantaciones coetáneas.	48
31. Estadígrafos del nivel de fósforo en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	49
32. ANVA para el nivel de fósforo en los suelos de las plantaciones coetáneas.	50
33. Estadígrafos del contenido de calcio en los suelos de las plantaciones coetáneas.	51
34. ANVA para el contenido de calcio en los suelos de las plantaciones coetáneas.	52
35. Estadígrafos del contenido de magnesio en los suelos de las plantaciones coetáneas.	53
36. ANVA para el contenido de magnesio en los suelos de las plantaciones coetáneas.	54
37. Estadígrafos del contenido de sodio en los suelos de las plantaciones coetáneas.	55
38. ANVA para el contenido de sodio en los suelos de las plantaciones coetáneas.	56
39. Comparación de medias para el contenido de sodio en los suelos de las plantaciones coetáneas a una profundidad de 10 a 40 cm.	57
40. Estadígrafos de la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de las plantaciones coetáneas.	58
41. ANVA para la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de las plantaciones coetáneas.	59
42. Comparación de medias para la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de las plantaciones coetáneas.	60

43.	Estadígrafos del subíndice de uso sustentable del suelo en las plantaciones coetáneas.	61
44.	ANVA para el SUSS por influencia de las especies forestales coetáneas.	62
45.	Prueba de correlación entre el SUSS y los indicadores fisicoquímicos.	64
46.	Datos tabulados para el análisis.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de muestreo de suelos para análisis fisicoquímico, en cada una de las plantaciones coetáneas de cuatro especies forestales.....	28
2. Regla de decisión para la prueba de hipótesis.....	35
3. Densidad aparente de los suelos en las plantaciones coetáneas.....	38
4. Nivel de pH en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	40
5. Conductividad eléctrica en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	42
6. Materia orgánica en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	44
7. Nivel de nitrógeno en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	47
8. Nivel de fósforo en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	50
9. Contenido de calcio en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	52
10. Contenido de magnesio en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	54
11. Contenido de sodio en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	56
12. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos de las plantaciones coetáneas.....	59
13. Calidad del suelo según el subíndice de uso sustentable del suelo.....	61
14. Georreferenciación de parcelas en estudio.....	77
15. Limpieza las parcelas forestales.....	77
16. Verificación por parte de los jurados a las parcelas en estudio.....	78
17. Visita a las plantaciones por parte del Presidente del jurado de tesis.....	78
18. Equipos y materiales utilizados.....	79
19. Delimitación de las parcelas.....	79
20. Medición entre los puntos de Muestreo.....	80
21. Colocación de códigos en los puntos de muestreo.....	80
22. Medición a dos profundidades los puntos de muestreo.....	81
23. Apertura de hoyos para el muestreo de suelos con palana.....	81
24. Medición de la muestra desde la superficie hasta los 10 cm de profundidad.....	82
25. Medición de la muestra desde los 10 cm hasta los 40 cm de profundidad.....	82
26. Registro de datos de las muestras de suelo.....	83
27. Codificación de las muestras de suelo en la bolsa ziplot.....	83
28. Muestras de suelos con sus respectivos códigos.....	84
29. Propietario de la parcela con plantación de <i>C. cateniformis</i>	84

30.	Parcela 1 de <i>C. spruceanum</i> en el distrito de Nuevo Progreso.....	85
31.	Parcela 2 de <i>C. spruceanum</i> en el distrito de Cholón.....	86
32.	Resultados de análisis de suelos de la parcela 1 de <i>C. spruceanum</i> en el distrito de Nuevo Progreso.	87
33.	Resultados de análisis de suelos de la parcela 1 de <i>C. spruceanum</i> en el distrito de Cholón.	88
34.	Parcela 1 de <i>E. torreliana</i> en el distrito de Nuevo Progreso.	89
35.	Parcela 2 de <i>E. torreliana</i> en el distrito de Uchiza.....	90
36.	Resultados de análisis de suelos de la Parcela 1 de <i>E. torreliana</i> en el distrito de Nuevo Progreso.	91
37.	Resultados de análisis de suelos de la Parcela 2 de <i>E. torreliana</i> en el distrito de Uchiza.....	92
38.	Parcela 1 de <i>C. glandulosa</i> en el distrito de Nuevo Progreso.	93
39.	Parcela 2 de <i>C. glandulosa</i> en el distrito de Nuevo Progreso.	94
40.	Resultados de análisis de suelos de la Parcela 1 de <i>C. glandulosa</i> en el distrito de Nuevo Progreso.	95
41.	Resultados de análisis de suelos de la Parcela 2 de <i>C. glandulosa</i> en el distrito de Nuevo Progreso.	96
42.	Parcela 1 de <i>C. cateniformis</i> en el distrito de La Morada.	97
43.	Parcela 2 de <i>C. cateniformis</i> en el distrito de La Morada.	98
44.	Resultados de análisis de suelos de la Parcela 1 de <i>C. cateniformis</i> en el distrito de La Morada.	99
45.	Resultados de análisis de suelos de la Parcela 2 de <i>C. cateniformis</i> en el distrito de La Morada.	100

RESUMEN

Debido a diferentes perspectivas de las plantaciones forestales sobre los suelos, se realizó el estudio con el objetivo de determinar la calidad del suelo en plantaciones forestales coetáneas localizadas en los departamentos San Martín y Huánuco, Perú. Se ha elegido las especies *Calycophyllum spruceanum* (capirona), *Eucalyptus torreliana* (eucalipto tropical), *Colubrina glandulosa* (shaina) y *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) con cuatro años de edad establecidas en dos parcelas cada uno distribuidas entre los departamentos de San Martín y Huánuco; en las parcelas se realizaron muestreos de suelos a dos profundidades (0-10 y 10-40 cm) los mismos que se analizaron sus propiedades fisicoquímicas para determinar el subíndice sustentable del suelo (SUSS). Entre los resultados se resalta que, en la parte más superficial de los suelos con *C. spruceanum*, *E. torreliana*, *C. glandulosa* y *C. cateniformis* se tienen mejor promedio de densidad aparente, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, sodio y CIC, pero no fueron significativos los resultados a excepción de la materia orgánica, nitrógeno y sodio; las plantaciones de *C. spruceanum* y *E. torreliana* presentaron suelos marginales, mientras que *C. glandulosa* y *C. cateniformis* registraron suelos pobres; además, el pH, la conductividad eléctrica, el fósforo, el magnesio, el sodio y CIC se correlacionaron con el SUSS entre 0 a 10 cm y de 10 a 40 cm. Se concluye que, a pesar que se observaron ligeras variaciones, es corta la edad de las plantaciones para definir alguna influencia de las especies forestales sobre el SUSS.

Palabras clave: *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrelinga cateniformis*, *Colubrina glandulosa*, correlación y *Eucalyptus torreliana*.

ABSTRACT

Due to different perspectives on forest plantations regarding soils, the study was conducted with the aim of determining soil quality in coetaneous forest plantations located in the departments of San Martín and Huánuco, Peru. The species *Calycophyllum spruceanum* (capirona), *Eucalyptus torreliana* (tropical eucalyptus), *Colubrina glandulosa* (shaina), and *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) were selected, each four years old, established in two plots distributed among the departments of San Martín and Huánuco. Soil samples were taken at two depths (0-10 and 10-40 cm) in the plots, and their physicochemical properties were analyzed to determine the soil sustainable index (SUSS). Among the results, it is highlighted that in the superficial part of the soils with *C. spruceanum*, *E. torreliana*, *C. glandulosa*, and *C. cateniformis*, there were better averages of bulk density, electrical conductivity, organic matter, nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, sodium, and CEC (cation exchange capacity), but the results were not significant except for organic matter, nitrogen, and sodium. The *C. spruceanum* and *E. torreliana* plantations presented marginal soils, while *C. glandulosa* and *C. cateniformis* recorded poor soils. Additionally, pH, electrical conductivity, phosphorus, magnesium, sodium, and CEC correlated with SUSS between 0 to 10 cm and 10 to 40 cm. It is concluded that despite slight variations observed, the age of the plantations is too short to define any influence of forest species on SUSS.

Keywords: *Calycophyllum spruceanum*, *Cedrelinga cateniformis*, *Colubrina glandulosa*, correlation y *Eucalyptus torreliana*.

I. INTRODUCCIÓN

En los departamentos de San Martín y Huánuco, ubicados en la región amazónica del Perú, se enfrenta un proceso de degradación gradual de la calidad de los suelos, causado principalmente por la deforestación y la degradación forestal. Estos problemas son el resultado de varios factores, entre ellos la agricultura migratoria, la ocupación desordenada del territorio, la falta de planificación en el desarrollo, la creciente demanda de productos derivados de la biodiversidad, el aprovechamiento forestal sin un manejo adecuado, y las actividades ilegales de tala y minería. La deforestación, tanto legal como ilegal, se produce principalmente cuando se elimina la cubierta forestal sin considerar la capacidad del suelo para un uso más sostenible, lo que suele ocurrir especialmente en procesos de agricultura migratoria que involucran tierras forestales o zonas de protección.

La degradación de la calidad de los suelos en los departamentos de San Martín y Huánuco es un problema crítico que afecta tanto la sostenibilidad de los agroecosistemas como la biodiversidad local. Este problema se agrava debido a prácticas como la agricultura migratoria, la deforestación no planificada y el aprovechamiento forestal sin un manejo adecuado. La pregunta central de esta investigación es: ¿Cuáles son los efectos de las especies forestales sobre la calidad de los suelos en plantaciones forestales coetáneas en estos departamentos?

La investigación es relevante porque la calidad del suelo es fundamental para el bienestar de los ecosistemas y la producción agrícola sostenible. A pesar de los esfuerzos realizados en la rehabilitación de tierras degradadas en la Amazonía peruana, muchos de estos esfuerzos han sido insuficientemente divulgados y no se ha hecho un análisis crítico para extraer lecciones que mejoren la gestión futura. Este estudio busca llenar este vacío, proporcionando un análisis detallado de las propiedades fisicoquímicas de los suelos en plantaciones forestales coetáneas. Además, los resultados de esta investigación permitirán evaluar los impactos de las especies forestales sobre la calidad del suelo y contribuirán al desarrollo de estrategias de manejo sostenible para la región.

La finalidad de esta investigación es que se determine la calidad del suelo en plantaciones forestales coetáneas de los departamentos de San Martín y Huánuco, utilizando un enfoque basado en sus propiedades fisicoquímicas; los resultados beneficiarán a las autoridades y expertos en manejo forestal, así como a los agricultores y comunidades locales, al proporcionarles herramientas más precisas para la toma de decisiones en cuanto a la rehabilitación y uso sostenible del suelo. Esta investigación contribuirá al conocimiento y

manejo de los suelos amazónicos, promoviendo prácticas que favorezcan la sostenibilidad ecológica y la conservación de los recursos naturales en la región.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

- Determinar la calidad del suelo en plantaciones forestales coetáneas localizadas en los departamentos San Martín y Huánuco, Perú.

1.2.2. Específicos

- Evaluar indicadores fisicoquímicos del estado del recurso suelo para determinar su calidad, en plantaciones forestales coetáneas ubicadas en los departamentos San Martín y Huánuco, Perú.
- Determinar la calidad del suelo mediante la aplicación del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), en plantaciones forestales coetáneas localizadas en los departamentos San Martín y Huánuco, Perú.
- Determinar la relación entre el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) y los indicadores fisicoquímicos, en las plantaciones forestales coetáneas en estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Suelos

Es la capa superficial de la corteza terrestre, lo conforman un conjunto de elementos, que les proporcionan el sostén respectivo a las plantas, almacenan elementos nutricionales, aire, agua y organismos, los mismos que al encontrarse unidos suelen permitir que se desarrollen de manera normal los vegetales (Cueva, 1988).

Para el Ministerio de Agricultura, suele ser un sistema de alta complejidad y muy dinámico donde suceden fenómenos químicos, físicos y biológicos de intensidades variables, se les encuentra extendido a manera de manto continuo que se ubica sobre la parte superficial de la corteza de la Tierra (MINAG, 2011).

Labrador (2008) añade que, el suelo, aparte de otorgar nutrientes y dar soporte a muchas plantas, suele otorgar un hábitat para diversos organismos, razón por la cual se considera que, el suelo alberga ciertas comunidades biológicas de mayor diversidad en el planeta. Las dinámicas de la vida en los suelos aseguran los variados servicios ecológicos bajo distintas variedades de condiciones ambientales suministrados por el suelo al conjunto de la biósfera.

2.1.2. Calidad de suelo

La calidad y la salud del suelo son definiciones equivalentes, pero no se les consideran como sinónimos (Doran y Parkin, 1994). Por su parte, para Carter *et al.* (1997) el término calidad del suelo se tiene que interpretar enfocado a la utilidad de este respecto algún propósito puntual durante un periodo de tiempo prolongado. Asimismo, Romig *et al.* (1995) sostienen que el estado de las características dinámicas de los suelos como la diversidad de organismos, el nivel de materia orgánica o los productos microbianos en un determinado tiempo suelen constituir la salud del suelo.

La calidad del suelo como término se inició a demarcar cuando se reconoció distintas funciones de los suelos como: (1) la capacidad de que promueva la productividad del sistema sin ocasionar pérdida alguna de las características químicas, físicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) que atenúen cada contaminante ambiental y patógeno (calidad ambiental); y (3) favorezca la salud en animales, plantas y también la humanidad (Doran y Parkin, 1994).

La salud y calidad de los suelos viene a ser un componente de suma importancia en la biósfera con la cual se garantiza que se produzcan los distintos alimentos y la

energía, así como también que se mantenga una calidad adecuada del medio ambiente (Doran y Zeiss, 2000).

Respecto a la calidad de los suelos que se localizan en distintas áreas de la Tierra, se observa que a menguado de manera significativa, debido primordialmente a que muchos sistemas que estaban equilibradas tuvieron que reemplazarse de manera paulatina por actividades agrícolas (Salinas-García *et al.*, 1997), resaltando que dichos procesos concernientes a la agriculturización progresiva y desmedida, que se suman a los manejos inadecuados de las tierras condujeron a que se deterioren las estructuras de los suelos y esto conllevó a que se reduzca de manera constante la materia orgánica, acompañada de la merma de la fertilidad química, física y biológica de los suelos. Adicionalmente, Buschiazzo *et al.* (1998) mencionan que las prácticas agrícolas continuas, así como usar sistema de labranza agresiva suelen deteriorar cada propiedad de los suelos incrementando las áreas afectadas debido al proceso erosivo y de degradación.

Alterar las condiciones del suelo debido a labores de manejo puede influir en la capacidad productiva del cultivo, debido a que influye en cómo se encuentra distribuido la materia orgánica, dinámica de los elementos nutricionales y la actividad microbiana; y también al modificar las características físicas de los suelos como la porosidad y la agregación (Salinas-García *et al.*, 1997).

Al considerar la calidad física del suelo se da un enfoque a sus atributos como la transmisión, resistencia mecánica y la capacidad de almacenar fluidos en la zona donde explora la raíz. Un suelo con buena calidad física posee cualidades de almacenar y traspaso de fluidos con el cual permiten que cantidades adecuadas de agua, nutrientes disueltos y aire como para que promueva su capacidad máxima de desarrollar un determinado cultivo y también ocurra una baja degradación medioambiental (Topp *et al.*, 1997).

Para estimar indirectamente la capacidad de almacenaje de aire y agua en la zona de exploración por parte de la raíz se realiza mediante la estabilidad de la estructura, particularidad del parámetro es que gobierna el aspecto relacionado con la compactación y también lo vinculado con el almacenaje y la movilidad del agua, así como el aire (Reynolds *et al.*, 2002 y Dexter, 2004).

Hay un variado consenso en la identificación de los valores adecuados de los parámetros como el porcentaje de porosidad, la densidad aparente, el nivel de carbono orgánico y la capacidad de retener agua de los suelos. Los atributos señalados están en la posibilidad de que determinen la calidad física de los suelos, con fines de que se incremente la productividad de cada cultivo conservando en paralelo la calidad del ambiente (Reynolds *et*

al., 2002). Diversos autores determinaron a la resistencia a la penetración como una variable de mayor sensibilidad en comparación a la densidad aparente para que detecten el efecto de las labores de manejo que se realizan a los suelos (Hammel, 1989).

Durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo – Río 1992 (CNUMAD) fue demarcado como hito especial que es de necesidad el desarrollo y aplicación de distintos métodos que determinen el estado ambiental y se monitoreen cada cambio que ocurre a niveles locales, nacionales, regionales y global. Fueron desarrollados los listados contenidos de indicadores para ser usado de manera “universal”, considerando la totalidad posible de situaciones y suelos (Doran y Parkin, 1994).

Recientemente han definido a la calidad del suelo en base a su multifuncionalidad de los suelos y no solamente en la asignación de algún uso en especial, aunque dicho concepto se encuentra en constante evolución (Singer y Ewing, 2000). Dichos conceptos se sintetizaron por medio del Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America (Karlen *et al.*, 1997) quedando como su capacidad de los suelos para que funcionen dentro de cada límite de los ecosistemas naturales o manejados, que sostengan sus productividades de los animales y plantas, mantengan o mejoren la calidad presentada por el agua y el aire, además de que sostengan el hábitat y la salud de las personas.

2.1.2.1. Indicadores de la calidad del suelo

Pese a la creciente preocupación respecto a la degradación de los suelos, la merma de su impacto en el bienestar de las personas, la disminución de la calidad y del medioambiente, se carecen de criterios universales con la cual se evalúen el cambio en la calidad de los suelos (Arshad y Coen, 1992). Con fines de que sea operativo esta definición, suele ser preciso de que se cuente con cada variable servible en la evaluación de las condiciones de los suelos. Dichas variables son conocidos bajo el nombre de indicadores, debido a que van a representar la condición y suele conllevar las informaciones sobre cada cambio o tendencia de dichas condiciones (Dumanski *et al.*, 1998). Para Adriaanse (1993), cada indicador es un instrumento de análisis que logran la simplificación, cuantificación y comunicación de cada fenómeno complejo. Los indicadores suelen aplicarse en distintos ámbitos de conocimiento (recursos naturales, salud, economía, entre otros). Los indicadores que representan la calidad de los suelos pudieran estar representados por las propiedades biológicas, químicas y físicas, o también algún proceso que pudiesen ocurrir en dicho medio (Soil Quality Institute [SQI], 1996). Por su parte, Dumanski *et al.* (1998) sostienen que los indicadores no podrían ser un grupo seleccionado *ad hoc* para cada situación particular, sino que tienen que ser los mismos en los distintos casos; este aspecto tiene como finalidad que se facilite y realicen válidas acciones

comparativas en el entorno internacional y nacional. Dicha posición no lo comparten Bautista *et al.* (2004), al sostener que cada indicador empleada tiene que reflejar las restricciones principales de los suelos, bajo la conveniencia con cada función o funciones primordiales evaluadas, muy similar a lo que sugirieron Astier *et al.* (2002). Para Hünne Meyer *et al.* (1997), cada indicador debe admitir: (a) que analice el escenario actual e identifique cada punto crítico con afinidad al desarrollo sostenible; (b) que analice cada posible impacto previo a cierta intervención; (c) que monitoree el impacto de cada intervención antrópica; y (d) que ayude a que se determine si el uso de los recursos se viene llevando de manera sostenible.

Etchevers (1999) sostiene que cada indicador de la calidad de los suelos tiene que relacionarse a las propiedades del suelo que son sensibles al cambio de uso de los suelos, obedeciendo a los parámetros químicos, físicos y biológicos.

Los indicadores tienen que estar agrupados pero no ser muchos, de fácil manejo para todo tipo de usuario, ser sencillo, su medición debe ser fácil y también que tenga un elevado grado de agregación, dicho de otra manera, tienen que ser propiedades con capacidad de resumir a las demás propiedades o cualidades; deben ser interdisciplinarios; en lo posible tienen que contemplar la máxima diversidad de situaciones; es por ello que, tiene que incluir a cada propiedad del suelo, se física, química, biológica, entre otras, poseer la capacidad de variar a través del tiempo con la posibilidad de que se realice el seguimiento de la misma; asimismo, no tienen que ser muy sensibles al cambio de clima y/o del ambiente pero ser suficientemente adecuada en la detección del cambio que se produzcan debido al uso y el manejo que se le asignan a los recursos (Doran y Zeiss, 2000; Volveré y Amézquita, 2009).

Debido a que hay varias propiedades alternativas con la que se evalúan la calidad de los suelos, muchos autores optaron por el planteamiento de un grupo mínimo de propiedades de los suelos que se usarían como indicadores empleadas en la evaluación de los cambios ocurridos en los suelos a través del tiempo (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold *et al.*, 1997). Sobre el tema, Arshad y Coen (1992) sostienen que los indicadores utilizables en la evaluación de la calidad de los suelos poseen la posibilidad de que varíen entre localidades dependientes del uso y tipo, funcionalidad y componentes de formación de los suelos. Por su parte, para Doran *et al.* (1996) identificar de manera efectiva a cada indicador apropiado que evalúen la calidad de los suelos tiene dependencia del objetivo, que consideren a los diversos componentes de las funciones de los suelos, particularmente lo referido al ambiental y productivo. Tal identificación resulta ser complicada debido a la multiplicidad de factores biológicos, físicos y químicos, controladores de los procesos biogeoquímicos y las variaciones de la intensidad a través del espacio y tiempo.

En suelos agrícolas también se encuentran distintas propiedades físicas que se relacionan con la calidad de los suelos (**Tabla 1**).

Tabla 1. Propiedades físicas indicadoras de la calidad del suelo.

Propiedades	Relaciones con las condiciones y funciones del suelo
Clase textural	Retener y transportar agua así como de compuestos químicos; erosión de los suelos
Profundidad de los suelos, suelos superficiales y raíces	Estimar la erosión y productividad potencial
Densidad aparente e infiltración	Potencial de lavado; erosividad y productividad
Capacidad de retener agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; materia orgánica, textura y humedad aprovechable

Fuente: Larson y Pierce (1991), Doran y Parkin (1994) y Seybold *et al.* (1997).

Los indicadores con la que se evalúan la calidad química admiten las condiciones que suelen afectar la relación suelo-planta, la capacidad amortiguadora de los suelos, la calidad del agua, la disponibilidad de agua y nutrientes para los vegetales y también a los microorganismos (**Tabla 2**).

Tabla 2. Propiedades químicas indicadoras de la calidad del suelo.

Propiedades	Relaciones con las condiciones y funciones del suelo
Materia orgánica (C total y N)	Definen la fertilidad de los suelos; erosión, estabilidad
Nivel de pH	Definen las actividades químicas y biológicas
Conductividad eléctrica	Definen las actividades vegetales y microbianas
N, K extractables y P	Nutrientes disponibles para las plantas, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental

Fuente: Larson y Pierce (1991), Doran y Parkin (1994) y Seybold *et al.* (1997).

A continuación, se describen las propiedades fisicoquímicas a emplear en la determinación de la calidad de suelos:

- Densidad aparente (Dap)

Para la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, esta propiedad se incluye en la evaluación de la calidad de los suelos como indicador de la resistencia mecánica, estructura y la cohesión del mismo. El cambio de la

Dap suele reflejar las variaciones en la estructura de los suelos, esto ocurre porque hay una relación de la porosidad total con la Dap. La Dap suele afectar el crecimiento de los vegetales por el efecto de la resistencia y porosidad de los suelos sobre el sistema radicular de las plantas. Al incrementar la Dap, incrementa la resistencia mecánica y disminuye la porosidad de los suelos, limitando que crezcan las raíces hacia los valores críticos. El valor crítico de la Dap para que crezcan las raíces suelen variar debido a la textura presentada por los suelos y también la especie vegetal (SAGARPA, 2012).

El valor que pudiera tener la Dap depende de distintos factores, como el nivel de materia orgánica, textura y vincularse también al manejo asignado a los suelos. En diferencia a la densidad real, por ser casi constante, la Dap posee mucha variabilidad.

Para Mendoza (2011), la Dap refleja el contenido total de la porosidad en los suelos, siendo de importancia en el manejo del suelo (expresa la compactación y cuán fácil circula el aire y agua), mostrando una relación de la Dap con la porosidad expresado en porcentaje (1,0 g cm⁻³: 63%, 1,1 g cm⁻³: 59 %, 1,2 g cm⁻³: 56%, 1,3 g cm⁻³: 52%, 1,4 g cm⁻³: 48%, 1,5 g cm⁻³: 45%, 1,6 g cm⁻³: 41%, 1,7 g cm⁻³: 37%, 1,8 g cm⁻³: 33%, 1,9 g cm⁻³: 30 %).

Tabla 3. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura	Ideal (g cm⁻³)	Aceptable (g cm⁻³)	Puede afectar el crecimiento radicular (g cm⁻³)	Restringe el crecimiento radicular (g cm⁻³)
Arena, areno-franco	Dap menor a 1,60	1,6 ≤ Dap <1,69	1,69 ≤ Dap <1,80	Dap >1,80
Franco-arenosa, franco	Dap menor a 1,40	1,4 ≤ Dap <1,63	1,63 ≤ Dap <1,80	Dap >1,80
Franco-arcilla-arenosa, franco-arcillosa	Dap menor a 1,40	1,4 ≤ Dap <1,60	1,60 ≤ Dap <1,75	Dap >1,70
Limosa	Dap menor a 1,30	1,3 ≤ Dap <1,60	1,60 ≤ Dap <1,75	Dap >1,75
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	Dap menor a 1,40	1,4 ≤ Dap <1,55	1,55 ≤ Dap <1,65	Dap >1,65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa	Dap menor a 1,10	1,1 ≤ Dap <1,39	1,39 ≤ Dap <1,58	Dap >1,58
Arcillosa (mayor a 45% arcilla)	Dap menor a 1,10	1,1 ≤ Dap <1,39	1,39 ≤ Dap <1,47	Dap >1,47

Fuente: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 1999).

- Reacción del suelo (pH)

Se le conoce como menos logaritmo de la actividad de H^+ o potencial de hidrógeno que suele afectar de manera directa a que esté disponible, soluble y sea absorbido cada nutriente necesario para que crezcan y desarrollen las plantas. Se consideran más afectados por el pH los elementos como el N, P, Mg, Ca, Mn, Fe, Cu y Zn, la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases. Los medios donde hay presencia de abundantes lluvias suele promoverse que se laven las bases acarreado como consecuencia que los suelos se acidifiquen con valores del pH que fluctúan desde 4,0 hasta 6,5, que provocan elevadas concentraciones manganeso soluble y aluminio los mismos que al absorberse por medio del sistema radicular llegan a intoxicar y fijar fosfatos. Por su parte, en lugares áridos hay poco lavado obteniendo suelos alcalinos con pH de 7,0 a 8,5 que provocan poca solubilidad del fósforo porque está presente el carbonato de calcio o $CaCO_3$ (SAGARPA, 2012).

El pH posee variada influencia en la fauna y flora edáfica, ya que al ser menos de 5,5 hay pocas actividades de los actinomicetos y las bacterias, mientras se eleva la actividad en un pH neutro. Diversos hongos se adaptaron a un amplio rango de pH, las bacterias suelen prosperar mucho mejor en pH neutro; esto demuestra que muchos procesos biológicos en los suelos se influyen debido al pH, siendo algunos la fijación biológica de N, nitrificación, mineralización de la materia orgánica y amonificación. Sobre el desarrollo de los vegetales, las especies requieren valores específicos del pH, pero, por lo general se tiene que, a pH menos de 4 ocurren trastornos en las raíces por efecto directo del H^+ (SAGARPA, 2012).

Tabla 4. Rangos interpretativos para el pH.

Clasificación	Rango del pH
Ultra ácida	Menor a 3,5
Extremadamente ácido	Entre 3,6 hasta 4,4
Muy fuertemente ácido	Entre 4,5 hasta 5,0
Fuertemente ácido	Entre 5,1 hasta 5,5
Moderadamente ácido	Entre 5,6 hasta 6,0
Ligeramente ácido	Entre 6,1 hasta 6,5
Neutro	Entre 6,6 hasta 7,3
Ligeramente alcalino	Entre 7,4 hasta 7,8
Moderadamente alcalino	Entre 7,9 hasta 8,4
Fuertemente alcalino	Entre 8,5 hasta 9,0
Muy fuertemente alcalino	Mayor a 9,0

Fuente: BAZAN (1996).

- Conductividad eléctrica (CE)

Según el USDA (1999), la CE suele indicar en contenido de sales que se encuentran presentes en los suelos. En todos los suelos se encuentran las sales en elevados o bajos valores, las mismas que van a ser esencial durante su crecimiento de los vegetales, pero al existir una cantidad excesiva de sales conlleva a la inhibición de que crezcan las plantas, debido a que se encuentran afectados el equilibrio suelo-agua. Un suelo con contenido excesivo de sales suele aparecer de forma natural y también a consecuencia del manejo y uso del suelo. Además, con el valor de la CE se tiene el nivel de disponibilidad nutricional para los vegetales y en los suelos hay iones que por lo general se asocian con el grado de salinidad siendo estos el Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^- , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , H^+ (cationes) o NO_3^- , OH^- (aniones), HCO_3^- .

SAGARPA (2012) añade que, el efecto que la salinidad ejerce en la fisiología de las plantas fueron clasificados en tóxicos, nutritivos y osmóticos. Los dos últimos se consideran como efecto secundario inducido por el estrés salino y en el caso de la toxicidad viene a ser un efecto primario generada directamente por las distintas sales. Niveles elevados de Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} o Mg^{2+} que se encuentran en un medio salino, inducirían la deficiencia con iones fundamentales, en especial a los NO_3^- , H_2PO_4^- o K^+ .

El efecto respecto a la toxicidad inducido mediante el estrés primario puede ser directo, que aparecen rápidamente (minutos u horas) y se le identifica mediante el daño a las membranas; o de forma indirecta, los cuales necesitan estar expuestos por un tiempo más prolongado al estrés (días o semanas) para observar su desarrollo, siendo traducidos en alteraciones de muchos procesos de su metabolismo.

Tabla 5. Rangos interpretativos para la conductividad eléctrica.

CE (dS/m) a 25°C	Efecto sobre los suelos
Menor a 0,98	Efecto despreciable de la salinidad
De 0,98 hasta 1,71	Suelos muy ligeramente salinos
De 1,72 hasta 3,16	Suelos ligeramente salinos
De 3,17 hasta 6,07	Suelos moderadamente salinos
Mayor a 6,07	Suelos fuertemente salinos

Fuente: USDA (1999).

- Materia orgánica (MO)

La materia orgánica en el suelo es derivada de lo que se descomponen los animales y plantas que murieron sobre ella, así como las actividades

biológicas de muchos organismos vivos presentes como los insectos, las lombrices, los microorganismos, entre otros. Para que se descomponga y transforma un resto vegetal y animal en el suelo se promueve mediante el accionar de varios procesos como la oxidación, la desintegración mecánica, la hidrólisis, entre otros y bajo las acciones directas de las lluvias, las reacciones ácidas o básicas de los suelos, de los vientos, del cambio de temperatura, etc.

Al descomponerse el resto orgánico origina el humus, que se forma por un complejo de macromoléculas en estado coloide conformado mediante azúcares, proteínas, minerales, ácidos orgánicos, etc., bajo constante estado de degradación y síntesis. Cuando se descompone el humus suele producir moléculas coloidales los mismos que al unirse con minerales arcillosos suelen dar origen a complejos órgano-minerales. Dichos coloides tienen cargas negativas permitiéndolos que absorban a los iones H^+ y cationes metálicos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) y los intercambian en todo momento de manera reversible. Además, hay un componente orgánico del suelo denominado ácido fúlvico, siendo un tipo de ácido húmico polimerizado de manera débil.

La MO tiene como primordial función que promueva el crecimiento de las plantas por la influencia sobre sus características biológicas, químicas y físicas de los suelos. Nutricionalmente afecta de manera directa e indirecta a que los nutrientes estén disponibles para que crezca la planta, aportando N, S, P y ser fuente de energía para los microorganismos que fijan N. Además, la función física origina buena estructura edáfica, mejorando la labranza, aireación y retención de agua, agregación de las fracciones de los suelos disminuyendo la erosión e incrementando su capacidad de amortiguar (SAGARPA, 2012).

Del 20 a 70% de la capacidad de intercambio iónico del suelo se atribuye a la sustancia húmica. Sobre la acción amortiguadora, el humus posee capacidad amortiguadora bajo un rango de pH amplio. Suele activar a los organismos, porque muchas bacterias, hongos y actinomicetos del suelo se relaciona con el humus (SAGARPA, 2012).

Tabla 6. Rangos interpretativos para la materia orgánica (%).

Niveles	Valor de la materia orgánica (%)
Muy bajos	Menor a 1,00
Bajos	Entre $1,00 \leq$ hasta 1,99
Medios	Entre $2,00 \leq$ hasta 2,99
Altos	Entre $3,00 \leq$ hasta 4,99
Muy altos	Mayor o igual a 5,00

Fuente: Bazán (1996).

Para Silva (2003), la MO de los suelos es considerado como el indicador de mayor significancia en la calidad de los suelos, es el componente de mayor importancia para que se seleccione de un grupo de datos mínimos y necesarios que se emplean para que definan la calidad de los suelos. La MO de los suelos son fundamentales con las cual se mantiene la estructura del suelo, retiene agua necesaria y actúa de reserva nutritiva.

- **Nitrógeno (N) total**

SAGARPA (2012) refiere que la atmósfera es la fuente principal de este elemento, siendo de mayor predominancia en comparación a otros elementos como el oxígeno. El N atmosférico suele hacerse disponible para los vegetales por medio del proceso de ser fijado biológicamente que los efectúan algunos microorganismos. La mayoría del N en los suelos se encuentran dentro de los compuestos orgánicos y quedan disponible a la planta mediante la mineralización. Las reservas del N en los suelos lo constituyen la materia orgánica de descomposición rápida, compuestos húmicos de mineralización más lenta y en poca proporción están bajo combinaciones inorgánicas de NH_4^+ y NO_3^- .

El USDA (1999) sostiene que, los niveles de N en los suelos, en cierto momento, viene a ser la representación de lo veloz que los microorganismos están descomponiendo la MO de los suelos y dicha velocidad es dependiente de la humedad, temperatura, pH, tipo de residuos orgánicos, aireación y demás factores. Además, una vez que se forman, el nitrato de los suelos suele estar expuesto a fijación, desnitrificación, lixiviación y ser consumido por la planta. Respecto a lo expresado, suele ser dificultoso la interpretación del nivel de N (nitratos) enfocados a la cantidad y donde se encuentra disponible para que responda al requerimiento del cultivo.

Tabla 7. Rangos interpretativos para el nitrógeno total.

Niveles	Rangos para el nitrógeno total (%)
Bajos	Menor a 0,10
Medios	Entre 0,10 hasta 0,19
Altos	Mayor o igual a 0,20

Fuente: Bazán (1996).

- **Fósforo (P) disponible**

Según SAGARPA (2012), es un elemento fundamental encontrado bajo la forma de fosfatos, siendo muy esencial para la planta, es primordial para que crezcan y desarrollen su potencial genético. Dicho elemento se caracteriza por su escasez en los

suelos y también la mayor proporción se encuentran bajo las formas no disponibles para los vegetales. Su disponibilidad es dependiente de los tipos de suelos y su grado de solubilidad. Asimismo, para Bornemisza (1982) el P tiene es poco soluble, ocasiona la deficiencia en la disponibilidad de las plantas, siendo absorbidas bajo las formas de fosfatos que derivan del ácido fosfórico; además, el nivel total de P es dependiente de la MO que se encuentra en el suelo, cuando se aumentan llegan a predominar los fosfatos orgánicos, obteniéndose más P fósforo disponible. La totalidad de fosfatos derivan del ácido fosfórico (H_3PO_4) y generalmente se las encuentra en dos formas: inorgánicos y orgánicos; el P orgánico suelen encontrarse bajo la forma de: fosfato de inocitol, ácidos nucleicos y fosfolípidos; generalmente el P inorgánico es encontrado como fosfatos de Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} y Al^{3+} , siendo predominante en el suelo ácido, pero aparte de ser bajo en P, se las encuentra retenidas o fijadas dicho elemento bajo formas insolubles, muy difíciles de ser asimiladas por los vegetales.

Tabla 8. Rangos interpretativos para el fósforo disponible.

Niveles	Rangos para el P (mg/kg)
Muy bajos	Menor o igual a 5,0
Bajos	Entre 5,1 hasta 15,0
Medios	Entre 15,1 hasta 30,0
Altos	Entre 30,1 hasta 40,0
Muy Altos	Mayor a 40,1

Fuente: Bazán (1996).

De los Ángeles (2007) sostiene que un suelo ácido que posea pH menor a 5 por lo general posee poco contenido de P disponible para las plantas y necesitan elevados niveles de ser fertilizados con P. Adicionalmente, Huamani y Mansilla (1995) refieren que la disponibilidad de P suele ser bajo en un suelo con pH bajo o comúnmente conocido como ácidos, los mismos que en presencia de gran cantidad de lluvias hacen que el P se precipite a través de fosfato insoluble de hierro y aluminio ocasionado por su elevada reactividad.

- Calcio (Ca) intercambiable

Para SAGARPA (2012), el Ca es encontrado entre los cationes intercambiables que se relacionan de manera directa a los cambios en degradarse un suelo mediante el fenómeno de salinización. Es relativamente abundante por lo general en los suelos de las regiones semiáridas, pero se las encuentran en formas químicas de solubilidad baja, razón por esto, posee baja disponibilidad en la solución de los suelos.

En un suelo desarrollado bajo condiciones de elevada precipitación se pudiera perder las bases debido a la lixiviación y también al ser extraídos por parte del cultivo establecido. Esto traería como resultado que se reduzca el pH y sean escasas los nutrientes al cultivo a realizar. El Ca tiene un efecto moderador de los cambios en valores de salinidad, primordialmente debido al sodio en los suelos y las plantas. Bajo la perspectiva de la calidad de los suelos, el Ca viene se primordial para promover la estructura de los suelos al predominar en el complejo sorbente de los suelos que no son ácidos o en el caso que haya predominancia del aluminio.

Tabla 9. Rangos interpretativos para calcio (Ca) intercambiable.

Niveles	Rangos para el Ca (Cmol⁽⁺⁾/kg)
Muy bajos	Menor a 2,00
Bajos	Desde 2,00 hasta 4,99
Medios	Desde 5,00 hasta 9,99
Altos	Mayor o igual a 10,00

Fuente: SAGARPA (2012).

- Magnesio (Mg) intercambiable

Según SAGARPA (2012), el Mg es muy importante debido a que va formar parte de la molécula de clorofila y se encuentra vinculado con el proceso de fotosíntesis. Comúnmente hay deficiencia de Mg en un suelo arenoso cuando posee bajo nivel de su capacidad de intercambio catiónico (CIC). Además, cuando un suelo es ácido hay niveles bajos de Mg.

Tabla 10. Rangos interpretativos para magnesio (Mg) intercambiable.

Niveles	Rangos para el Mg (Cmol⁽⁺⁾/kg)
Muy bajos	Menor a 0,50
Bajos	Desde 0,5 hasta 1,29
Medios	Desde 1,3 hasta 2,99
Altos	Superior o igual a 3,00

Fuente: SAGARPA (2012).

- Sodio (Na) intercambiable

A pesar que no se demostró que el Na es un nutriente primordial, suele lograr que reemplace al potasio en ciertas situaciones. Varias plantas poseen

sus mecanismos de reducir su capacidad de absorber y translocar el Na hacia la hoja, no mostrando síntomas de toxicidad, debido a su acumulación en el tallo, tronco y raíz. Como síntoma de toxicidad por el Na en la hoja se observa mancha necrótica intervenal; pero, el Na de manera excesiva provocaría que haya deficiencia de cationes como magnesio, calcio y potasio (SAGARPA, 2012).

Tabla 11. Rangos interpretativos para sodio (Na) intercambiable.

Clases	Na (Cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹)
Muy bajos	0,00 hasta los 0,29
Bajos	0,30 hasta los 0,59
Normales	0,60 hasta los 0,99
Altos	1,00 hasta los 1,49
Muy altos	Mayor o igual a 1,50

Fuente: SAGARPA (2012).

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Corresponde a la máxima cantidad de cationes como el Al³⁺, Ca²⁺, K⁺, Na⁺ y Mg²⁺, y que un determinado peso de suelo logra intercambiar o retener. Las fuerzas de las cargas positivas varían dependiendo de los cationes, permiten que un catión logre reemplazar a otro en una partícula de suelo que posea carga negativa de naturaleza coloidal, inorgánica y orgánica. La capacidad de retener estos iones en la parte superficial de los coloides del suelo, viene a ser un fenómeno electrostático y equilibrado con los iones presentes en la solución del suelo. De la misma manera, la MO suele contribuir a la CIC del suelo, en especial al encontrarse en elevado estado húmico.

La CIC se relaciona cuando mejora la estructura del suelo, favoreciendo la aireación, su capacidad de retener agua, las actividades microbianas y el nivel de fertilidad de los suelos. Razón por lo expuesto, es necesario un valor de la CIC que se superior a 7 Cmol⁽⁺⁾/kg para que retengan más cationes de la lixiviación (SAGARPA, 2012).

Tabla 12. Rangos interpretativos para la CIC.

Niveles	Rangos para la CIC (Cmol⁽⁺⁾/kg)
Baja	Menor a 4
Media	Mayor o igual a 4 y menor a 30
Alta	Mayor o igual a 30

Fuente: Bazán (1996).

2.1.3. Función de los parámetros evaluados

Los parámetros fisicoquímicos analizados en los suelos vienen a ser indicadores de degradación químicas, físicas y biológicas de la fertilidad. La degradación física es detectada por medio del incremento anual de la Dap, también a través de que anualmente disminuye la permeabilidad. La degradación química se relaciona con la acidificación o cuando disminuye anualmente la saturación en bases; a la salinización, medida mediante el incremento anual de la CE en pasta saturada; a la sodificación llevada a cabo por aumentar anualmente el Na intercambiable; y la toxicidad que se genera al aumentar los elementos tóxicos para el cultivo. La degradación biológica se estimaría al disminuir anualmente el humus en los suelos.

2.1.4. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS)

SAGARPA elaboró durante el año 2012, un estudio que formó sustento de la Línea de Base del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, con fines de que se cuenten con datos útiles que guíen la instrumentación del programa, como también para que se evalúen los impactos del mismo en dicho momento. Las mediciones basales del estado de los suelos agrícolas son parte de la referida Línea de Base empleando el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), la misma que se caracteriza por medir la calidad de los suelos por medio de ciertos indicadores físicos y químicos.

En el mencionado estudio se plasma la metodología donde se estima el SUSS, para cuyo efecto fueron colectados muestras cercanas a las 4 000 parcelas donde se desarrollaban la agricultura en el país mexicano, en ellas fueron realizadas el análisis físico y químico del suelo; de dichos resultados de las muestras analizadas se lograron construir el subíndice.

2.1.5. Generalidades de las especies forestales en estudio

2.1.5.1. *Calycophyllum spruceanum* (capirona)

A una edad adulta suele presentar dimensiones entre 50 a 120 cm de diámetro y desde 20 a 35 m de altura total, su fuste se caracteriza por ser recto, de forma cilíndrica, regular, la copa representa el último tercio de la altura y la rectitud se prolonga hasta la parte basal del fuste (Reynel *et al.*, 2003).

Esta especie se encuentra distribuida en la totalidad de la Amazonía, comprendida de sur de Bolivia y Brasil, en gradientes altitudinales inferiores a los 1 200 m s.n.m. Por lo general se las encuentran en bosques secundarios y también están presentes en el bosque primario. Son observadas en medios donde hay abundante y constante lluvias, aunque son registradas también en ecosistemas de la Amazonía donde la estación seca es muy marcada. Se caracteriza por ser heliófita, con mayor frecuencia en ecosistemas

secundarios tardíos y pioneros, el suelo donde suele encontrarse en su mayoría es limoso a arenoso, aluvial, fértil, y en ocasiones temporalmente inundable por ubicarse en áreas ribereñas; suele tolerar la presencia de gran cantidad de piedras (Reynel *et al.*, 2003).

Para Sears *et al.* (2002), consideran que esta especie forestal es característico del bosque ribereño que se inunda por temporadas con agua clara, siendo conocido como “várzeas”. Además, dentro de los usos atribuidos, Reynel *et al.* (2003) consideran que debido a la calificación una calidad muy buena a su madera, la dureza presentada, pesada, con grano recto a ondulado y textura fina, con durabilidad excelente, suelen usarlo muy a menudo en construcciones rurales (travesaños, puntales); se le aprecia como leña, por contener elevado poder calorífico y tiene la capacidad de arder hasta cuando está en estado fresco. Con excelente cualidad al emplearlos en moldurado y carpintería. Actualmente, hay una creciente demanda para que se produzcan el parquet solicitado a nivel nacional.

2.1.5.2. *Eucalyptus torrelliana* (eucalipto tropical)

Árbol que en Australia con copa densa y suele alcanzar hasta los 30 m de altura, posee su corteza característica de ser sub-fibrosa en la parte basal y teselada que se prolonga hacia los 5 m de altura, mientras que suele ser lisa en las partes más altas. Sus hojas en edades iniciales de la planta son opuestas, peltadas y el pecíolo es corto; ante la presencia del talluelo suele ser diminutamente veloso; luego dicho órgano de la planta es de forma lanceolada, ancha a casi orbicular donde el pedicelo es veloso. La hoja adulta, se dispone de forma alterna, peciolada y oval (De la Lama, 1976).

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la mayor parte de las especies, así como las subespecies se originaron tanto de las islas aledañas como del mismo continente australiano, se les consideran como árboles austro-malayos, dispersados naturalmente entre 7° N hasta 39° S (FAO, 1981).

Para el caso de la especie *Eucalyptus torrelliana*, es originaria de la meseta de Atherton Queensland y conocida bajo los nombres comunes de cadaghi y cadaga, siendo su distribución de manera natural en bosques pluviales desde los 16° y 26° de latitud sur en el rango altitudinal de 0 a 1 000 m s.n.m. (FAO, 1981). El suelo donde suele crecer es franco arenoso y suelo franco más pesado de origen volcánico, es exigible de sub-suelo permeable o que posea drenaje superficial adecuado, el clima tiene que ser sub-tropical y tropical, la precipitación estival y con temperatura desde los 10 hasta 29 °C (De la Lama, 1976).

En individuos cultivados en Satipo, Mendoza (2008) determinó que, es observable diferencias de la albura respecto al duramen en una transición

abrupta, el poro, parénquima, radio y anillo de crecimiento se aprecia a simple vista, posee inclusión de resina, tanino cristales y tilosis, con largas fibras (1075,58 u), radio corto (202,59); su peso específico básico es 0,59 que lo califica como media, 1,75 de la relación T/R que se considera como estable y baja, 12,39% en la contracción volumétrica considerada como media, 49,05 kg/cm² para la resistencia mecánica en compresión perpendicular, 246,49 kg/cm² para la compresión paralela y 434 kg/cm² para la flexión estática y de acuerdo a la JUNAC se ubica en el grupo B como moderadamente pesada.

Entre los usos se considera para la construcción de carrocería y vagón (De la Lama, 1976), soporte de mina, obra de interior, carpintería, mango de herramienta, cajonería, encofrado, postes, durmiente y estructura (Mendoza, 2008).

2.1.5.3. *Colubrina glandulosa* (shaina)

Es un árbol donde a una edad adulta posee dimensiones del diámetro de fuste desde los 30 a 80 cm y para el caso de su altura total el rango de dimensiones es de 20 a 35 m, su fuste tiene forma cilíndrica, por lo general es nudoso, sus ramas son observables a partir del segundo tercio y la parte basal del fuste es recta (Reynel *et al.*, 2003).

Esta especie suele distribuirse en la parte amazónica de los países de Brasil, Colombia, Perú y las Guayanas, que rara vez se las encuentra por encima de 700 m s.n.m. Se le observa en ámbitos con pluviosidad elevada y constante, adicionalmente en medios con presencia marcada de estación seca; posee predisposición heliófita razón por la cual se las encuentra en bosques secundarios donde el suelo es arcilloso a limoso, de una tendencia ácida, fértil, buen drenaje y de media a baja pedregosidad (Reynel *et al.*, 2003).

Entre el uso que se le atribuye por la buena calidad de su madera se encuentra para las estructuras de las construcciones rurales, en ebanistería y carpintería (Reynel *et al.*, 2003).

2.1.5.4. *Cedrelinga cateniformis* (tornillo)

Es un árbol cuyas dimensiones del diámetro cuando es adulto varía desde 0,5 m hasta 2,0 m, la altura total suele llegar de 20 a 40 m, presentando un fuste de forma cilíndrico, se observan las ramas a partir del segundo o tercer tercio y la parte basal del fuste se caracteriza por ser recta. Se encuentra distribuido en la parte de la amazonía hasta una altitud de 1 200 m s.n.m., donde las lluvias son constantes y en gran cantidad, se caracteriza por ser esciófita siendo este aspecto para poder encontrarlos en el bosque primario de suelo arcilloso, por lo general de pH ácido, con buen drenaje y poca o nula pedregosidad (Reynel *et al.*, 2003).

La madera por presentar una gran durabilidad, calidad excelente, ser semipesada, semidura, textura gruesa, de grano recto a entrecruzado y coloración rosada a blanquecino, suele ser muy trabajable, presentando elevada demanda en el Perú donde se le utiliza en el rubro de la construcción, la ebanistería y la carpintería; además, suele comercializarse con la nominación de pino peruano (Reynel *et al.*, 2003).

2.2. Estado del arte

Uno de los reportes de suma importancia fue surgido por la Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 1991), al publicar un set preliminar contenida de cada indicador ambiental. Luego, más organismos fueron desarrollando programas en la cual formaron listas de cada indicador con la cual se evaluaba la calidad ambiental, siendo estos el Banco Mundial, FAO, UN Environmental Program y UN Development Program. En el rubro de los suelos, los autores Blum y Santelises (1994) llegaron a describir la parte conceptual de sustentabilidad y resiliencia del suelo en base a seis funciones entre humanas y ecológicas: el suelo como productor de biomasa; el suelo como reactor con filtros; el suelo como buffer y como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación; el suelo como hábitat biológico y reserva genética; el suelo como medio físico y el suelo como fuente de recursos y de herencia cultural. Dichas significaciones, así como lo que sugirió Warkentin (1996) establecieron el soporte para que la Soil Science Society of America estableciera la parte conceptual sobre la calidad del suelo (Karlen *et al.*, 1997). Posteriormente fueron establecidos los indicadores cuantitativos sobre la calidad del suelo teniendo como principio el concepto descrito (Doran y Parkin, 1994 y Doran *et al.*, 1996).

El término indicador representa a una variable caracterizada por resumir o simplificar la información de relevancia con la cual se hace a una condición o fenómeno de interés que sea perceptible y cuantificable, medible y comunicable, sea comprensible y posea relevancia la información. Cada indicador debe ser de preferencia variable cuantitativa, aunque también suele haber cualitativa o nominal o de rango u ordinal, en especial al no haber disponible información cuantitativa, o el atributo no se puede cuantificar, o en el caso de que el costo de cuantificarlo sea muy elevado. Los indicadores poseen funciones principales como: que evalúe la condición o tendencia, compare de manera transversal cada sitio o situación, evalúe metas y objetivos, provea información de prevención temprana y anticipe la condición y tendencia futura.

SEGNSTAM (2002) por medio de las experiencias realizadas del Banco Mundial resalta lo importante de que se establezcan: líneas de base (baseline) o de inicio

actividades que pudieran impactar negativa o positivamente sobre el medioambiente; umbrales (thresholds) con la cual se controle o sigan cada impacto negativo que no tengan que exceder un umbral establecido y también cada objetivo o meta (targets) que admitan que se evalúen en el caso de ser un impacto positivo logre dar una respuesta lo adecuadamente prolongado.

Doran y Parkin (1994) consideran que, fueron desarrollados listados de los indicadores de utilidad “universal” prediciendo cada situación posible y la totalidad de suelos posibles. Además, hubo listados enfocados a escenarios locales o regionales (Brejda *et al.*, 2000 y Cantú *et al.*, 2002). SEGNESTAM (2002) por su parte, indica que conviene emplear cada indicador local con la finalidad de que se evalúe a nivel de escalas mayores (municipios, provincias o regiones).

En la parte sur oeste de la provincia de Córdoba fue desarrollado y aplicado un Índice de Calidad Ambiental donde se agregaron indicadores empujando como componentes del modelo la presión, estado y respuesta – PSR – (Cantú *et al.*, 2003). Asimismo, fueron evaluados parámetros edáficos por ser posible potencial indicador de la calidad mediante la aplicación del modelo PSR y se incorporó un modelo donde contemplaba el aspecto funcional de los suelos como son el sumidero de residuos y la fuente de recursos (Cantú *et al.*, 2002). Ante lo expuesto hubo la necesidad de que se cuente con un set mínimo de indicadores sobre la calidad del suelo, caracterizada por su medición simple y que contenga validez local, pudiéndose usarse por cada agencia gubernamental y responsable de manejar suelos en evaluar y seguir a través del tiempo la calidad que presentan los suelos.

Asimismo, Cantú *et al.* (2007) al realizar en Argentina una investigación referida a evaluar la calidad del suelo por medio del uso de índices e indicadores, encontraron al C orgánico como un indicador de menor valor, caso contrario fue la saturación de bases, mientras que la densidad aparente y el nivel del pH obtuvieron valores intermedios, en el caso del resto de los indicadores se registró valores cerca de 0,3. El C orgánico evidenció que disminuye la calidad alrededor del 82 % sobre el suelo considerado de referencia.

Además, el pH presentó un valor cerca de 0,6 para la calidad; para casi todos los suelos de la subunidad se observó que disminuye el pH del horizonte superficial en comparación al suelo tomado como referencia.

De manera similar, el indicador reflejó en gran medida la situación de distintos suelos locales. Los materiales loésicos sobre los que se vienen desarrollando cada suelo es rico en calcio que conlleva a tener muy alta saturación de bases, a pesar del uso de los suelos. Los agregados estables en agua presentaron 0,32 del valor para la calidad; la disminución resaltante del valor porcentual de los macroagregados en la subunidad sobre el suelo referencial,

manifiesta la influencia de forma negativa del manejo en la propiedad indicada. La velocidad de infiltración con valor de 0,33 refiere que en la subunidad analizada hay cerca de 70% de cada valor de infiltración esperado en relación a las cualidades edáficas. Las densidades aparentes indican que dichos suelos se encontraban en nivel de compactación media, debido a que la media ponderada de la subunidad se encontró dentro del valor mínimo de sitio referencial y los máximos que se midieron para la región. En el caso del espesor de horizonte A, mostró hubo una evidente disminución en comparación al suelo referencial donde alcanzaba alrededor del 70%. Esto es debido primordialmente al proceso de erosión hídrica que se estimaron en dicha zona aplicando modelos y a través de mediciones directamente en el campo.

Se obtuvo un valor de 0,47 para el índice de calidad del suelo (ICS), al emplear este set mínimo de indicadores suele ubicarse como suelos de calidad moderada. El valor del ICS fue influenciado por el C orgánico, siendo esta propiedad con mayor afectación por los manejos otorgados a esta subunidad. El C orgánico suele considerarse como un atributo clave debido a que resalta la influencia a muchas propiedades edáficas (Gregorich *et al.*, 1994). Cuando disminuye el C orgánico ocasionaría que bajen los valores de la infiltración y estabilidad de agregados, mientras que en el caso del indicador densidad aparente sea media. Los cambios en cada propiedad física afectan la condición superficial edáfica con la cual provoca que se incremente el proceso de erosión con la cual se pierde el espesor del horizonte superficial, que se refleja a través del indicador correspondiente.

En el distrito de Pueblo Nuevo, Trujillo (2019) determinó las propiedades físicoquímicas de los suelos con árboles de *C. spruceanum* establecidas a 5 m de distanciamiento y 11 años de edad, en donde determinó que fue de textura franco, con valores de 5,40 para el pH, 2,01% de materia orgánica, 0,09% de nitrógeno, 6,46 ppm de fósforo, 60,97 ppm de potasio, 5,18 Cmol(+)/kg de calcio y 0,91 Cmol(+)/kg de magnesio, concluyendo que la calidad del suelo de este sistema es baja por registrar un puntaje de 0,32.

Soudre (1995) al realizar evaluaciones de rodales naturales y homogéneos de *C. spruceanum* en la comunidad nativa de Callería (61 ha) que se ubica en el distrito de Callería de la región Ucayali, reportó que el suelo fue de textura franco limosa, regular permeabilidad, nivel del pH neutro a ligeramente alcalino, bajos niveles en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, saturación de bases alta, bajo nivel de materia orgánica en el interior del perfil a excepción de la parte superficial, elevado contenido de calcio cambiante, el drenaje registró variaciones desde medio hasta pobre y de un material madre aluvial reciente. Además, resaltó que dicho suelo da indicios de un pobre desarrollo del perfil y le clasificó en orden de Entisoles, suborden Fluvients, gran grupo de los Ustifluents, que equivale a un suelo de tipo Gleysol.

En Sao Paulo, Schumacher (1992) estudió a *E. torelliana* con 10 años de edad logrando estimar una deposición anual de hojarasca en 5,8 t/ha que representa el contenido de 3,1 kg de P, 67,2 kg de N, 12,3 kg de mg, 43,6 kg de Ca y 43,7 kg de K; a los 12 años de edad, la producción de fitomasa fue de 171,3 t/ha distribuidas en 1,8 t de hojas, 15,7 t de ramas, 11,2 t de corteza y 142,5 t de madera, siendo estimado una cantidad de nutrientes minerales en la fitomasa total en 23 kg de P, 332,8 kg de N, 82,2 kg de Mg, , 528,8 kg de Ca y 327 kg de K.

Schumacher y Poggiani (1993) estudiaron la distribución de la biomasa y los nutrientes almacenados en cada compartimento (hojas, ramas, corteza y madera) de los árboles de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus torelliana* con 9,9 y 12 años de edad, respectivamente, plantados en suelos arenosos y de baja fertilidad. *E. grandis* presentó mayor producción de biomasa para todos los compartimentos analizados, a excepción de las ramas gruesas. En las tres especies, el tronco (corteza + madera) representó un promedio del 90% de la biomasa aérea. Los nutrientes se concentraron en la disminución de hojas, ramas, corteza y madera. Las copas de los árboles fueron responsables de la acumulación de aproximadamente el 24% de los nutrientes contenidos en la biomasa total de los árboles. La corteza contiene las mayores cantidades de calcio, aproximadamente el 60% del total. *E. grandis* eliminó la mayor cantidad de nutrientes del suelo, desarrollando cantidades más pequeñas que las otras especies a través de la caída de la hojarasca.

Panduro (2017) determinó el impacto de los monocultivos de *Eucalyptus salignas* y *Eucalyptus torrelliano* respecto a los niveles de humedad edáfica que se encontraban en el centro poblado César Vallejo perteneciente a la provincia de Rioja. Las muestras obtenidas fueron de diferentes profundidades por un periodo de un año; llegó a evidenciar que *E. torrelliano* posee similar contenido de humedad en el suelo, siendo 9,26% al interior y 8,64% al exterior de la plantación, mientras que en *E. salignas*, si hay diferencias significativas con 8,33% en el interior y 5,54% en el exterior de las plantaciones.

En Ecuador, Franco *et al.* (2023) estudiaron plantaciones en los cantones Tena y Archidona de la provincia de Napo entre los 350 a 800 msnm con precipitación superior a los 4 000 mm/año y una temperatura media desde 23 a 26 °C. Los suelos son todos relativamente recientes o poco evolucionados, clasificándose como Inceptisoles y Entisoles. El pH fluctuó desde 4,5 a 5,5 en suelos más evolucionados (Inceptisoles) y de 5,5 a 6 en suelos Entisoles. En los sedimentos más recientes y cercanos a los ríos domina la textura franco arenoso, pero también hay suelos finos y en los más alejados y altos (terrazas onduladas) predomina franco a franco arcilloso. La materia orgánica en el horizonte A1 es medio a alto (>4%), así como el N (NH₄), Zn, Cu, Fe, Mn y B; el P puede ser bajos o altos y los contenidos en bases y la capacidad

de intercambio catiónico efectiva (CICe: suma de cationes) presenta valores bajos a muy bajos. En general, los suelos son de fertilidad baja a media, con limitaciones por alta acidez, baja CICe y deficiencia en bases (Ca, Mg, K). Su fortaleza radica en altos contenidos de materia orgánica y de N (NH₄), atribuibles a la plantación de *C. cateniformis* (reciclaje de nutrientes y fijación de N). En la Reserva Biológica Colonso Chalupas que es un bosque natural, Sachayaku con una plantación de tres años y Parayaku con plantaciones de ocho años, el P en el horizonte A1 se encontró alto, en el resto de suelos son bajos contenidos.

Azañero *et al.* (2020) determinaron y compararon la calidad del suelo por medio del SUSS en parcelas de cocal (CO), sistema agroforestal (SAF) y también en un bosque secundario (BS) en la localidad Río Espino, Monzón (Huánuco-Perú). Entre los resultados encontraron una calidad de suelo aceptable del SAF, sensible para el BS y marginal en CO. Llegaron a la conclusión que, el SAF posee mejor índice de calidad donde los indicadores en ocasiones suelen alejarse del valor óptimo, de manera contraria se encuentra el CO por tener bajo índice con sus indicadores distantes del valor deseable en dicho suelo.

Oré *et al.* (2022) determinaron la influencia de los sistemas de uso con distintas edades sobre la calidad edáfica en el sector Cora Cora en el distrito Luyando del departamento de Huánuco, evaluaron al sistema agroforestal, coca y bosque secundario. Como resultado, resaltaron una calidad sensible del suelo en el sistema agroforestal y una calidad pobre para los sistemas de coca y bosque secundario.

Valdez *et al.* (2020) en la región Ucayali evaluó la biomasa y la cantidad de nutrientes en los suelos de monocultivos de *Eucalyptus urograndis*, en las edades de 15, 34, 39 y 52 meses de establecido, llegando a registrar que, la extracción de macronutrientes se llevó a cabo en el orden descendente desde: calcio, potasio, nitrógeno, magnesio, sodio y fósforo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación fue desarrollada en parcelas con plantaciones forestales que se habían establecido empleando el método cuadrado donde el distanciamiento fue de 3,0 m entre plantas y filas para las especies *C. spruceanum*, *E. torreliana*, *C. glandulosa* y *C. cateniformis*, localizadas entre los departamentos de San Martín y Huánuco. Además, estas plantaciones registraban como característica común una edad de cuatro años desde su establecimiento (**Tabla 13**).

Tabla 13. Ubicación política y geográfica de las plantaciones coetáneas de cuatro especies forestales.

Especie	Ubicación política			Ubicación (UTM)		Altitud (m.s.n.m.)
	Distrito	Provincia	Departamento	Este	Norte	
<i>C. spruceanum</i>	Uchiza	Tocache	San Martín	343774	9071933	508
	Nuevo Progreso	Tocache	San Martín	343796	9061396	520
<i>E. torreliana</i>	Nuevo Progreso	Tocache	San Martín	343796	9061396	520
	Cholón	Marañón	Huánuco	343799	9061404	519
<i>C. glandulosa</i>	Nuevo Progreso	Tocache	San Martín	343796	9061396	520
	Nuevo Progreso	Tocache	San Martín	343796	9061396	520
<i>C. cateniformis</i>	La Morada	Marañón	Huánuco	360672	9029489	526
	La Morada	Marañón	Huánuco	360672	9029489	526

Tabla 14. Descripción de las plantaciones forestales.

Código de la plantación	Especie forestal	Departamento
PF ₁	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (capirona)	San Martín
PF ₂	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (capirona)	San Martín
PF ₃	<i>Eucalyptus torreliana</i> (eucalipto tropical)	San Martín
PF ₄	<i>Eucalyptus torreliana</i> (eucalipto tropical)	Huánuco
PF ₅	<i>Colubrina glandulosa</i> (shaina)	San Martín
PF ₆	<i>Colubrina glandulosa</i> (shaina)	San Martín
PF ₇	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (tornillo)	Huánuco
PF ₈	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (tornillo)	Huánuco

3.1.1. Características de las parcelas con especie forestal en estudio

PF₁ *Calycophyllum spruceanun*, sector de los Ángeles (Uchiza), el suelo anteriormente era trabajado con cultivo ilícito (coca), después de un periodo de resiliencia del suelo sin cultivo, se procedió a instalar la especie forestal, después de 4 años de su instalación la especie forestal se encuentra en un desarrollo normal, con un diámetro promedio de $14,3 \pm 3,3$ cm, altura media de $15,0 \pm 3,4$ m, altura, y copa, de acuerdo a la geografía del terreno es llano o plana.

PF₂ *Calycophyllum spruceanun*, sector de Ramal de Azpusana (Nuevo Progreso), el suelo anteriormente era trabajado con cultivo ilícito (coca), después de un tiempo de recuperación del suelo sin cultivo agrícola, se procedió a instalar la especie forestal, después de 4 años de su instalación la especie forestal se encuentra en un desarrollo normal, con un diámetro promedio de $13,3 \pm 2,3$ cm, altura media de $16,0 \pm 3,3$ m y copa, de acuerdo a la geografía del terreno es una colina baja (loma).

PF₃ *Eucalyptus torreliana*, sector de Ramal de Azpusana (Nuevo Progreso), el suelo anteriormente era trabajado con pastizal y ganadería, después de un tiempo de abandono de las parcelas sin cultivo, se procedió a instalar la especie forestal, después de 4 años de su instalación la especie forestal se encuentra en un desarrollo normal, con un diámetro promedio de $17,7 \pm 3,8$ cm, altura media de $18,0 \pm 2,6$ m y copa, de acuerdo a la geografía del terreno es una colina baja (loma).

PF₄ *Eucalyptus torreliana*, sector de bajo camote (Cholón), el suelo aun encuentra en actividad con un sistema silvopastoril, que anteriormente era trabajado con cultivo ilícito (coca), y se procedió a instalar la especie forestal, después de 4 años de su instalación la especie forestal se encuentra en un desarrollo normal, con un diámetro promedio de $16,7 \pm 4,8$ cm, altura media de $17,0 \pm 2,3$ m, altura, y copa, de acuerdo a la geografía del terreno es llano o plana.

PF₅ *Colubrina glandulosa*, sector de Ramal de Azpusana (Nuevo Progreso), el suelo anteriormente era trabajado como pastizal, después de un tiempo de abandono de las parcelas sin cultivo, se procedió a instalar la especie forestal, después de 4 años de su instalación la especie forestal se encuentra en un desarrollo normal, con un diámetro, altura, y copa, de acuerdo a la geografía del terreno es una colina baja (loma).

PF₆ *Colubrina glandulosa*, sector de Ramal de Azpusana (Nuevo Progreso), el suelo anteriormente era trabajado como pastizal, después de un tiempo de abandono de las parcelas sin cultivo, se procedió a instalar la especie forestal, después de 4 años de su instalación la especie forestal se encuentra en un desarrollo normal, con un diámetro,

altura, y copa, de acuerdo a la geografía del terreno es una colina baja (loma). Los reportes para las dos parcelas de esta especie reportan como diámetro promedio de $12,2 \pm 1,5$ cm y altura total media de $18,0 \pm 2,8$ m.

PF₇ *Cedrelinga cateniformis*, sector de la Morada, (Morada) el suelo anteriormente era trabajado con pastizal, después se instaló un cultivo de plátano y dentro de ello se procedió a instalar la especie forestal, después de 5 años de su instalación la especie forestal se encuentra en un desarrollo óptimo, con un diámetro, altura, y copa, de acuerdo a la geografía del terreno es una es llano o plana.

PF₈ *Cedrelinga cateniformis*, sector de la Morada, (Morada) el suelo anteriormente era trabajado con pastizal, después se instaló un cultivo de plátano y dentro de ello se procedió a instalar la especie forestal, después de 5 años de su instalación la especie forestal se encuentra en un desarrollo óptimo, con un diámetro, altura, y copa, de acuerdo a la geografía del terreno es una es llano o plana. En base a los datos de las dos parcelas con esta especie, se obtuvo un diámetro promedio de $18,1 \pm 4,4$ cm y la altura total de $17,0 \pm 3,3$ m.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales de campo

El muestreo de suelos para el análisis de sus propiedades físicoquímicas, fue realizado utilizando: wincha de 50 metros, un barreno tubular RM-100, infiltrómetro, bolsas de polietileno, hilo rafia, balde de plástico con 5 L de capacidad, etiquetas de papel, machete y martillo.

3.2.2. Materiales de laboratorio

Para realizar el análisis de las propiedades físicoquímicas de los suelos se tuvo que requerir los siguientes materiales: tamiz de 5,2 y 0,25 mm de diámetro, densímetro de Bouyoucos o hidrómetro, cilindro graduado de 1 000 cm³, batidora, émbolo de agitación (varilla de cobre), termómetro, pipeta, espátula, tara de aluminio, embudo de vidrio, balones aforados o fiolas con capacidad de 100 cm³ y 300 cm³, papel filtro Whatman N° 42, tubo de ensayo, pipeta volumétrica de 20 o 25 cm³, vaso precipitado de 50 mL, buretas de 25 ml, pipetas volumétricas de 2 mL, tubos Klett, picetas, probeta de 200 y 1 000 mL, desecador de cristal y matraz.

3.2.3. Equipos

Se consideró el uso del receptor GPS GARMIN Etrex modelo LEGEND HCx, estufa eléctrica, balanza con precisión a 0,1 g, espectrofotómetro de absorción atómica, cronómetro, conductímetro, pH metro, penetrómetro y cámara fotográfica SONY.

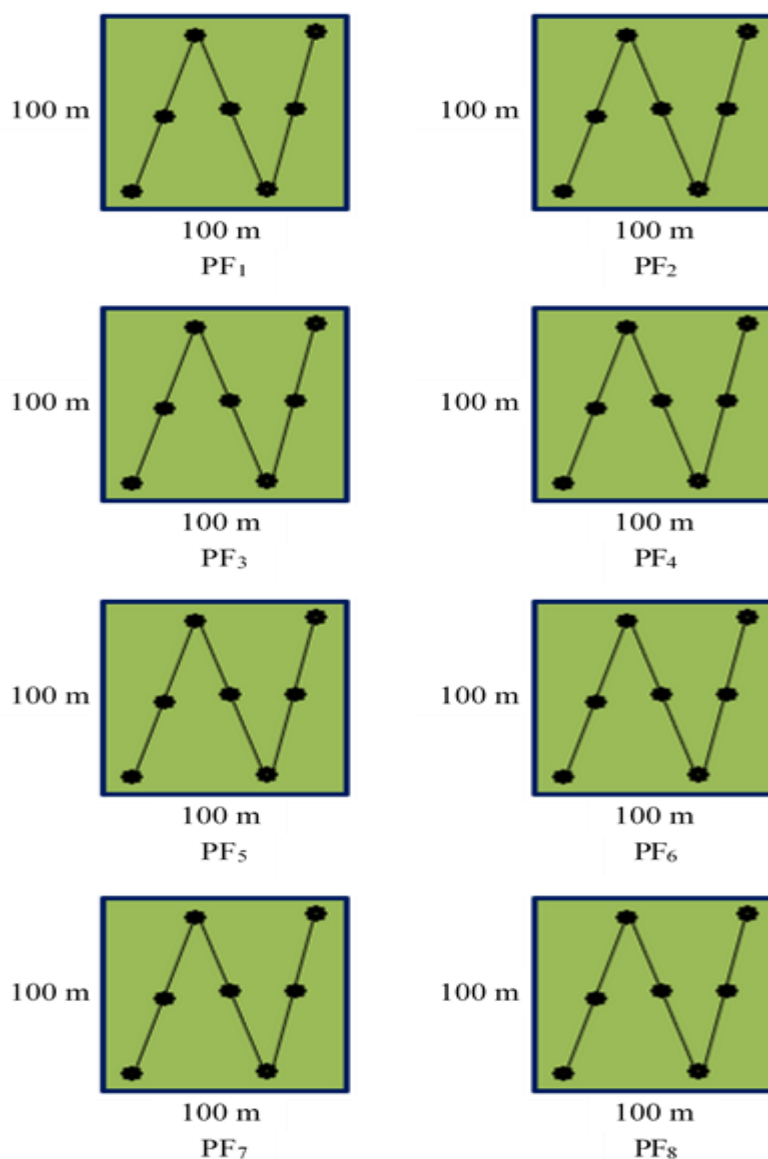
3.2.4. Tipo de investigación

La investigación presentó como característica primordial ser del tipo aplicada, de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y prosiguió un diseño no experimental.

3.2.5. Metodología

3.2.5.1. Evaluación de los indicadores fisicoquímicos del estado del recurso suelo para determinar su calidad, en plantaciones forestales coetáneas ubicadas en los departamentos San Martín y Huánuco

Al tener identificados las plantaciones forestales, se procedió a evaluarlas tomando en consideración el muestreo del suelo (Moscatelli *et al.*, 2005) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA); para determinar las propiedades físicas y químicas se prosiguió a secuencia considerada por Bazán (1996) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA, 1999).



● Punto de muestreo.

Figura 1. Diagrama de muestreo de suelos para análisis fisicoquímico, en cada una de las plantaciones coetáneas de cuatro especies forestales.

Cada sistema forestal abarcó un área de 10 000 m². En cada una de ellas se estableció siete puntos de muestreo; en cada punto se extrajo dos sub muestras de suelos correspondientes a profundidades desde la superficie hasta los 10 cm y entre los 10 cm hasta los 40 cm, las mismas que luego fueron mezcladas para cada punto de muestreo, obteniéndose un total de 112 muestras en los cuatro sistemas; las mismas que fueron distribuidas en la mayor parte de la superficie de las parcelas prosiguiendo la trayectoria en zigzag (**Figura 1**). Cada muestra se colectó empleando un barreno tubular RM-100.

Cabe mencionar que previo a la extracción de muestras, se procedió a proyectar el recorrido en zigzag dentro de la parcela para posteriormente ubicar el punto de muestreo en donde se ha tenido que retirar de la superficie los restos de materiales orgánicos como las hojarascas, vegetación u otros contaminantes que pudieran afectar los valores de cada indicador fisicoquímico del suelo, luego se realizó una marcación al barreno tubular RM-100 hasta los 40 cm con la finalidad de extraer la porción de suelo hasta la profundidad requerida, luego se introdujo el barreno a la medida señalada se realizó un giro completo hacia la derecha y posteriormente se retiró del suelo obteniendo las submuestras requeridas para que se las seccionen en dos partes que se colocaron en bolsas diferentes. Los parámetros y método de análisis para cada muestra de suelos, son presentados en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Metodología para el análisis de los indicadores fisicoquímicos del suelo.

Indicador	Método de análisis
Densidad aparente (Dap)	De la probeta (USDA, 1999 y Moscatelli <i>et al.</i> , 2005)
pH	Relación agua-suelo 2:1 (Bazán, 1996)
Conductividad eléctrica (CE)	Conductímetro (Bazán, 1996)
Materia orgánica (MO)	Walkley y Black (Bazán, 1996)
Nitrógeno (N) total	Materia orgánica (Bazán, 1996)
Fósforo (P) disponible	Olsen modificado (Bazán, 1996)
Calcio (Ca) intercambiable	Acetato de Amonio pH 7,0 Absorción atómica o Flamometría (Bazán, 1996)
Magnesio (Mg) intercambiable	Acetato de Amonio pH 7,0 Absorción atómica o Flamometría (Bazán, 1996)

Sodio (Na) intercambiable	Acetato de Amonio pH 7,0; Absorción atómica o Flamometría
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Acetato de Amonio AS-12 (Bazán, 1996)

Las muestras de los suelos fueron rotuladas para posteriormente realizar los análisis antes descritos, razón por esto fueron trasladados hacia el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Facultad de Agronomía donde se encargaron de determinar el análisis mecánico y demás análisis químicos, el mismo que pasado un tiempo emitieron los resultados del análisis de suelos donde incluyeron como encabezado el nombre del solicitante, el sector de donde proviene la muestra, la especie forestal y el nombre del propietario de la plantación, siendo firmado por parte del jefe de laboratorio indicado.

Habiendo recepcionado los resultados de los análisis de suelos, estos se procedieron a digitalizarlos en una hoja de cálculo Ms Excel 2010 en donde la matriz de datos presentaba como encabezado los ítems siguientes:

- Plantación: cuyos códigos fueron números enteros que iniciaron en 1 llegando hasta 8, que representaban la cantidad de plantaciones forestales evaluadas.
- Distrito: cuyos códigos fueron números enteros que iniciaron en 1 llegando hasta 4, que correspondían a cada distrito donde se encontraban las plantaciones forestales.
- Especie: cuyos códigos fueron números enteros que iniciaron en 1 llegando hasta 4, que correspondían a cada especie forestal que abarcó la presente investigación.
- Repetición: cuyos códigos fueron números enteros de 1 y 2, que correspondían a las dos plantaciones evaluadas por cada especie forestal.
- Puntos: cuyos códigos fueron números enteros que iniciaron en 1 llegando hasta 7, que correspondían a la cantidad de puntos de muestreo que se consideró utilizar dentro de cada plantación estudiada.
- Profundidad: cuyos códigos fueron números enteros que iniciaron en 1 y 2, donde el valor menor correspondía a la submuestra de suelo extraída hasta una profundidad de 10 cm desde la superficie

del suelo y en el caso del segundo código representaba a la submuestra de suelo obtenida desde los 10 hasta los 40 cm.

- Indicadores de las propiedades físicas y químicas de las muestras de los suelos, lo conformaron distintos encabezados basados en cada indicador obtenido por parte del laboratorio de análisis de suelos.

Luego de colocar los encabezados con sus respectivos códigos, se procedió a digitalizar cada dato del documento emitido por parte del laboratorio de análisis de suelos con la cual al final se obtuvo una matriz de datos, se guardó el archivo para que posteriormente se opte por abrir el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 27 en donde se abrió los datos desde la hoja Ms Excel 2010, se verificaron los códigos y posteriormente se utilizó la opción segmentar con la finalidad de que los resultados obtenidos no se juntaran por cada profundidad de muestreo, especie forestal, luego a cada indicador fisicoquímico se procedió a determinar los estadísticos descriptivos como:

- Cantidad de datos (N): representó a totalidad de los datos que se encontraban en la matriz de datos para cada variable y por cada condición a analizar.
- Promedio aritmético (Media):
- Desviación estándar (DE):
- Error estándar de la media (EE):
- El valor mínimo (Mín.): representó el valor y/o los valores más bajos que presentaban un conjunto de datos de la variable analizada.
- El valor máximo (Máx.): representó el valor y/o los valores más altos que presentaban un conjunto de datos de la variable analizada.
- El coeficiente de variabilidad (CV): Valor determinado en términos porcentuales para conocer la variabilidad de los datos respecto a la media de alguna variable en específico.

Se utilizó la opción exportar con la finalidad de guardar los resultados en Ms Excel 2010 en donde recién se pudo editar las tablas y elaborar las figuras de histogramas acoplados con las barras de error en base a la desviación estándar, además en algunos indicadores se colocaron los límites de los niveles químicos de los suelos: En el caso del CV, debido a que el SPSS no realiza su cálculo de manera directa, se obtuvo que determinar el valor en la hoja de cálculo Ms Excel 2010 en donde solamente se utilizó una fórmula que emplea a la desviación estándar dividido entre la media cuyo resultado se multiplicó por 100.

Luego de obtener las tablas y figuras por cada indicador, se procedió a elaborar pegar en Ms Word para que posteriormente se las interprete.

Otro de los análisis descriptivos consistió en realizar comparaciones estadísticas entre plantaciones, en este caso se procedió a utilizar una prueba estadística denominada análisis de la varianza con la cual se pueden realizar comparaciones para tres a más grupos y/o poblaciones, en el caso de la presente tesis se tuvo cuatro especies forestales, en donde la hipótesis sometida a contrastación fue: Al menos unas de las plantaciones forestales presentan diferentes niveles de los indicadores fisicoquímicos de los suelos. Los análisis se realizaron para dos profundidades de muestreo de suelos (0 a 10 cm y 10 a 40 cm), seguidamente en el caso de que se encontrara significancia estadística, se optó por realizar la comparación de medias mediante la prueba de Duncan, siendo todos los análisis llevados a cabo a un nivel de confianza del 95%.

3.2.5.2. Determinación de la calidad del suelo mediante la aplicación del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), en plantaciones forestales coetáneas localizadas en los departamentos San Martín y Huánuco

Con la matriz de datos de Ms Excel 2010, se accedió a las columnas para que se estimen los indicadores y el subíndice de uso sostenible de los suelos (SUSS) prosiguiendo lo descrito por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012). El proceso consideró la agrupación de las propiedades físicas y químicas que se relacionen a la calidad de los suelos, por medio del promedio aritmético de cada valor normalizado para los indicadores edáficos (i).

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

Siendo:

P : Media del valor de cada parámetro normalizado,

i : cada parámetro o indicador analizado, y

n : Cantidad de parámetros analizados.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m R_{nj}}{m}$$

Siendo:

R_n : valor resultante del parámetro normalizado,

m : Cantidad de muestras de suelos analizadas, y

j : Cada muestra de suelo.

El modelo matemático para calcular la normalización de cada indicador consistió en la fórmula:

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

Siendo:

Rn : Resultado normalizado,

Vr : Valor del parámetro fisicoquímico (indicador),

d : Valor deseable en el indicador,

c : Valor de corte en el indicador, y

j : Cada muestra de suelo.

Cada rango del valor deseable y también el valor de corte de los indicadores a emplear para calcular el SUSS, son presentados en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo.

Indicadores	Unidad	Rango o valor deseable (d)	Valor de corte (c)
Densidad aparente (Dap)	g/cm ³	Menor a 1,1	1,47
pH	pH	6 < pH < 7	5,00 < pH < 8,50
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m ⁻¹	Menor a 1	4,10
Materia orgánica (MO)	%	Mayor a 5	0,50
Nitrógeno (N) total	%	Mayor a 0,2	0,05
Fósforo (P) disponible	mg/kg	Mayor a 5,5	0,00
Calcio (Ca) intercambiable	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	Mayor a 5	0,00
Magnesio (Mg) intercambiable	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	Mayor a 0,3	0,00
Sodio (Na) intercambiable	Cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹	Menor a 1	1,50
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Cmol ⁽⁺⁾ /kg	Mayor a 15	5,00

Fuente: SAGARPA (2012).

La interpretación del índice fue realizada conforme a las clasificaciones dadas en el **Tabla 17**. Con fines de que se alcancen los análisis detallados de los SUSS, se realizaron los cálculos para cada punto evaluado y la profundidad de las submuestras de suelo obtenidos, seguidamente se realizaron la obtención de los estadísticos descriptivos prosiguiendo lo descrito en el objetivo anterior; los resultados fueron presentados en tablas y

figuras. Para poder comparar los valores de los SUSS por cada especie forestal (**Tabla 18**) agrupados por cada profundidad de donde se obtuvieron las submuestras de suelos, se prosiguió a someterlos al análisis de la varianza a un 95% de confiabilidad.

Tabla 17. Rangos interpretativos del SUSS.

Calidad del suelo	Descripción
Bueno ($0,95 < \text{SUSS} \leq 1,0$)	La condición de calidad del suelo es deseable para que se lleve el establecimiento de cultivos agrícolas.
Aceptable ($0,80 < \text{SUSS} \leq 0,95$)	La calidad del suelo se acerca a las condiciones deseables. Las variables sometidas a análisis se alejan poco del valor adecuado.
Sensible ($0,65 < \text{SUSS} \leq 0,80$)	Cada parámetro medido en ocasiones se aleja del valor óptimo.
Marginal ($0,45 < \text{SUSS} \leq 0,65$)	Cada indicador de calidad es distante del valor deseable.
Pobre ($0 < \text{SUSS} \leq 0,45$)	La calidad del suelo para fin agrícola se encuentra amenazada o afectada. Cada indicador se aleja de manera completa del nivel deseable.

Fuente: SAGARPA (2012).

Tabla 18. Grupos de comparación de las plantaciones en estudio.

Código	Repetición	Especie forestal	Área (ha)	Código
T ₁	R ₁	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (capirona)	1,0	PF ₁
	R ₂	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (capirona)	1,0	PF ₂
T ₂	R ₁	<i>Eucalyptus torreliana</i> (eucalipto tropical)	1,0	PF ₃
	R ₂	<i>Eucalyptus torreliana</i> (eucalipto tropical)	1,0	PF ₄
T ₃	R ₁	<i>Colubrina glandulosa</i> (shaina)	1,0	PF ₅
	R ₂	<i>Colubrina glandulosa</i> (shaina)	1,0	PF ₆
T ₄	R ₁	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (tornillo)	1,0	PF ₇
	R ₂	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (tornillo)	1,0	PF ₈

No se procedió a realizar la comparación de medidas debido a que en los resultados no se determinó significancia estadística y se concluyó la similitud de resultados entre los valores del SUSS por las especies forestales coetáneas.

3.2.5.3. Determinación de la relación entre el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) y los indicadores fisicoquímicos, en las plantaciones forestales coetáneas en estudio

Con fines de conocer la relación existente entre el valor del SUSS y los indicadores fisicoquímicos del suelo de las plantaciones forestales coetáneas, se procedió a verificar la distribución de los datos mediante el SPSS en donde se sometió a la opción de analizar, pruebas no paramétricas, K-S de 1 muestra y se arrastraron las variables a analizar, las hipótesis a contratar fueron las siguientes:

H₀: Los datos del SUSS y los indicadores fisicoquímicos del suelo presentan una distribución normal.

H₁: Los datos del SUSS y los indicadores fisicoquímicos del suelo no presentan una distribución normal.

Una vez ya conocido la distribución de los datos de cada variable en estudio se sometió a realizar la prueba de correlación, siendo la prueba de correlación de Pearson (r - paramétrico) en el caso de que los datos de ambas variables presenten distribución normal, caso contrario se realizó la correlación de Spearman (ρ – no paramétrico) en el caso de que al menos una variable no presentó distribución normal, la hipótesis a contrastar fue la siguiente:

H₀: Las variables SUSS e indicadores fisicoquímicos del suelo son independientes en las plantaciones coetáneas de cuatro especies forestales.

H₁: Las variables SUSS e indicadores fisicoquímicos del suelo se encuentran relacionadas en las plantaciones coetáneas de cuatro especies forestales.

Para la toma de decisión se realizó mediante el nivel de significancia tomado en cuenta que fue del 5% (**Figura 2**).

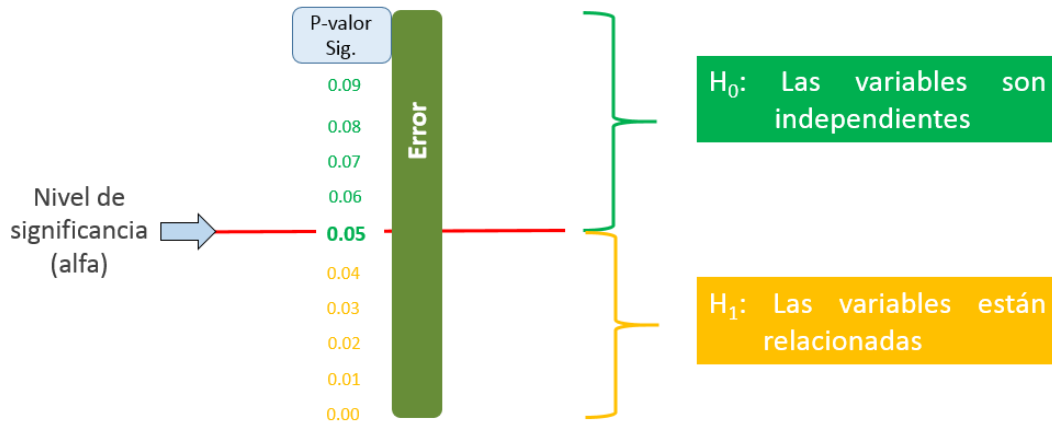


Figura 2. Regla de decisión para la prueba de hipótesis.

Además, como parte del resultado el programa otorgó valores de: r o rho (valor del coeficiente), Sig. (valor de la significancia) y N (número de datos en el programa que fueron correlacionados). Una vez que se contrastó las hipótesis, se utilizaron los rangos considerados por Hernández-Sampieri *et al.* (2014):

- $-1,00$: Nivel de correlación negativa perfecta entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- $-0,90$: Nivel de correlación negativa muy fuerte entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- $-0,75$: Nivel de correlación negativa considerable entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- $-0,50$: Nivel de correlación negativa media entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- $-0,25$: Nivel de correlación negativa débil entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- $-0,10$: Nivel de correlación negativa muy débil entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- $0,00$: Ausencia de correlación entre variables.
- $+0,10$: Nivel de correlación positiva muy débil entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- $+0,25$: Nivel de correlación positiva débil entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- $+0,50$: Nivel de correlación positiva media entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.

- +0,75: Nivel de correlación positiva considerable entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- +0,90: Nivel de correlación positiva muy fuerte entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.
- +1,00: Nivel de correlación positiva perfecta entre los SUSS y los indicadores fisicoquímicos.

3.2.5.4. Variables dependientes

- Calidad del suelo (Subíndice de Uso Sustentable del Suelo - SUSS) de las plantaciones coetáneas de cuatro especies forestales.
- Propiedades físicas de los suelos: Densidad aparente (Dap).
- Propiedades químicas de los suelos: Materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), pH, fósforo (P) disponible, Magnesio (Mg) intercambiable, calcio (Ca) intercambiable, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno (N) total.

3.2.5.5. Variables independientes

- Plantación de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) (PF₁).
- Plantación de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) (PF₂).
- Plantación de *Eucalyptus torrelliana* (eucalipto tropical) (PF₃).
- Plantación de *Eucalyptus torrelliana* (eucalipto tropical) (PF₄).
- Plantación de *Colubrina glandulosa* (shaina) (PF₅).
- Plantación de *Colubrina glandulosa* (shaina) (PF₆).
- Plantación de *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) (PF₇).
- Plantación de *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) (PF₈).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de los indicadores fisicoquímicos del estado del recurso suelo para determinar su calidad, en plantaciones forestales coetáneas

4.1.1. Densidad aparente

En el análisis descriptivo de los datos correspondientes a la densidad aparente del suelo se observan que hay ligera superioridad de los promedios en la parte más superficial del suelo muestreado en todas las plantaciones consideradas en el estudio; además los resultados obtenidos muestran una homogeneidad de los datos entre las repeticiones realizadas que se determinó mediante el coeficiente de variación (**Tabla 19** y **Figura 3**).

Tabla 19. Estadígrafos de la densidad aparente en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (g/cm ³)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C. spruceanum</i>	1	7	1,29	0,05	0,02	1,23	1,36	3,73
		2	7	1,17	0,03	0,01	1,13	1,22	2,49
		Total	14	1,23	0,07	0,02	1,13	1,36	5,74
10 a 40	<i>C. spruceanum</i>	1	7	1,17	0,07	0,03	1,05	1,28	6,34
		2	7	1,09	0,05	0,02	1,03	1,16	4,22
		Total	14	1,13	0,07	0,02	1,03	1,28	6,36
0 a 10	<i>E. torreliana</i>	1	7	1,11	0,06	0,02	1,00	1,20	5,58
		2	7	1,16	0,06	0,02	1,05	1,24	5,12
		Total	14	1,13	0,06	0,02	1,00	1,24	5,50
10 a 40	<i>E. torreliana</i>	1	7	1,07	0,06	0,02	0,95	1,13	5,29
		2	7	1,07	0,05	0,02	0,99	1,11	4,44
		Total	14	1,07	0,05	0,01	0,95	1,13	4,70
0 a 10	<i>C. glandulosa</i>	1	7	1,14	0,02	0,01	1,11	1,17	1,89
		2	7	1,15	0,01	0,00	1,13	1,16	1,06
		Total	14	1,15	0,02	0,00	1,11	1,17	1,56
10 a 40	<i>C. glandulosa</i>	1	7	1,10	0,02	0,01	1,06	1,14	2,21
		2	7	1,11	0,03	0,01	1,07	1,14	2,38
		Total	14	1,11	0,02	0,01	1,06	1,14	2,21
0 a 10	<i>C. cateniformis</i>	1	7	1,20	0,04	0,01	1,15	1,25	3,03
		2	7	1,18	0,04	0,02	1,12	1,24	3,50
		Total	14	1,19	0,04	0,01	1,12	1,25	3,38
10 a 40	<i>C. cateniformis</i>	1	7	1,18	0,03	0,01	1,14	1,23	2,84
		2	7	1,16	0,04	0,02	1,11	1,22	3,50
		Total	14	1,17	0,04	0,01	1,11	1,23	3,26

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

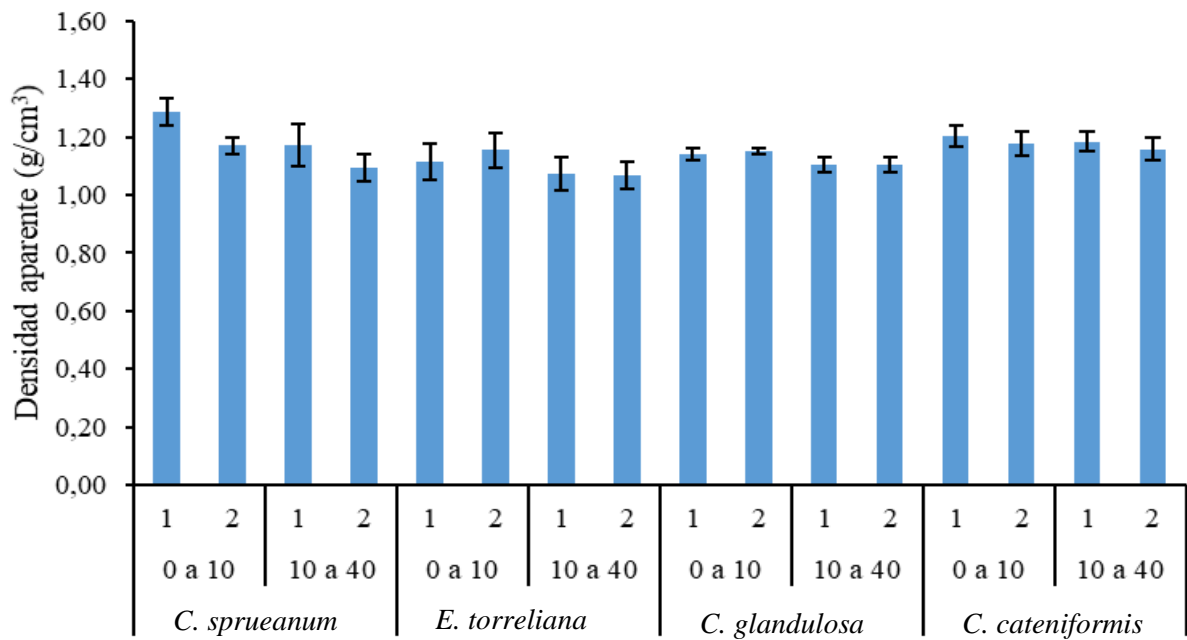


Figura 3. Densidad aparente de los suelos en las plantaciones coetáneas.

En la comparación de los datos para la capa superficial comprendida entre los 10 cm primeros de los suelos con las cuatro especies forestales, no registró diferencias estadísticas significativas respecto a la densidad aparente, de manera similar ocurrió en las muestras de suelos obtenidos de la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza (**Tabla 20**).

Tabla 20. ANVA para la densidad aparente en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	0,011	3	0,004	1,888	0,273 ^{ns}
	Error aleatorio	0,008	4	0,002		
	Total	0,019	7			
10 a 40	Especies forestales	0,011	3	0,004	4,237	0,098 ^{ns}
	Error aleatorio	0,003	4	0,001		
	Total	0,014	7			

ns: No existen diferencias estadísticas.

Las densidades aparentes no fueron muy elevadas, ya que en una parcela contenida de coca evaluada por Oré *et al.* (2022) registró 1,14 g/cm³, disminuyendo a 1,0 g/cm³ en el caso del suelo de bosque secundario, lo cual se alcanzaría mientras más el tiempo en las plantaciones evaluadas en el presente estudio por el aporte de hojarasca y su sistema de raíces.

4.1.2. Nivel de pH

En el análisis descriptivo de los suelos procedentes de cuatro especies forestales, se registra mayores valores de pH en las muestras obtenidas en la parte más cercana a la superficie para las especies *C. spruceanum* y *E. torreliana*, muy diferentes que los suelos con las especies *C. glandulosa* y *C. cateniformis* (Tabla 21 y Figura 4).

Tabla 21. Estadígrafos del nivel de pH en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Plantación	N	Media	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)	
0 a 10	<i>C. spruceanum</i>	1	7	4,59	0,17	0,07	4,41	4,78	3,76	
		2	7	5,18	0,16	0,06	4,98	5,43	3,16	
		Total	14	4,88	0,34	0,09	4,41	5,43	7,06	
10 a 40		1	7	4,66	0,17	0,06	4,43	4,92	3,58	
		2	7	4,95	0,32	0,12	4,62	5,41	6,41	
		Total	14	4,80	0,28	0,08	4,43	5,41	5,93	
0 a 10		<i>E. torreliana</i>	1	7	4,47	0,30	0,11	4,20	4,90	6,65
			2	7	4,93	0,15	0,06	4,70	5,10	3,04
			Total	14	4,70	0,33	0,09	4,20	5,10	7,01
10 a 40	1		7	4,41	0,37	0,14	3,70	4,80	8,42	
	2		7	4,77	0,10	0,04	4,60	4,90	1,99	
	Total		14	4,59	0,32	0,09	3,70	4,90	6,96	
0 a 10	<i>C. glandulosa</i>		1	7	4,57	0,39	0,15	3,70	4,77	8,46
			2	7	4,77	0,12	0,05	4,59	4,94	2,61
			Total	14	4,67	0,29	0,08	3,70	4,94	6,30
10 a 40		1	7	4,74	0,06	0,02	4,64	4,84	1,31	
		2	7	4,77	0,12	0,04	4,59	4,97	2,42	
		Total	14	4,75	0,09	0,02	4,59	4,97	1,90	
0 a 10		<i>C. cateniformis</i>	1	7	4,49	0,17	0,06	4,27	4,76	3,81
			2	7	4,45	0,14	0,05	4,20	4,60	3,09
			Total	14	4,47	0,15	0,04	4,20	4,76	3,37
10 a 40	1		7	4,85	0,17	0,06	4,65	5,07	3,41	
	2		7	4,69	0,23	0,09	4,42	4,94	4,89	
	Total		14	4,73	0,25	0,03	3,70	5,41	5,27	

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

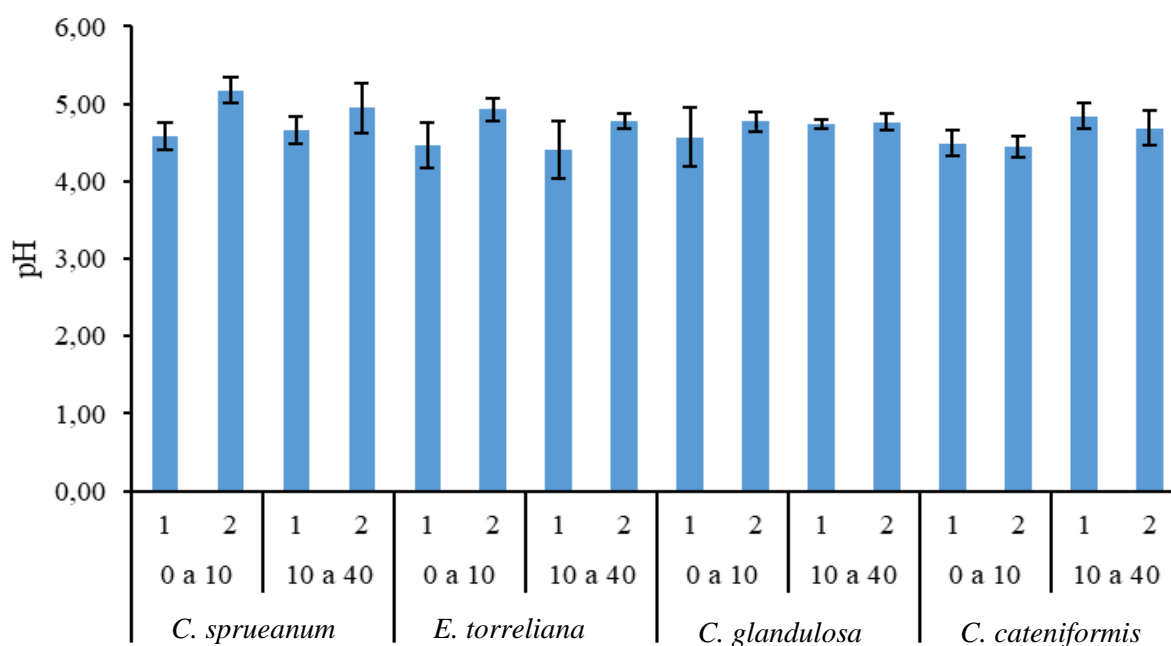


Figura 4. Nivel de pH en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Al comparar la capa superficial comprendida entre los 10 cm primeros de los suelos con las cuatro especies forestales, no registró diferencias estadísticas significativas respecto al nivel del pH, de manera similar ocurrió en las muestras de suelos obtenidos de la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza (**Tabla 22**).

Tabla 22. ANVA para el nivel de pH en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	0,168	3	0,056	0,748	0,578 ^{ns}
	Error aleatorio	0,299	4	0,075		
	Total	0,467	7			
10 a 40	Especies forestales	0,052	3	0,017	0,595	0,651 ^{ns}
	Error aleatorio	0,117	4	0,029		
	Total	0,169	7			

ns: No existen diferencias estadísticas.

El bajo nivel de pH por lo general está ligado a las labores aplicados años anteriores a los suelos y la presencia de elevada precipitación que generan en la mayor parte de los suelos de la amazonía peruana bajos niveles de este indicador, siendo similar lo reportado por Trujillo (2019) al encontrar en una plantación de *C. spruceanum* un valor de 5,40.

4.1.3. Conductividad eléctrica

Mayores valores de conductividad eléctrica se registran en la parte más cercana a la superficie del suelo, mientras que en *C. glandulosa* se mantiene similar este valor hasta los 40 cm de profundidad que se realizó el muestreo (Tabla 23 y Figura 5).

Tabla 23. Estadígrafos de la conductividad eléctrica en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (dS.m ⁻¹)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C. spruceanum</i>	1	7	0,06	0,01	0,01	0,03	0,07	21,70
		2	7	0,19	0,05	0,02	0,14	0,26	24,39
		Total	14	0,12	0,07	0,02	0,03	0,26	56,94
10 a 40	<i>C. spruceanum</i>	1	7	0,02	0,01	0,00	0,01	0,05	53,55
		2	7	0,10	0,03	0,01	0,06	0,15	31,24
		Total	14	0,06	0,04	0,01	0,01	0,15	72,36
0 a 10	<i>E. torreliana</i>	1	7	0,09	0,05	0,02	0,02	0,17	55,10
		2	7	0,09	0,05	0,02	0,03	0,20	53,89
		Total	14	0,09	0,05	0,01	0,02	0,20	52,36
10 a 40	<i>E. torreliana</i>	1	7	0,02	0,01	0,00	0,02	0,03	24,13
		2	7	0,03	0,01	0,00	0,02	0,04	32,85
		Total	14	0,03	0,01	0,00	0,02	0,04	28,14
0 a 10	<i>C. glandulosa</i>	1	7	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03	18,97
		2	7	0,03	0,01	0,00	0,01	0,05	50,30
		Total	14	0,02	0,01	0,00	0,01	0,05	37,87
10 a 40	<i>C. glandulosa</i>	1	7	0,02	0,00	0,00	0,01	0,03	27,66
		2	7	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	24,47
		Total	14	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	28,21
0 a 10	<i>C. cateniformis</i>	1	7	0,06	0,01	0,00	0,05	0,08	19,06
		2	7	0,06	0,03	0,01	0,05	0,12	39,47
		Total	14	0,06	0,02	0,01	0,05	0,12	29,99
10 a 40	<i>C. cateniformis</i>	1	7	0,03	0,01	0,00	0,02	0,05	35,29
		2	7	0,04	0,02	0,01	0,02	0,07	56,94
		Total	14	0,03	0,02	0,00	0,02	0,07	47,22

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad.

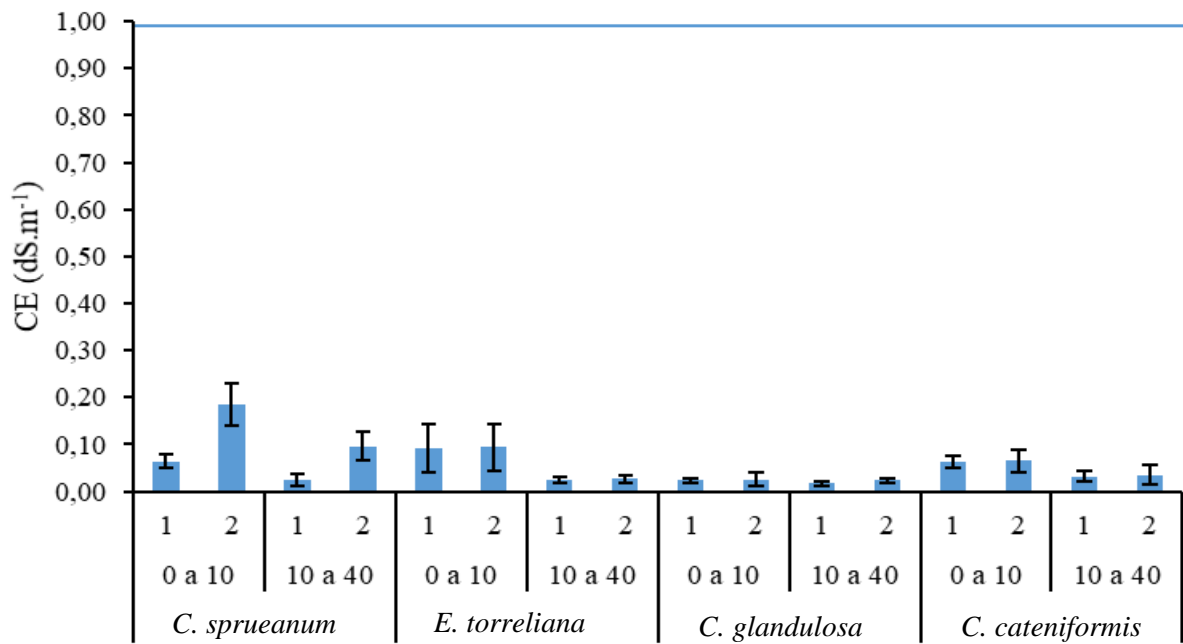


Figura 5. Conductividad eléctrica en los suelos de las plantaciones coetáneas.

En la comparación de los resultados correspondientes a la capa superficial entre los 10 cm primeros de los suelos de las cuatro especies forestales, no registró diferencias estadísticas significativas respecto a la conductividad eléctrica, de manera similar ocurrió en la misma variable para las muestras de suelos extraídas desde la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza (**Tabla 24**).

Tabla 24. ANVA para la conductividad eléctrica en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	0,011	3	0,004	1,946	0,264 ^{ns}
	Error aleatorio	0,007	4	0,002		
	Total	0,018	7			
10 a 40	Especies forestales	0,002	3	0,001	0,965	0,491 ^{ns}
	Error aleatorio	0,003	4	0,001		
	Total	0,005	7			

ns: No existen diferencias estadísticas.

La conductividad eléctrica en los suelos que se encontraban los árboles de *C. cateniformis* registraron bajos valores tanto en la parte más superficial como entre los 10 a 40 cm (**Tabla 24**), este resultado fue ratificada por parte de Franco *et al.* (2023) en el país de Ecuador donde registraron categorías de bajos a muy bajos entre plantaciones y bosques naturales de *C. cateniformis*, con la cual se aclara que los suelos con esta especie posee limitada capacidad para retener y liberar iones positivos, como calcio, magnesio, potasio y demás

nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, comportamiento que puede acarrear consecuencias como la menor retención de nutrientes, mayor riesgo de lixiviación y menor capacidad de amortiguación del pH.

4.1.4. Materia orgánica

En el análisis descriptivo de los suelos procedentes de las cuatro especies forestales, se registra mayores valores de la materia orgánica en las muestras obtenidas en la parte más superficial para todas las plantaciones estudiadas, siendo los datos más variables en la plantación de *C. glandulosa* (Tabla 25 y Figura 6).

Tabla 25. Estadígrafos de la materia orgánica en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (%)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C. spruceanum</i>	1	7	1,79	0,52	0,20	1,36	2,68	29,14
		2	7	1,47	0,18	0,07	1,22	1,75	12,49
		Total	14	1,63	0,41	0,11	1,22	2,68	25,20
10 a 40	<i>C. spruceanum</i>	1	7	1,28	0,41	0,15	1,03	2,17	31,96
		2	7	1,19	0,11	0,04	1,07	1,36	8,88
		Total	14	1,24	0,29	0,08	1,03	2,17	23,50
0 a 10	<i>E. torreliana</i>	1	7	2,15	0,50	0,19	1,54	2,83	23,21
		2	7	2,73	0,26	0,10	2,38	3,04	9,64
		Total	14	2,44	0,49	0,13	1,54	3,04	20,01
10 a 40	<i>E. torreliana</i>	1	7	0,99	0,34	0,13	0,58	1,48	34,06
		2	7	1,54	0,27	0,10	1,14	1,96	17,22
		Total	14	1,27	0,41	0,11	0,58	1,96	32,15
0 a 10	<i>C. glandulosa</i>	1	7	2,37	1,78	0,67	0,80	5,92	75,12
		2	7	1,84	0,62	0,23	1,06	2,53	33,52
		Total	14	2,10	1,31	0,35	0,80	5,92	62,12
10 a 40	<i>C. glandulosa</i>	1	7	0,87	0,44	0,17	0,20	1,60	50,47
		2	7	1,04	0,52	0,20	0,47	2,06	49,79
		Total	14	0,95	0,47	0,13	0,20	2,06	49,19
0 a 10	<i>C. cateniformis</i>	1	7	3,02	1,10	0,41	1,29	4,31	36,29
		2	7	3,69	0,60	0,23	2,89	4,50	16,20
		Total	14	3,36	0,92	0,25	1,29	4,50	27,31
10 a 40	<i>C. cateniformis</i>	1	7	2,34	0,95	0,36	0,96	3,54	40,60
		2	7	3,06	0,43	0,16	2,51	3,86	14,09
		Total	14	2,70	0,80	0,21	0,96	3,86	29,66

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

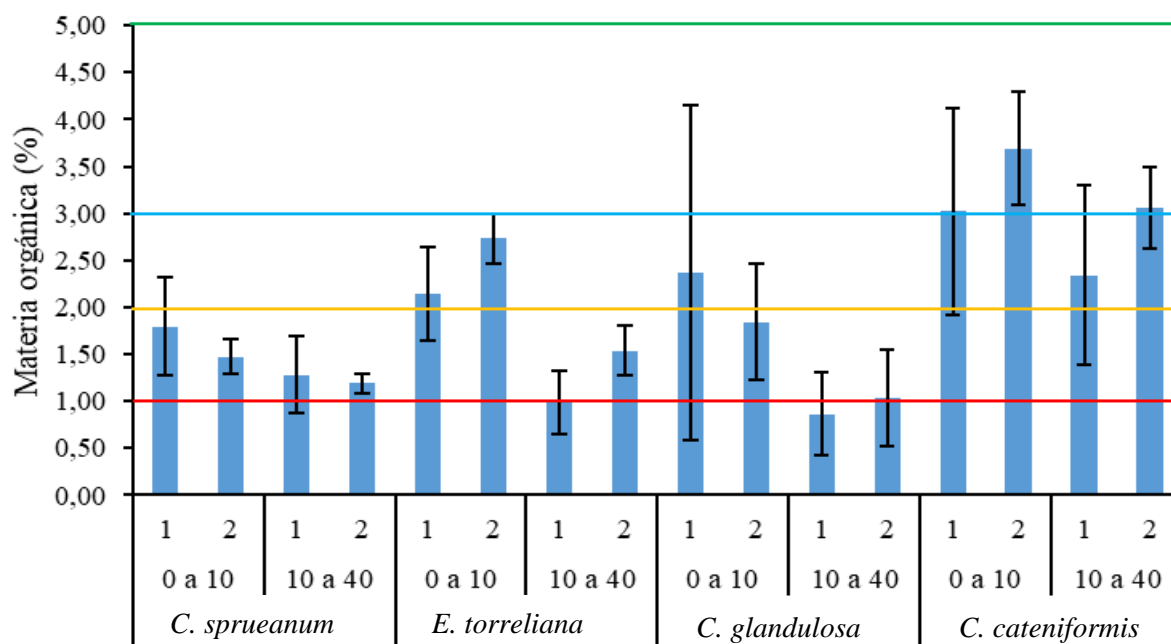


Figura 6. Materia orgánica en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Al comparar la capa superficial comprendida entre los 10 cm primeros de los suelos con las cuatro especies forestales, se registró diferencias estadísticas significativas respecto a la materia orgánica, de manera similar ocurrió en las muestras de suelos obtenidos de la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente no fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza, lo cual indica que al menos una de las especies registra mejores valores promedios (**Tabla 26**).

Tabla 26. ANVA para la materia orgánica en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	3,190	3	1,063	7,309	0,042*
	Error aleatorio	0,582	4	0,145		
	Total	3,772	7			
10 a 40	Especies forestales	3,720	3	1,240	11,661	0,019*
	Error aleatorio	0,425	4	0,106		
	Total	4,145	7			

*: Existen diferencias estadísticas.

Las plantaciones donde se encontraban árboles de *C. cateniformis* fueron las que se caracterizaban por contener mayor contenido de materia orgánica desde la parte

superficial del suelo hasta los 10 cm de profundidad, este comportamiento también se mantuvo cuando se realizó el muestreo entre 10 a 40 cm de profundidad en la misma especie respecto a las demás especies establecidas en monocultivos (**Tabla 27**).

Tabla 27. Comparación de medias de la materia orgánica en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Especies forestales	N	0 a 10 cm		10 a 40 cm	
		Media (%)	Subc.	Media (%)	Subc.
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	2	1,63	b	1,24	b
<i>Colubrina glandulosa</i>	2	2,10	b	0,95	b
<i>Eucalyptus torreliana</i>	2	2,44	ab	1,27	b
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2	3,36	a	2,70	a

Letras diferentes demuestran diferencias estadísticas.

E. torreliana es una especie que en cierta medida favorece a que el suelo posea mayores valores del contenido de materia orgánica, esto es muy favorable debido a que se realiza por el aporte de la hojarasca que logra descomponerse, estando este aspecto vinculado con la humedad que va retener en el suelo de la plantación, ya que Panduro (2017) no encontró diferencias estadísticas significativas de la humedad analizada dentro y fuera de una plantación de *E. torreliana* en el centro poblado César Vallejo de la provincia de Rioja.

Una de las plantaciones con menor valor de la materia orgánica fue en la que se encontraba *C. spruceanum* (**Tabla 27**), valor que pudo haber sido resultado de los antecedentes del terreno antes de su establecimiento y a su edad temprana de la plantación, ya que, en el distrito de Pueblo Nuevo, Trujillo (2019) al realizar el muestreo de los suelos de una plantación con 11 años de establecido registró en promedio 2,01% de materia orgánica, siendo resaltante el aporte de hojas y ramas secas que a través del tiempo se descomponen dando origen al humus garantizando las diversas actividades biológicas de los microorganismos que viven en dicho sistema edáfico además de que promueve el crecimiento de las plantas (SAGARPA, 2012).

Además, las plantaciones de *C. spruceanum* presentaron ligeramente valores superiores de la materia orgánica en las submuestras realizadas en la parte superior del suelo (**Tabla 25** y **Figura 6**), esto es concordante a lo registrado por Soudre (1995) cuando realizó el muestreo de suelos en 61 ha de poblaciones naturales, resaltando que en el caso de la materia orgánica fue bajo en la parte interior del perfil a excepción de la parte superficial.

4.1.5. Nitrógeno

En el análisis descriptivo de los suelos procedentes de las cuatro especies forestales, se registra mayores niveles de nitrógeno en las muestras obtenidas en la parte más superficial para todas las plantaciones estudiadas, siendo los datos más variables en las muestras provenientes de la plantación 1 de *C. glandulosa* (Tabla 28 y Figura 7).

Tabla 28. Estadígrafos del nivel de nitrógeno en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (%)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C. spruceanum</i>	1	7	0,09	0,03	0,01	0,07	0,13	28,73
		2	7	0,07	0,01	0,00	0,06	0,09	15,26
		Total	14	0,08	0,02	0,01	0,06	0,13	24,96
10 a 40	<i>C. spruceanum</i>	1	7	0,06	0,02	0,01	0,05	0,11	33,43
		2	7	0,06	0,01	0,00	0,05	0,07	11,23
		Total	14	0,06	0,02	0,00	0,05	0,11	24,51
0 a 10	<i>E. torreliana</i>	1	7	0,11	0,02	0,01	0,08	0,14	21,36
		2	7	0,14	0,01	0,01	0,12	0,15	10,06
		Total	14	0,12	0,02	0,01	0,08	0,15	19,58
10 a 40	<i>E. torreliana</i>	1	7	0,05	0,01	0,01	0,03	0,07	31,73
		2	7	0,08	0,01	0,00	0,06	0,10	16,81
		Total	14	0,06	0,02	0,01	0,03	0,10	32,47
0 a 10	<i>C. glandulosa</i>	1	7	0,12	0,09	0,03	0,04	0,30	76,28
		2	7	0,09	0,03	0,01	0,05	0,13	35,07
		Total	14	0,10	0,07	0,02	0,04	0,30	63,71
10 a 40	<i>C. glandulosa</i>	1	7	0,04	0,02	0,01	0,01	0,08	50,25
		2	7	0,05	0,03	0,01	0,02	0,10	50,00
		Total	14	0,05	0,02	0,01	0,01	0,10	48,81
0 a 10	<i>C. cateniformis</i>	1	7	0,15	0,06	0,02	0,06	0,22	37,44
		2	7	0,18	0,03	0,01	0,14	0,22	16,67
		Total	14	0,17	0,05	0,01	0,06	0,22	27,85
10 a 40	<i>C. cateniformis</i>	1	7	0,12	0,05	0,02	0,05	0,18	40,86
		2	7	0,15	0,02	0,01	0,13	0,19	13,47
		Total	14	0,14	0,04	0,01	0,05	0,19	29,59

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

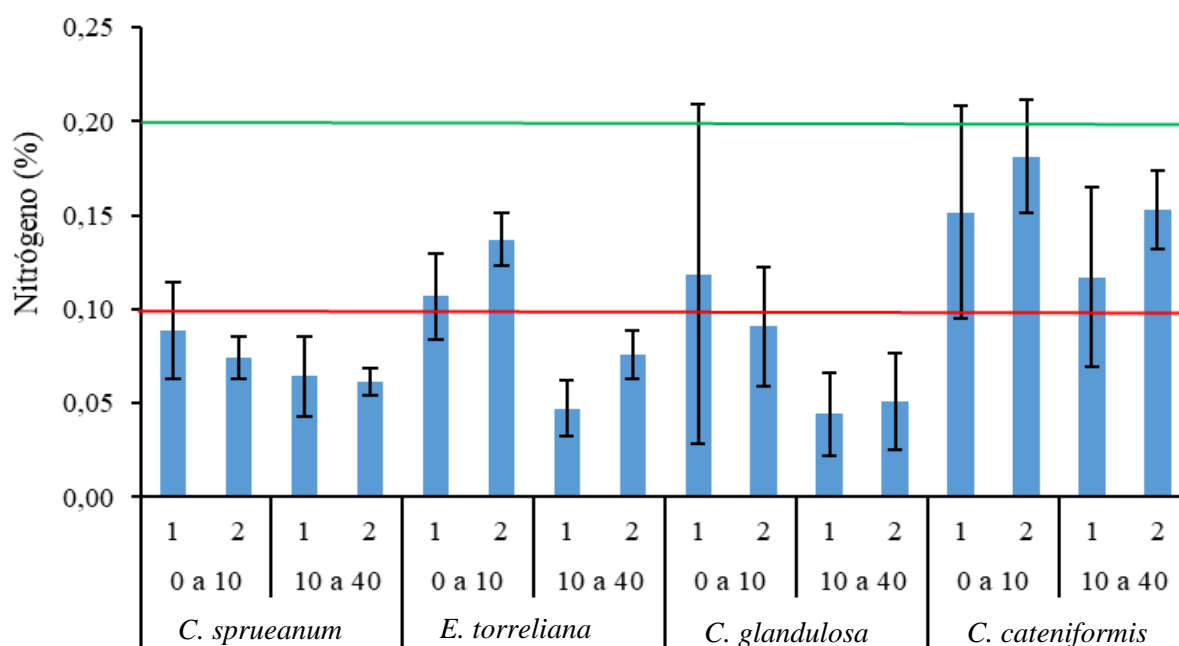


Figura 7. Nivel de nitrógeno en los suelos de las plantaciones coetáneas.

En la comparación de la capa superficial comprendida entre los 10 cm primeros de los suelos para las cuatro especies forestales, se registró diferencias estadísticas significativas respecto al nivel de nitrógeno, de manera similar ocurrió en las muestras de suelos obtenidos de la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente no fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza, lo cual indica que al menos una de las especies establecidas registra mejores valores promedios (**Tabla 29**).

Tabla 29. ANVA para el nivel de nitrógeno en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	0,008	3	0,003	7,454	0,041*
	Error aleatorio	0,001	4	0,000		
	Total	0,009	7			
10 a 40	Especies forestales	0,009	3	0,003	11,606	0,019*
	Error aleatorio	0,001	4	0,000		
	Total	0,010	7			

*: Existen diferencias estadísticas.

Las plantaciones donde se encontraban árboles de *C. cateniformis* fueron las que se caracterizaban por contener mayor contenido de nitrógeno desde la parte superficial

del suelo hasta los 10 cm de profundidad, este comportamiento también se mantuvo cuando se realizó el muestreo entre 10 a 40 cm de profundidad en la misma especie respecto a las demás especies establecidas en monocultivos (**Tabla 30**).

Tabla 30. Comparación de medias para el nivel de nitrógeno en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Especie	N	0 a 10 cm		10 a 40 cm	
		Media (%)	Subc.	Media (%)	Subc.
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	2	0,0814	b	0,0629	b
<i>Colubrina glandulosa</i>	2	0,1047	b	0,0476	b
<i>Eucalyptus torreliana</i>	2	0,1221	ab	0,0614	b
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2	0,1664	a	0,1350	a

Letras diferentes demuestran diferencias estadísticas.

En el caso de la especie *E. torreliana*, se determinó ligera superioridad del nivel de nitrógeno en el suelo muy similar a lo registrado por parte de la especie *C. cateniformis* (**Tabla 29**), este comportamiento a pesar de su temprana edad de los árboles se vio reflejada en reportes como los publicado por Schumacher (1992) que al analizar el aporte de la hojarasca en una plantación de 10 años de edad fue de 5,8 t/ha, los mismos que aportaban 67,2 kg de nitrógeno al suelo, este valor se siguió masificando hasta 332,8 kg cuando se estimó la proporción respecto a la fitomasa total a los 12 años de edad donde acumulaba un peso de 171,3 t/ha que estaba distribuidas entre hojas, ramas, corteza y madera.

EL nivel de nitrógeno en los suelos que pertenecían a la plantación de *C. spruceanum* no sobrepasaron en promedio 0,09% (**Tabla 28**) no superando el nivel bajo (**Figura 7**) tomado como referencia el reporte de Bazán (1996), aunque hay al menos una repetición que obtuvo un valor de 0,13% cuando la submuestra proviene de la profundidad 0-10 cm, valor similar a la media lo obtuvo en el distrito de Pueblo Nuevo, Trujillo (2019) en una plantación con 11 años de edad donde la media del nitrógeno en el suelo fue 0,09%, esta similitud puede estar vinculado al aporte de la especie mencionada aunque bajo condiciones del trópico siempre este elemento va registrar valores dinámicos debido al ciclo estacional de las lluvias, diversidad biológica y competencia vegetal, fertilidad natural de los suelos que anteriormente se realizaba la práctica de la agricultura, el ciclo de nutrientes en el dosel forestal y también la fijación de nitrógeno por las especies que se encuentran dentro de la plantación como *Pueraria phaseoloides* (Kudzu) que el autor menciona que estuvo presente.

4.1.6. Fósforo

En el análisis descriptivo de los suelos procedentes de las cuatro especies forestales, se registra mayores valores del fósforo en las muestras obtenidas en la parte más superficial para todas las plantaciones estudiadas, siendo los datos más variables en la plantación de *C. cateniformis* en base al coeficiente de variación (**Tabla 31** y **Figura 8**).

Tabla 31. Estadígrafos del nivel de fósforo en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (mg·kg ⁻¹)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C. spruceanum</i>	1	7	6,31	1,53	0,58	4,48	8,09	24,28
		2	7	9,35	3,11	1,18	5,87	14,83	33,26
		Total	14	7,83	2,83	0,76	4,48	14,83	36,20
10 a 40	<i>C. spruceanum</i>	1	7	4,42	1,47	0,56	3,20	6,89	33,26
		2	7	7,33	2,07	0,78	4,39	9,39	28,23
		Total	14	5,87	2,29	0,61	3,20	9,39	39,06
0 a 10	<i>E. torreliana</i>	1	7	6,67	1,42	0,54	4,80	8,57	21,35
		2	7	7,12	1,52	0,57	5,16	9,13	21,31
		Total	14	6,89	1,43	0,38	4,80	9,13	20,78
10 a 40	<i>E. torreliana</i>	1	7	4,24	0,70	0,27	3,03	4,96	16,58
		2	7	4,31	0,98	0,37	3,36	5,76	22,73
		Total	14	4,27	0,82	0,22	3,03	5,76	19,18
0 a 10	<i>C. glandulosa</i>	1	7	4,28	1,08	0,41	2,89	6,21	25,35
		2	7	7,47	2,58	0,98	3,28	10,07	34,61
		Total	14	5,87	2,52	0,67	2,89	10,07	42,94
10 a 40	<i>C. glandulosa</i>	1	7	2,55	1,30	0,49	1,43	5,13	50,88
		2	7	2,66	0,95	0,36	1,35	3,89	35,66
		Total	14	2,60	1,09	0,29	1,35	5,13	41,97
0 a 10	<i>C. cateniformis</i>	1	7	2,60	1,54	0,58	1,73	6,06	59,26
		2	7	3,38	2,21	0,84	2,12	8,37	65,58
		Total	14	2,99	1,88	0,50	1,73	8,37	62,76
10 a 40	<i>C. cateniformis</i>	1	7	1,88	1,54	0,58	0,65	5,28	81,85
		2	7	1,53	0,22	0,08	1,27	1,89	14,47
		Total	14	1,70	1,07	0,29	0,65	5,28	62,84

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

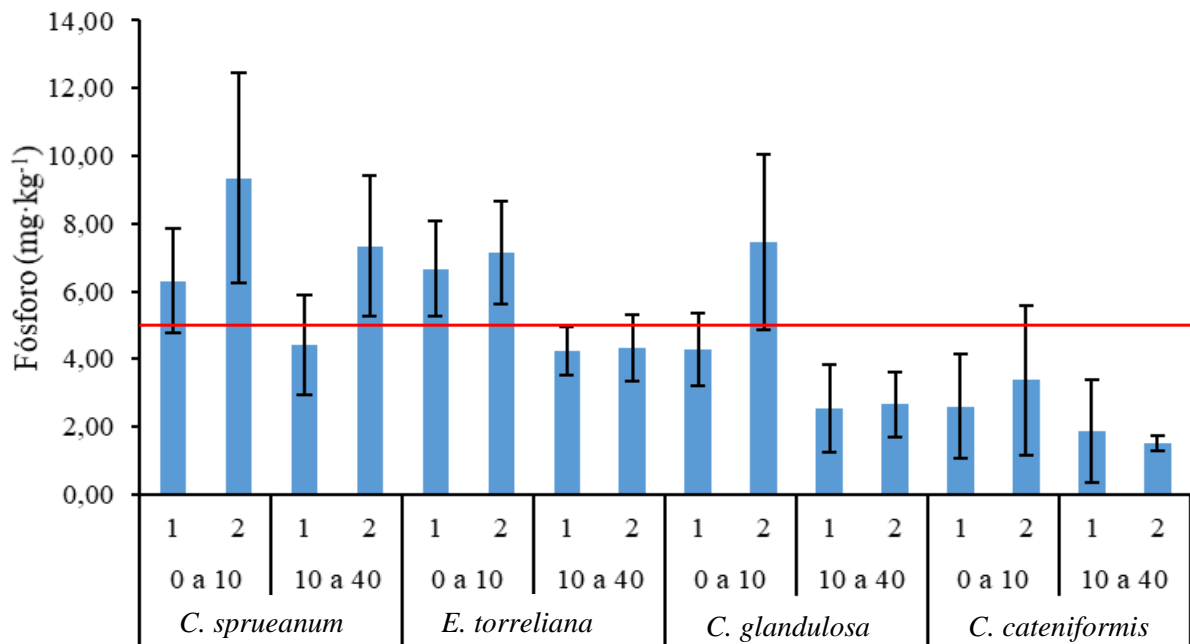


Figura 8. Nivel de fósforo en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Al comparar los resultados correspondientes a la capa superficial entre los 10 cm primeros de los suelos para las cuatro especies forestales, no registró diferencias estadísticas significativas respecto al nivel de fósforo, de manera similar ocurrió en la misma variable para las muestras de suelos extraídas desde la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza (**Tabla 32**).

Tabla 32. ANVA para el nivel de fósforo en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	26,376	3	8,792	3,482	0,130 ^{ns}
	Error aleatorio	10,099	4	2,525		
	Total	36,475	7			
10 a 40	Especies forestales	20,445	3	6,815	6,304	0,054 ^{ns}
	Error aleatorio	4,324	4	1,081		
	Total	24,768	7			

ns: No existen diferencias estadísticas.

Para Schumacher (1992), *E. torreliana* es una de las especies forestales en el Brasil que poca cantidad de fósforo aporta al suelo en su hojarasca, debido a que registró 3,1 kg en la hojarasca estimada en plantaciones de 10 años que fue de 5,8 t/ha/año.

4.1.7. Calcio

En el análisis descriptivo de los suelos procedentes de las cuatro especies forestales, se registra mayores valores de contenido de calcio en las muestras obtenidas en la parte más superficial para todas las plantaciones estudiadas, siendo los datos más variables en la plantación de *E. torreliana* (Tabla 33 y Figura 9).

Tabla 33. Estadígrafos del contenido de calcio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (Cmol(+)/kg)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	4,54	1,24	0,47	3,36	6,95	27,29
		2	7	6,86	1,18	0,45	5,54	8,69	17,23
		Tot.	14	5,70	1,67	0,45	3,36	8,69	29,37
10 a 40	<i>spruceanum</i>	1	7	3,61	0,35	0,13	3,07	4,05	9,57
		2	7	5,39	1,36	0,51	3,54	7,52	25,20
		Tot.	14	4,50	1,33	0,35	3,07	7,52	29,47
0 a 10	<i>E.</i>	1	7	3,96	0,96	0,36	3,29	6,06	24,33
		2	7	5,18	1,60	0,61	2,65	7,29	30,97
		Tot.	14	4,57	1,42	0,38	2,65	7,29	31,07
10 a 40	<i>torreliana</i>	1	7	3,30	0,88	0,33	2,26	5,04	26,78
		2	7	4,24	1,27	0,48	2,02	5,55	29,84
		Tot.	14	3,77	1,16	0,31	2,02	5,55	30,70
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	2,85	0,44	0,17	2,15	3,40	15,56
		2	7	2,23	0,42	0,16	1,80	2,95	18,72
		Tot.	14	2,54	0,52	0,14	1,80	3,40	20,65
10 a 40	<i>glandulosa</i>	1	7	2,05	0,47	0,18	1,50	2,85	22,90
		2	7	1,71	0,24	0,09	1,45	2,15	14,16
		Tot.	14	1,88	0,40	0,11	1,45	2,85	21,22
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	3,17	0,07	0,03	3,08	3,27	2,28
		2	7	3,22	0,19	0,07	3,02	3,45	5,76
		Tot.	14	3,19	0,14	0,04	3,02	3,45	4,31
10 a 40	<i>cateniformis</i>	1	7	2,51	0,04	0,02	2,43	2,56	1,71
		2	7	2,51	0,07	0,03	2,44	2,64	2,71
		Tot.	14	2,51	0,05	0,01	2,43	2,64	2,17

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

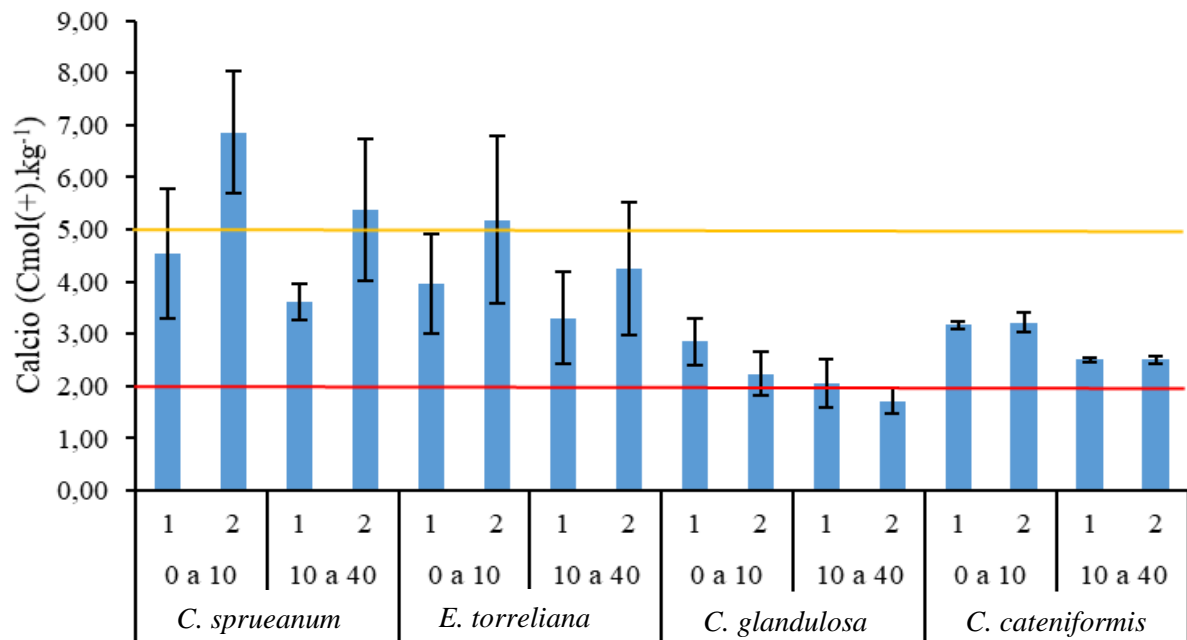


Figura 9. Contenido de calcio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

En la comparación de los resultados correspondientes a la capa superficial entre los 10 cm primeros de los suelos para las cuatro especies forestales, no registró diferencias estadísticas significativas respecto al contenido de calcio, de manera similar ocurrió en la misma variable para las muestras de suelos extraídas desde la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza (**Tabla 34**).

Tabla 34. ANVA para el contenido de calcio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	12,017	3	4,006	4,412	0,093 ^{ns}
	Error aleatorio	3,631	4	0,908		
	Total	15,648	7			
10 a 40	Especies forestales	8,444	3	2,815	5,402	0,068 ^{ns}
	Error aleatorio	2,084	4	0,521		
	Total	10,528	7			

ns: No existen diferencias estadísticas.

El calcio fue uno de los elementos elevados en *E. torreliana*, esto es concordante con lo encontrado por Schumacher (1992) en una plantación de 10 años en Brasil, al determinar que de los 5,8 t/ha/año de hojarasca hubo 43,6 kg aportada de este elemento.

4.1.8. Magnesio

En el análisis descriptivo de los suelos procedentes de las cuatro especies forestales, se registra mayores valores del contenido de calcio en las muestras obtenidas de la parte más superficial para todas las plantaciones evaluadas, siendo los datos más variables en la plantación de *C. spruceanum* (Tabla 35 y Figura 10).

Tabla 35. Estadígrafos del contenido de magnesio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (Cmol(+)/kg)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C. spruceanum</i>	1	7	0,62	0,20	0,08	0,44	1,04	32,38
		2	7	1,10	0,10	0,04	0,92	1,25	9,19
		Tot.	14	0,86	0,29	0,08	0,44	1,25	34,10
10 a 40	<i>C. spruceanum</i>	1	7	0,40	0,07	0,03	0,33	0,53	18,73
		2	7	0,85	0,25	0,10	0,44	1,19	29,92
		Tot.	14	0,62	0,30	0,08	0,33	1,19	47,61
0 a 10	<i>E. torreliana</i>	1	7	0,47	0,06	0,02	0,41	0,57	12,46
		2	7	1,00	0,09	0,03	0,86	1,11	9,19
		Tot.	14	0,74	0,29	0,08	0,41	1,11	39,14
10 a 40	<i>E. torreliana</i>	1	7	0,36	0,04	0,02	0,31	0,44	10,99
		2	7	0,68	0,15	0,06	0,48	0,94	22,69
		Tot.	14	0,52	0,20	0,05	0,31	0,94	37,78
0 a 10	<i>C. glandulosa</i>	1	7	0,44	0,14	0,05	0,29	0,69	32,47
		2	7	0,40	0,16	0,06	0,30	0,71	39,10
		Tot.	14	0,42	0,14	0,04	0,29	0,71	34,62
10 a 40	<i>C. glandulosa</i>	1	7	0,30	0,04	0,01	0,26	0,37	12,48
		2	7	0,26	0,05	0,02	0,21	0,35	17,59
		Tot.	14	0,28	0,04	0,01	0,21	0,37	15,90
0 a 10	<i>C. cateniformis</i>	1	7	0,46	0,06	0,02	0,40	0,56	12,42
		2	7	0,44	0,07	0,03	0,37	0,57	16,00
		Tot.	14	0,45	0,06	0,02	0,37	0,57	13,81
10 a 40	<i>C. cateniformis</i>	1	7	0,38	0,03	0,01	0,32	0,42	8,22
		2	7	0,39	0,07	0,03	0,35	0,55	18,70
		Tot.	14	0,39	0,05	0,01	0,32	0,55	13,97

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

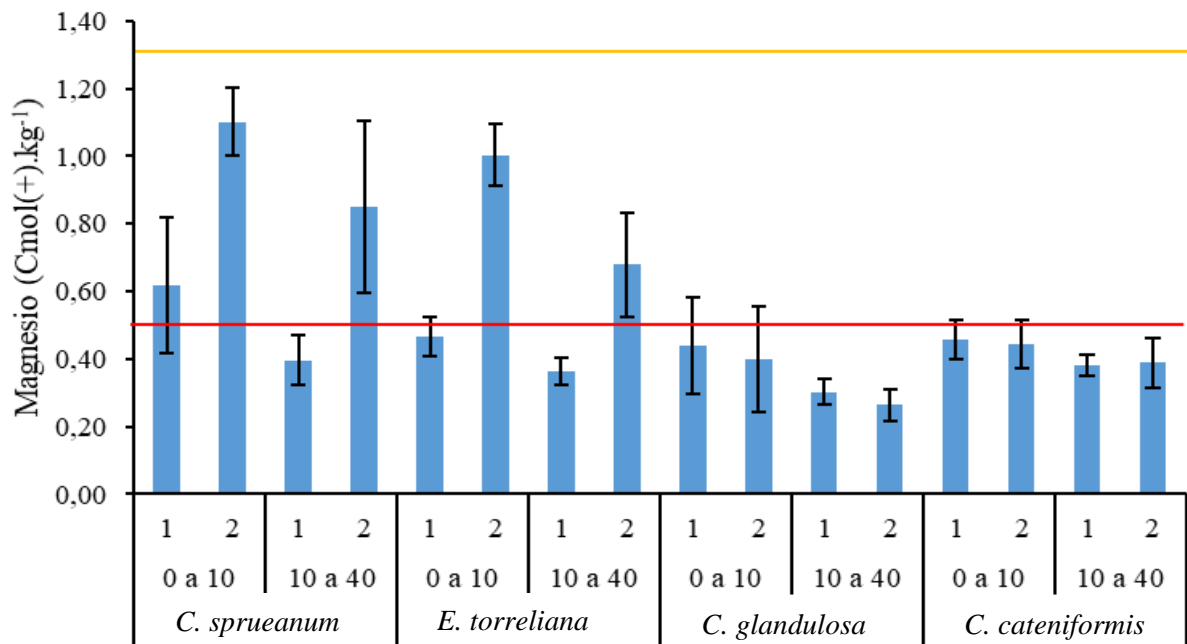


Figura 10. Contenido de magnesio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Al comparar los resultados correspondientes a la capa superficial entre los 10 cm primeros de los suelos de las cuatro especies forestales, no registró diferencias estadísticas significativas respecto al contenido de magnesio, de manera similar ocurrió en la misma variable para las muestras de suelos extraídas desde la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza (**Tabla 36**).

Tabla 36. ANVA para el contenido de magnesio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	0,280	3	0,093	1,433	0,358 ^{ns}
	Error aleatorio	0,261	4	0,065		
	Total	0,541	7			
10 a 40	Especies forestales	0,134	3	0,045	1,159	0,428 ^{ns}
	Error aleatorio	0,154	4	0,039		
	Total	0,288	7			

ns: No existen diferencias estadísticas.

En el magnesio sobresalió *E. torreliana* solamente en la parcela 2, al respecto, Schumacher (1992) en el Brasil encontró a 10 años de establecido la especie aporta en hojarasca 5,8 t/ha/año, de los cuales solo hay 12,3 kg de magnesio.

4.1.9. Sodio

En el análisis descriptivo de los suelos procedentes de las cuatro especies forestales, se registra mayores valores del sodio en las muestras obtenidas en la parte más superficial para todas las plantaciones estudiadas, siendo los datos más variables en la plantación de *C. cateniformis* (Tabla 37 y Figura 6).

Tabla 37. Estadígrafos del contenido de sodio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (Cmol(+).kg ⁻¹)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	0,11	0,05	0,02	0,01	0,17	48,83
		2	7	0,15	0,02	0,01	0,14	0,19	12,11
		Tot.	14	0,13	0,04	0,01	0,01	0,19	34,56
10 a 40	<i>spruceanum</i>	1	7	0,09	0,02	0,01	0,06	0,11	17,86
		2	7	0,08	0,01	0,01	0,06	0,10	16,64
		Tot.	14	0,09	0,02	0,00	0,06	0,11	17,73
0 a 10	<i>E.</i>	1	7	0,12	0,03	0,01	0,08	0,18	28,06
		2	7	0,15	0,02	0,01	0,11	0,18	16,30
		Tot.	14	0,13	0,03	0,01	0,08	0,18	22,73
10 a 40	<i>torreliana</i>	1	7	0,08	0,02	0,01	0,05	0,10	25,23
		2	7	0,08	0,02	0,01	0,06	0,10	20,20
		Tot.	14	0,08	0,02	0,00	0,05	0,10	21,94
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	0,06	0,01	0,01	0,04	0,09	25,35
		2	7	0,08	0,02	0,01	0,06	0,12	23,56
		Tot.	14	0,07	0,02	0,01	0,04	0,12	29,77
10 a 40	<i>glandulosa</i>	1	7	0,04	0,01	0,00	0,03	0,05	21,96
		2	7	0,05	0,02	0,01	0,04	0,10	42,13
		Tot.	14	0,05	0,02	0,00	0,03	0,10	38,48
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	0,09	0,01	0,01	0,07	0,11	15,57
		2	7	0,08	0,03	0,01	0,03	0,12	36,26
		Tot.	14	0,09	0,02	0,01	0,03	0,12	26,60
10 a 40	<i>cateniformis</i>	1	7	0,05	0,02	0,01	0,03	0,08	35,01
		2	7	0,05	0,03	0,01	0,03	0,10	56,91
		Tot.	14	0,05	0,02	0,01	0,03	0,10	45,20

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

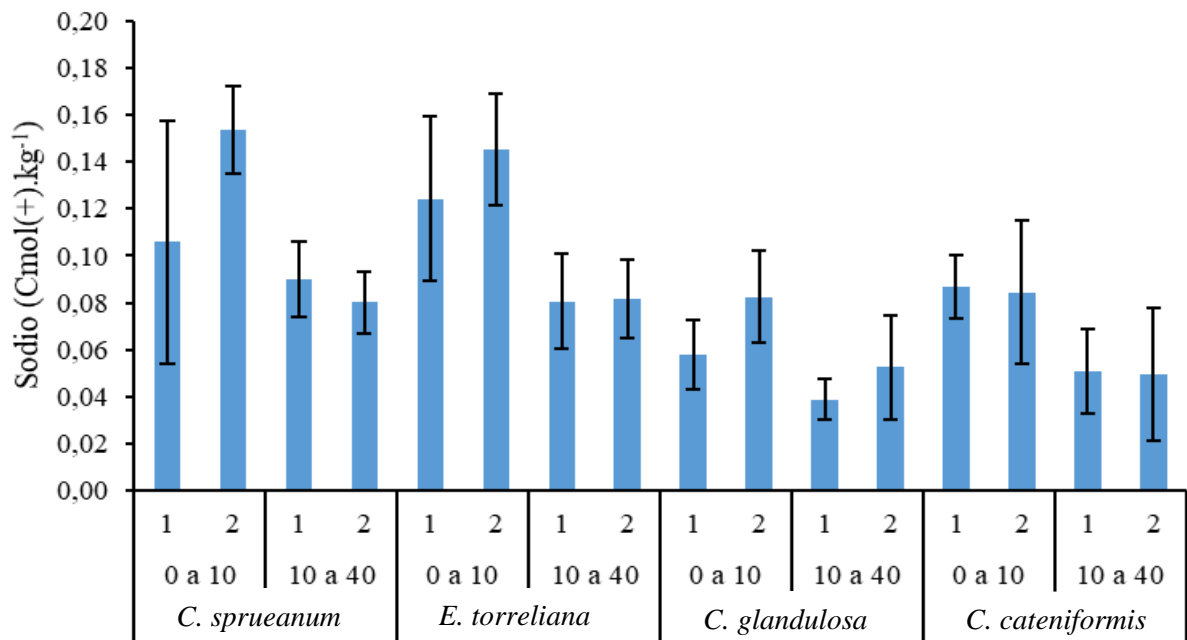


Figura 11. Contenido de sodio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

En la comparación de los resultados correspondientes a la capa superficial entre los 10 cm primeros de los suelos de las cuatro especies forestales, no registró diferencias estadísticas significativas respecto al contenido de sodio, de manera diferente ocurrió en la misma variable para las muestras de suelos extraídas desde la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente no fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza (**Tabla 38**).

Tabla 38. ANVA para el contenido de sodio en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	0,006	3	0,002	4,934	0,079 ^{ns}
	Error aleatorio	0,002	4	0,000		
	Total	0,008	7			
10 a 40	Especies forestales	0,003	3	0,001	23,594	0,005*
	Error aleatorio	0,000	4	0,000		
	Total	0,003	7			

ns: No existen diferencias estadísticas. *: Existen diferencias estadísticas.

Las plantaciones donde se encontraban árboles de *C. spruceanum* y *E. torreliana* fueron las que se caracterizaban por contener mayor valor en los niveles de sodio desde los 10 cm hasta los 40 cm de profundidad, las mismas que fueron superiores

estadísticamente en comparación a las plantaciones de las especies *C. cateniformis* y *C. glandulosa* (**Tabla 39**).

Tabla 39. Comparación de medias para el contenido de sodio en los suelos de las plantaciones coetáneas a una profundidad de 10 a 40 cm.

Especie	N	Media (Cmol(+).kg⁻¹)	Subc.
<i>C. glandulosa</i>	2	0,046	b
<i>C. cateniformis</i>	2	0,050	b
<i>E. torreliana</i>	2	0,081	a
<i>C. spruceanum</i>	2	0,085	a

Letras diferentes demuestran significancia estadística.

Entre las especies forestales que registraron mayor concentración de sodio se encontraba *E. torreliana* (**Tabla 39**), esto posiblemente se atribuye al aporte que realiza el género *Eucalyptus*, ya que Valdez *et al.* (2020) en el caso de *E. urograndis* se determinó que en el orden decreciente la extracción de los macronutrientes correspondía en mayor representación al calcio, el potasio, el nitrógeno, el magnesio, el sodio y el fósforo, esto se pudo haber colocado en la parte superior del suelo para que posteriormente se descomponga y se va añadiendo al suelo de la respectiva plantación, ya que a la edad de cuatro años ya se observó gran aporte de hojarasca por parte de los árboles establecidos.

Otro de los factores que pudo favorecer al elevado valor del sodio en los suelos con especies forestales pudo atribuirse a la pendiente del terreno ya que mientras más pendientes se encuentran las lluvias implican que los nutrientes solubles en agua, como potasio, calcio, magnesio y otros elementos importantes para el crecimiento de las plantas, son arrastrados por el exceso de agua, dejando el suelo empobrecido y menos fértil (SAGARPA, 2012). Esto puede afectar negativamente la calidad del suelo para la agricultura y otros usos como el cultivo de los árboles.

4.1.10. Capacidad de intercambio catiónico

En el análisis descriptivo de los suelos procedentes de las cuatro especies forestales, se registra mayores valores de la capacidad de intercambio catiónico entre los 0 cm hasta los 10 cm de profundidad para todas las plantaciones estudiadas, mientras que los menores valores se registró a la profundidad de muestreo comprendido entre los 10 a 40 cm (**Tabla 40** y **Figura 12**).

Tabla 40. Estadígrafos de la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Prof. (cm)	Especie	Rep.	N	Media (Cmol(+)/kg)	DE	EE	Mín.	Máx.	CV (%)
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	7,10	1,43	0,54	5,96	10,13	20,15
		2	7	9,05	1,23	0,47	7,77	11,10	13,62
		Tot.	14	8,08	1,63	0,44	5,96	11,10	20,24
10 a 40	<i>spruceanum</i>	1	7	6,04	0,61	0,23	5,31	6,92	10,09
		2	7	7,34	1,49	0,56	5,86	9,97	20,29
		Tot.	14	6,69	1,28	0,34	5,31	9,97	19,20
0 a 10	<i>E.</i>	1	7	7,31	0,84	0,32	5,97	8,76	11,48
		2	7	7,64	1,64	0,62	5,02	9,38	21,47
		Tot.	14	7,47	1,26	0,34	5,02	9,38	16,90
10 a 40	<i>torreliana</i>	1	7	6,56	0,73	0,27	5,38	7,59	11,08
		2	7	6,34	1,23	0,47	3,85	7,39	19,41
		Tot.	14	6,45	0,98	0,26	3,85	7,59	15,16
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	4,12	0,51	0,19	3,29	4,86	12,32
		2	7	3,44	0,58	0,22	2,80	4,56	16,91
		Tot.	14	3,78	0,63	0,17	2,80	4,86	16,72
10 a 40	<i>glandulosa</i>	1	7	3,03	0,52	0,20	2,36	3,79	17,25
		2	7	2,70	0,26	0,10	2,31	3,17	9,66
		Tot.	14	2,86	0,43	0,12	2,31	3,79	15,15
0 a 10	<i>C.</i>	1	7	4,17	0,14	0,05	3,95	4,31	3,26
		2	7	4,22	0,30	0,11	3,94	4,74	7,08
		Tot.	14	4,20	0,22	0,06	3,94	4,74	5,36
10 a 40	<i>cateniformis</i>	1	7	3,32	0,12	0,05	3,09	3,47	3,64
		2	7	3,30	0,22	0,08	3,16	3,77	6,80
		Tot.	14	3,31	0,17	0,05	3,09	3,77	5,24

Rep.: Representa a las plantaciones; N: Cantidad de muestras; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; Mín.: Valor mínimo; Máx.: Valor máximo; CV: Coeficiente de variabilidad

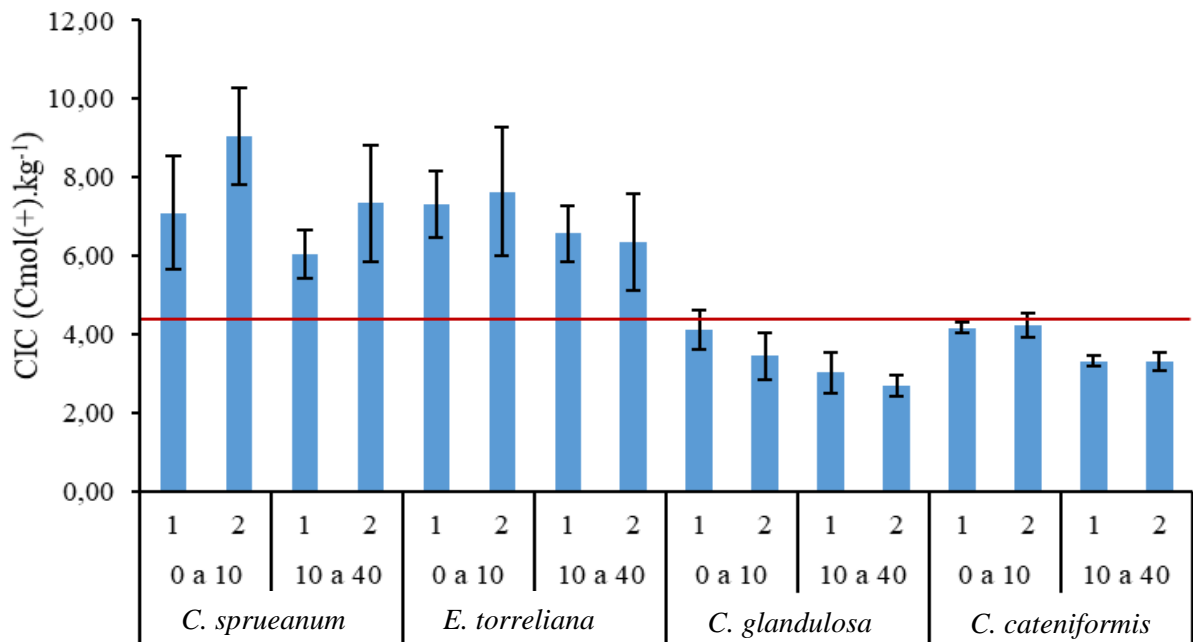


Figura 12. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Al comparar la capa superficial comprendida entre los 10 cm primeros de los suelos con las cuatro especies forestales, se registró diferencias estadísticas significativas respecto a la capacidad de intercambio catiónico, de manera similar ocurrió en las muestras de suelos obtenidos de la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente no fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza, lo cual indica que al menos una de las especies registra mejores valores promedios (**Tabla 41**).

Tabla 41. ANVA para la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Profundidad (cm)	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
0 a 10	Especies forestales	29,170	3	9,723	17,754	0,009*
	Error aleatorio	2,191	4	0,548		
	Total	31,360	7			
10 a 40	Especies forestales	24,486	3	8,162	35,213	0,002*
	Error aleatorio	0,927	4	0,232		
	Total	25,413	7			

*: Existen diferencias estadísticas.

Las plantaciones donde se encontraban árboles de *C. spruceanum* y *E. torreliana* fueron las que se caracterizaban por contener mayor contenido de materia orgánica

desde la parte superficial del suelo hasta los 10 cm de profundidad, este comportamiento también se mantuvo cuando se realizó el muestreo entre 10 a 40 cm de profundidad en la misma especie respecto a las demás especies establecidas en monocultivos (**Tabla 42**).

Tabla 42. Comparación de medias para la capacidad de intercambio catiónico en los suelos de las plantaciones coetáneas.

Especies forestales	N	0 a 10 cm		10 a 40 cm	
		Media (Cmol(+).kg ⁻¹)	Subc.	Media (Cmol(+).kg ⁻¹)	Subc.
<i>C. glandulosa</i>	2	3,78	b	2,86	b
<i>C. cateniformis</i>	2	4,20	b	3,31	b
<i>E. torreliana</i>	2	7,47	a	6,45	a
<i>C. spruceanum</i>	2	8,08	a	6,69	a

Letras distintas demuestran diferencias estadísticas.

Mayor contenido de la capacidad de intercambio catiónico se registró en las especies *E. torreliana* y *C. spruceanum* (**Tabla 42**) esto hace que sea favorable en la disponibilidad de nutrientes, la resistencia a la acidificación, la estructura del suelo y la reducción del riesgo de erosión del suelo, siendo favorecido este indicador por la materia orgánica presente en los suelos, en especial cuando está con alto estado húmico (SAGARPA, 2012) dicho ecosistema edáfico.

El mismo indicador en los suelos con la especie forestal *C. cateniformis* perteneció al grupo de los valores más bajos, siendo ratificado este comportamiento por parte de Franco *et al.* (2023) en análisis de suelos provenientes de plantaciones con diferentes edades y un rodal natural, resaltando que la capacidad de intercambio catiónico determinado fue baja y en algunas plantaciones hasta representó el nivel de muy bajos.

4.2. Calidad del suelo mediante la aplicación del Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS), en plantaciones forestales coetáneas

Los suelos donde se encontraban plantaciones de *C. spruceanum* y *E. torreliana* fueron catalogados como marginales, mientras que en el caso de los suelos donde se encontraban establecidos *C. glandulosa* y *C. cateniformis* recibieron el calificativo de pobre; además, las repeticiones de las dos últimas especies mencionadas se caracterizaron por registrar valores muy homogéneos entre las repeticiones realizadas como parte de la recolección de datos y las dos especies restantes presentaron datos de mayor heterogeneidad (**Tabla 43** y **Figura 13**).

Tabla 43. Estadígrafos del subíndice de uso sustentable del suelo en las plantaciones coetáneas.

Profundidad	Especies	N	Media	SUSS	DE	EE	Mínimo	Máximo	CV
0 a 10 cm	<i>C. spruceanum</i>	2	0,55	Marginal	0,11	0,08	0,47	0,63	19,91
	<i>E. torreliana</i>	2	0,53	Marginal	0,08	0,06	0,47	0,59	15,36
	<i>C. glandulosa</i>	2	0,43	Pobre	0,00	0,00	0,43	0,43	0,18
	<i>C. cateniformis</i>	2	0,44	Pobre	0,02	0,01	0,43	0,45	3,91
10 a 40 cm	<i>C. spruceanum</i>	2	0,49	Marginal	0,09	0,06	0,42	0,55	18,58
	<i>E. torreliana</i>	2	0,45	Pobre	0,06	0,04	0,41	0,49	13,09
	<i>C. glandulosa</i>	2	0,36	Pobre	0,00	0,00	0,36	0,36	1,13
	<i>C. cateniformis</i>	2	0,42	Pobre	0,01	0,01	0,41	0,42	1,86
0 a 40 cm	<i>C. spruceanum</i>	2	0,52	Marginal	0,10	0,07	0,45	0,59	19,28
	<i>E. torreliana</i>	2	0,49	Marginal	0,07	0,05	0,44	0,54	14,32
	<i>C. glandulosa</i>	2	0,40	Pobre	0,00	0,00	0,39	0,40	0,61
	<i>C. cateniformis</i>	2	0,43	Pobre	0,01	0,01	0,42	0,44	2,91

N: Cantidad de muestras; SUSS: Subíndice de uso sustentable del suelo; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; CV: Coeficiente de variabilidad expresado en porcentajes

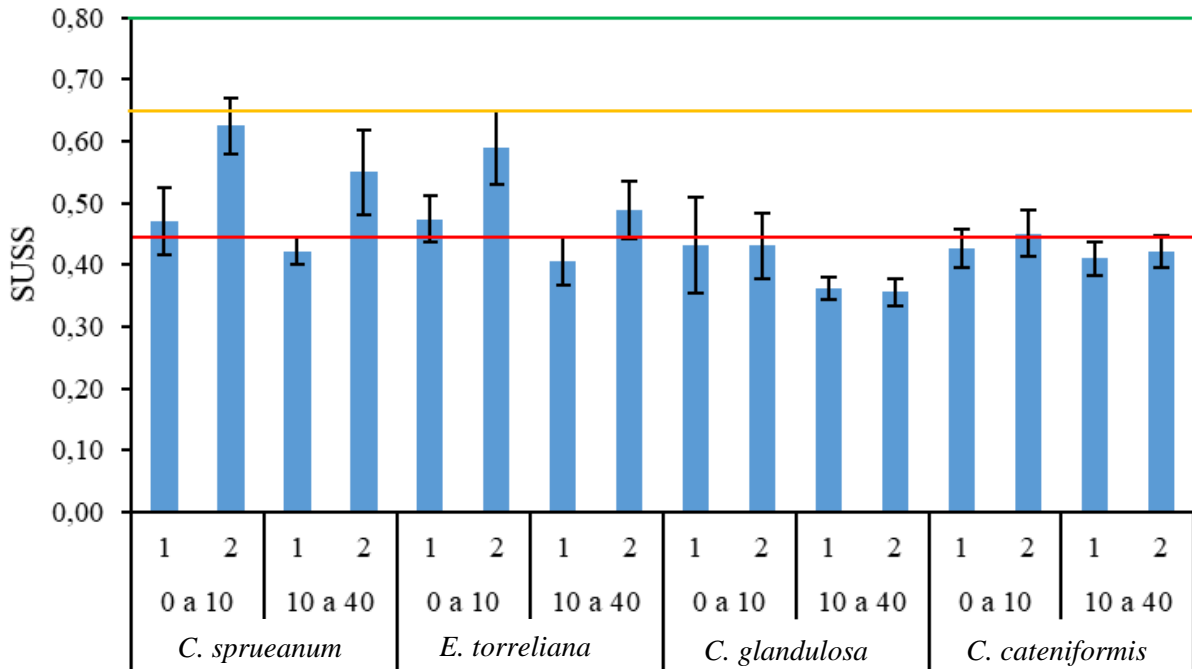


Figura 13. Calidad del suelo según el subíndice de uso sustentable del suelo.

Al comparar la capa superficial comprendida entre los 10 cm primeros de los suelos con las cuatro especies forestales, no se registró diferencias estadísticas significativas

respecto al Subíndice de Uso Sustentable del Suelo, de manera similar ocurrió en las muestras de suelos obtenidos de la profundidad 10 a 40 cm, que estadísticamente fueron similares de acuerdo al análisis de la varianza. Además, al utilizar todos los datos que representaron la profundidad desde la superficie hasta los 40 cm, tampoco hubo significancia estadística entre las especies forestales analizadas (**Tabla 44**).

Tabla 44. ANVA para el SUSS por influencia de las especies forestales coetáneas.

Profundidad	Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
0 a 10 cm	Especies forestales	0,022	3	0,007	1,578	0,327 ^{ns}
	Error aleatorio	0,019	4	0,005		
	Total	0,041	7			
10 a 40 cm	Especies forestales	0,017	3	0,006	1,979	0,259 ^{ns}
	Error aleatorio	0,012	4	0,003		
	Total	0,029	7			
0 a 40 cm	Especies forestales	0,019	3	0,006	1,668	0,310 ^{ns}
	Error aleatorio	0,015	4	0,004		
	Total	0,034	7			

ns: No existen diferencias estadísticas.

Los suelos que presentaban *E. torreliana* a pesar de que los individuos solamente presentaban una edad de cuatro años, sobresalieron al calificarlos de presentar suelos marginales, esto en cierta medida es concordante con los aportes de elementos nutricionales hacia el suelo por parte de la hojarasca, ya que el estudio de parte de Schumacher (1992) en Brasil con plantaciones de 10 años de edad, llegó a estimar un aporte en la hojarasca de 5,8 t/ha de los cuales se representa el contenido de nitrógeno en 67,2 kg, fósforo en 3,1 kg, potasio en 43,7 kg, calcio en 43,6 kg y en el caso del magnesio fue de 12,3 kg.

Los suelos donde se encontraban con árboles de *C. spruceanum* fueron clasificados como marginales (**Tabla 43**), siendo el penúltimo de las cinco categorías establecidas por SAGARPA (2012), resultado en cierta medida contrastando lo publicado por Trujillo (2019) en una plantación de 11 años al concluir que la calidad del suelo de este sistema es baja por registrar un puntaje de 0,32 siendo el penúltimo de las cinco categorías que utilizadas aunque hay ligeras divergencias entre utilizar uno u otro indicador del suelo. Además, en lo que corresponde a esta especie, Soudre (1995) en poblaciones naturales también concluyó que dicho sistema edáfico da indicios de un pobre desarrollo del perfil debido a que determinó valores

bajos correspondientes al contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, mientras que, en el caso de la materia orgánica, se registró solamente elevado contenido en la parte superficial difiriendo notablemente de las muestras obtenidas a mayor profundidad, comportamiento que se atribuye a la temporada de mayor precipitación que suele arrastrar los elementos nutricionales de la parte superficial y hay aporte de la hojarasca nuevamente en época de estiaje donde es escasa la precipitación.

La mayoría de las muestras de los suelos que se encontraba las plantaciones de *C. cateniformis* fue calificado como un SUSS pobre (**Figura 13**), este calificativo también se sustenta en base a los reportes de Franco *et al.* (2023) en donde en términos generales, los suelos de dichos sistemas se caracterizan por presentar niveles de baja hasta media fertilidad, presentan ciertas limitaciones por contener niveles altos de acidez, presentar baja CICE y se presentan deficiencias en las bases como es el caso del calcio, magnesio y potasio, resultados observados en más de 10 plantaciones de diferentes edades.

Las bajas calificaciones recibidas al emplear el método SUSS en las plantaciones se pudo atribuir a la poca edad de los árboles, ya que al realizar un estudio comparativo en tres sistemas de uso por parte de Azañero *et al.* (2020), se registró que un sistema agroforestal registra que la calidad de suelo es aceptable, seguido de un bosque secundario que alcanzó la categoría de sensible y en el caso de los suelos donde se cuenta con plantaciones de *Erythroxylum coca* (coca) se le califica de calidad marginal, estas calificaciones repercuten los impactos ocasionados por la actividad humana al perturbar un determinado ecosistema y su recuperación es paulatina a través del tiempo.

4.3. Determinación de la relación entre el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) y los indicadores fisicoquímicos, en las plantaciones forestales coetáneas

Se registró correlaciones positivas entre las propiedades químicas de los suelos con el sub índice de uso sustentable del suelo, aunque no se pudo determinar correlación significativa con la densidad aparente (**Tabla 45**).

La materia orgánica con el valor del SUS registraron correlación directa al muestrear en la profundidad de 10 a 40 cm, esto se debe en cierta medida al gran porte que realizan especies como *C. cateniformis* ya que Franco *et al.* (2023) al estudiar varias poblaciones con diferentes edades resaltaron la gran capacidad que posee esta especie forestal para aportar materia orgánica y nitrógeno debido al ciclaje de nutrientes que lo realizan a través del proceso de la caída de hojas y ramas, asimismo la capacidad que posee para fijar el nitrógeno.

Tabla 45. Prueba de correlación entre el SUSS y los indicadores fisicoquímicos.

Propiedades del suelo	Estadísticos	SUSS en profundidades de muestreo	
		0 a 10 cm	10 a 40 cm
Densidad aparente	Correlación	rho: -0,042	rho:-0,144
	Sig. (bilateral)	0,757	0,289
	N	56	56
Nivel de pH	Correlación	r: 0,737**	rho:0,313*
	Sig. (bilateral)	<0,001	0,019
	N	56	56
Conductividad eléctrica	Correlación	rho: 0,669**	rho:0,484**
	Sig. (bilateral)	<0,001	<0,001
	N	56	56
Materia orgánica	Correlación	r: 0,080	rho:0,401**
	Sig. (bilateral)	0,557	0,002
	N	56	56
Nitrógeno	Correlación	rho: 0,208	rho:0,400**
	Sig. (bilateral)	0,125	0,002
	N	56	56
Fósforo	Correlación	r: 0,648**	rho:0,489**
	Sig. (bilateral)	<0,001	<0,001
	N	56	56
Calcio	Correlación	rho: 0,716**	rho:0,818**
	Sig. (bilateral)	<0,001	<0,001
	N	56	56
Magnesio	Correlación	rho: 0,836**	rho:0,856**
	Sig. (bilateral)	<0,001	<0,001
	N	56	56
Sodio	Correlación	r: 0,562**	rho:0,390**
	Sig. (bilateral)	<0,001	0,003
	N	56	56
Capacidad de intercambio catiónico	Correlación	rho: 0,764**	rho:0,767**
	Sig. (bilateral)	<0,001	<0,001
	N	56	56

V. CONCLUSIONES

1. Realizar muestreos de los suelos entre 0 a 10 cm sobre el suelo en las plantaciones de las especies forestales *C. spruceanum*, *E. torreliana*, *C. glandulosa* y *C. cateniformis* registraron mayores valores de la densidad aparente, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, sodio y capacidad de intercambio catiónico, a excepción del nivel del pH que fueron superiores a mayor profundidad (10 a 40 cm) en para las especies *C. glandulosa* y *C. cateniformis*. Además, solamente se encontró diferencias estadísticas para la materia orgánica, nitrógeno y sodio respecto a las especies establecidas.
2. Los suelos donde se encontraban plantaciones de *C. spruceanum* y *E. torreliana* fueron de calidad marginal y para el caso de las especies *C. glandulosa* y *C. cateniformis* se determinó como suelos pobres.
3. Entre las propiedades químicas de los suelos correlacionadas con el valor del sub índice de uso sustentable del suelo, se registraron al pH, la conductividad eléctrica, el fósforo, el magnesio, el sodio y la capacidad de intercambio catiónico, todos ellos tanto de 0 a 10 cm como de 10 a 40 cm; en el caso de la materia orgánica y el nitrógeno solamente se correlacionaron con el SUSS entre la profundidad de 10 a 40 cm. Para el caso de la densidad aparente no se registró significancia estadística para la correlación.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar estudios con las mismas especies con fines de determinar el contenido de los elementos nutricionales aportadas por parte de la hojarasca.
2. Considerar estudios en plantaciones forestales de las mismas especies donde se incluyen variables como la diversidad y densidad de la macrofauna edáfica para que se fortalezcan las conclusiones sobre el uso sustentable del suelo.
3. Realizar estudios comparativos en plantaciones forestales donde se utilice el subíndice sustentable del suelo (SUSS) con otras metodologías de clasificación como el índice de calidad de suelos forestales (SQI) que se desarrolló por parte del Departamento de Agricultura y Servicio Forestal de los Estados Unidos de América.

VII. REFERENCIAS

- Adriaanse, A. (1993). *Environmental policy performance indicators. A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands*. IUCN.
- Arshad, M. A., y Coen, G. M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7, 25-31.
- Astier, C. M., Mass-Moreno, M., Etchevers, B. J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36, 605-620.
- Azañero, I., Ñique, M., y Florida, N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Rev. Tayacaja*, 3(1), 112-125. DOI: <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R. F., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97.
- Bazán, R. (1996). *Manual para el análisis químico de suelos, plantas y aguas*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Berg, Van Den R., Denneman, C. A. J., y Riels, J. M. (2013). Risk assessment of contaminated soil: Proposals for adjusted, toxicologically bases Dutch soil clean-up criteria. En Kluwer Academic Publisher (Eds.), *Contaminated Soil '93* (pp. 349- 364).
- Blum, W. E. H., Santelises, A. A. (1994). A concept of sustainability and resilience based on soil functions. En D. J. Greenland, y I. Szboles (Eds.), *Soil Resilience and Sustainable Land use CAB Int.* (pp. 535-542). Wallingford, Oxon, UK.
- Bornemisza, E. (1982). *Introducción a la Química de Suelos*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- Brejda, J. J., Moorman, T. B., Karlen D. L., y Dao, T. H. (2000). Identification of regional Soil Quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 2115-2124.
- Buschiazzo, D. E., Panigatti, J. L., y Unger, P. W. (1998). Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil & Tillage Research*, 49, 105-116.
- Cantú, M. P., Becker, A. R., Bedano, J. C., y Chiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia del Suelo*, 25(2), 173-178.

- Cantú, M. P., Becker, A. R., Bedano, J. C., Musso, T. B., y Schiavo, H. F. (2002). Evaluación de la calidad ambiental y calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, abril 2002, Puerto Madryn, Chubut, Argentina.
- Cantú, M. P., Becker, A. R., y Bedano, J. C. (2003). *Aplicación del modelo Presión Estado y Respuesta (PSR) para evaluar la calidad ambiental en la región central de Argentina*. Medio Ambiente Siglo XXI (MAS XXI) CD. Editorial Feijóo.
- Carter, M. R., Gregorich, E. G., Anderson, D. W., Doran, J. W., Janzen, H. H., y Pierce, F. J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. En E. G. Gregorich, & M. Carter (Eds.), *Soil quality for crop production and ecosystem health* (pp. 1-19). Developments in Soil Science.
- Cueva, L. (1988). *Norte Andino (Desarrollo Rural Integral y Conservación de Suelos)*. Hipatia S.A.
- De la Lama, G. (1976). *Atlas del Eucalipto*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- De Los Ángeles, P. J. (2007). *Diseño de parque municipal en Santa Cruz de los Cáñamos*. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica [USDA]. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. USDA.
- Dexter, A. R. (2004). Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120, 201-214.
- Doran, J. W., y Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. En J. W. Doran, D. C. Coleman, D. C. Bezdicek, & B. A. Stewart (Eds.), *Defining and assessing soil quality for sustainable environment* (pp. 3-21). Soil Science Society of America.
- Doran, J. W., y Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15, 3-11.
- Doran, J. W., Sarrantonio, M., y Liebig, M. A. (1996). Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 56, 1-54.
- Dumanski, J., Gameda, S., y Pieri, C. (1998). *Indicators of land quality and sustainable land management*. The World Bank.
- Etchevers, B. J. (1999). Indicadores de calidad de suelos. En C. H. Siebe, G. Rodarte, J. D. Toledo, J. D. Etchevers, & K. Olescho (Eds.), *Conservación y restauración de suelos* (pp. 239-262). Universidad Nacional Autónoma de México y Programa Universitario del Medio Ambiente.

- Franco, W., Picón, G., Ninin, P., y Radwan, A. (2023). *Oportunidad de desarrollo sostenible para la región amazónica y el sector forestal industrial ecuatoriano. Chuncho (Cedrelinga cateniformis): Especie guía en sistemas agroforestales para restauración productiva, reducción de la pobreza, mitigación del Cambio Global y generación de madera cultivada y alimentos para la Bioeconomía*. Universidad Regional Amazónica IKIAM, Universidad De Los Andes – ULA, Universidad Estatal De Milagro – UNEMI. <https://acortar.link/4yeqAD>
- Gregorich, E. G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C. M., y Ellert, B. H. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Soil Science*, 74, 367-386.
- Hammel, J. E. (1989). Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho. *Soil Science Society of America*, 53, 1515-1519.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Huamani, H., y Mansilla, L. (1995). Caracterización del estado nutricional de los suelos degradados del Alto Huallaga. *Tropicultura*, 1(2), 7-17.
- Hünemeyer, J.A., De Camino, R., y Müller, S. (1997). *Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. IICA/GTZ.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., y Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America*, 61, 4-10.
- Labrador, J. (2008). *Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica*. Sociedad Española de Agricultura Ecológica.
- Larson, W. E., y Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. En *Evaluation for sustainable land management in the developing world*, Vol. 2 (pp. 175-203). International Board for Research and Management.
- Mendoza, R. (2011). *Manejo de suelos utilizando indicadores de calidad del suelo*. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Nacional Agraria.
- Mendoza, Y. G. (2008). *Anatomía y propiedades físico-mecánicas del Eucalyptus torrelliana F. Muell* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2566>
- Ministerio de Agricultura [MINAG]. (2011). *Cadena agroproductiva de papa. Manejo y fertilidad de suelos*. MINAG.

- Moscatelli, G., Sobral, R., y Nakawa, V. (2005). *Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos*. INTA.
- Municipalidad Distrital de Chontabamba. (2019). *Proyecto: "Promoción y mejoramiento de los atractivos turísticos en el distrito de Chontabamba"*. Gerencia de Desarrollo Económico y Turismo.
- Oré, L. E., Huamán, J. H., Rengifo, J. P., Loarte, W. C., y Oré, J. D. (2022). Evaluación de la calidad de suelo en sistemas de uso: agroforestal, cultivos de coca y Bosque Secundario en el sector Cora Cora -Leoncio Prado, 2022. *Revista Científica y Tecnológica FitoVida*, 1(1), 24-32. <https://doi.org/10.56275/fitovida.v1i1.4>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (1981). *El Eucalipto en la Población Forestal*. FAO.
- Organization for Economic Co-operation and Development [OECD]. (1991). *Environmental indicators. A preliminary set*. OECD.
- Panduro, C. E. (2017). *Impacto de las plantaciones de "eucalipto torrellano" (Eucalyptus torrelliano) y "eucalipto salignas" (Eucalyptus salignas) sobre el contenido de humedad del suelo, en el centro poblado de César Vallejo, provincia de Rioja, región San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional UNSM. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/3068>
- Reynel, C., Pennington, T. D., Pennington, R. T., Flores, C., y Daza, A. (2003). *Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos. Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies*. DARWIN INITIATIVE Project, ICRAF.
- Reynolds, W. D., Bowman, B. T., Rury, C. F., Tana, C. S., y Lu, M. (2002). Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110, 131-146.
- Romig, D. E., Garlynd, M. J., Harris, R. F., y Mcsweeney, K. (1995). How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 50(3), 229-236.
- Salinas-García, J. R., Hons, F. M., y Matocha, J. E. (1997). Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America*, 61, 152-159.
- Schumacher, M. V. (1992). *Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de Eucalyptus camaldulensis Dehnh Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus torelliana F. Muell* [Tesis de posgrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz]. Repositorio institucional USP. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11142/tde-20191218-150559/en.php>

- Schumacher, M. V., y Poggiani, F. (1993). Producción de biomasa e remoción de nutrientes en povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden E *Eucalyptus torelliana* F. Muell, localizados em Anhembi – SP. *Ciência Florestal*, 3(1), 21-32. <https://doi.org/10.5902/19805098283>
- Sears, R., Ugarte, J., y Soudré, M. (2002). La autoecología y la ecología de *Calycophyllum spruceanum*, un árbol de la Várzea Amazónica. IX Congreso Nacional de Botánica, junio 2002, Iquitos, Perú.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2012). *Subíndice de Uso Sustentable del Suelo - Metodología de Cálculo*. FAO-SAGARPA.
- Segnestam, L. (2002). *Indicators of Environment and Sustainable Development. Theories and Practical Experience*. The World Bank Environment Department.
- Seybold, C. A., Mausbach, M. J., Karlen, D. L., y Rogers, H. H. (1997). Quantification of Soil Quality. En R. LAL, J. M. Kimble, R. F. Follet, B. A. Stewart (Eds.), *Soil Process and the Carbon Cycle* (pp. 387-403). CRC Press.
- Silva, A. (2003). *La materia orgánica del suelo*. Notas. Técnicas N° 16. Facultad de Agronomía.
- Singer, M. J., y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En M. E. Sumner (Ed.), *Handbook of Soil Science* (pp. 271-298). CRC Press.
- Soil Quality Institute [SQI]. (1996). *Indicators for soil quality evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service.
- Soudre, M. (1995). Ecología y silvicultura de *Calycophyllum spruceanum*, "Capirona del bajo". INIA. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/814/1/Soudre-Ecologia_silvicultura.pdf
- Topp, G. C., Reynolds, W. D., Cook, F. J., Kirby, J. M., y Carter, M. R. (1997). Physical attributes of soil quality. *Developments in Soil Science*, 25, 21-58.
- Trujillo, L. K. (2019). *Evaluación de la calidad del suelo en dieciséis (16) sectores en los distritos de Nuevo Progreso, Pueblo Nuevo, Uchiza y Rupa-Rupa* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4e239cb2-695b-4038-aa93-6edf53316ce4/content>
- Valdez, J., Delgado, F., Pillco, C., y Rodríguez, K. I. (2020). Biomasa y contenido de nutrientes en plantaciones forestales de *E. Urograndis* (Ucayali). *Revista de Innovación y Transferencia Productiva*, 1(1), 1-16. <https://revistas.itp.gob.pe/index.php/ritp/article/view/4/44>

- Volveré, B., y Amézquita, E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 58(1), 35-39.
- Warkentin, B. P. (1996). Overview of soil quality indicators. En G. M. Cohen, & H. S. Vanderpluym (Eds.), *Proceedings of the Soil Quality Assessment for the Prairies* (pp. 1-13).

ANEXO

Anexo 1. Matriz de datos

Tabla 46. Datos tabulados para el análisis.

Pl.	Di.	Spp.	Re.	Pun.	Pro.	DA	pH	CE	MO	N	P	Ca	Mg	Na	CIC
1	1	1	1	1	1	1,34	4,41	0,063	1,65	0,08	8,09	6,95	1,04	0,174	10,13
1	1	1	1	2	1	1,36	4,75	0,074	2,68	0,13	8,01	4,61	0,59	0,092	6,53
1	1	1	1	3	1	1,29	4,74	0,063	2,39	0,12	5,84	5,17	0,68	0,012	7,44
1	1	1	1	4	1	1,25	4,61	0,068	1,53	0,08	4,48	3,55	0,44	0,110	6,26
1	1	1	1	5	1	1,26	4,78	0,074	1,46	0,07	4,64	4,39	0,55	0,110	7,09
1	1	1	1	6	1	1,23	4,42	0,069	1,47	0,07	7,44	3,36	0,50	0,091	5,96
1	1	1	1	7	1	1,27	4,41	0,034	1,36	0,07	5,68	3,76	0,53	0,152	6,29
1	1	1	1	1	2	1,28	4,72	0,018	1,35	0,07	6,02	3,07	0,34	0,110	5,74
1	1	1	1	2	2	1,22	4,52	0,026	2,17	0,11	3,84	3,49	0,33	0,061	5,31
1	1	1	1	3	2	1,21	4,72	0,015	1,03	0,05	4,32	3,49	0,35	0,084	5,54
1	1	1	1	4	2	1,17	4,76	0,017	1,17	0,06	3,20	4,05	0,40	0,093	6,92
1	1	1	1	5	2	1,14	4,43	0,038	1,05	0,05	3,44	3,91	0,46	0,100	6,49
1	1	1	1	6	2	1,05	4,56	0,045	1,14	0,06	6,89	3,86	0,53	0,082	6,55
1	1	1	1	7	2	1,13	4,92	0,010	1,04	0,05	3,20	3,39	0,36	0,100	5,70
2	2	1	2	1	1	1,22	5,34	0,188	1,29	0,06	7,52	7,99	1,13	0,153	10,16
2	2	1	2	2	1	1,15	5,14	0,140	1,50	0,08	14,8	7,13	1,06	0,187	9,18
2	2	1	2	3	1	1,17	5,43	0,230	1,58	0,08	10,5	6,90	1,25	0,170	9,06
2	2	1	2	4	1	1,19	5,19	0,155	1,22	0,06	10,3	8,69	1,16	0,149	11,10
2	2	1	2	5	1	1,13	5,14	0,263	1,57	0,08	10,2	6,10	0,92	0,136	7,77
2	2	1	2	6	1	1,16	4,98	0,158	1,39	0,07	6,25	5,54	1,08	0,146	8,12
2	2	1	2	7	1	1,18	5,01	0,163	1,75	0,09	5,87	5,69	1,11	0,136	7,97
2	2	1	2	1	2	1,16	4,62	0,062	1,14	0,06	6,97	6,48	0,70	0,090	8,31
2	2	1	2	2	2	1,08	4,63	0,090	1,18	0,06	9,39	5,39	0,72	0,098	7,28
2	2	1	2	3	2	1,11	5,41	0,145	1,17	0,06	8,89	5,71	1,19	0,087	7,73
2	2	1	2	4	2	1,03	5,33	0,119	1,07	0,05	8,87	7,52	1,09	0,085	9,97
2	2	1	2	5	2	1,04	4,78	0,060	1,36	0,07	8,17	4,95	0,44	0,072	6,03
2	2	1	2	6	2	1,12	4,87	0,101	1,11	0,06	4,65	3,54	0,93	0,068	5,86
2	2	1	2	7	2	1,11	4,98	0,098	1,31	0,07	4,39	4,12	0,88	0,061	6,17
3	2	2	1	1	1	1,10	4,87	0,118	1,54	0,08	7,93	6,06	0,57	0,108	8,76
3	2	2	1	2	1	1,09	4,90	0,141	2,25	0,11	7,37	3,57	0,43	0,155	5,97
3	2	2	1	3	1	1,14	4,40	0,064	2,83	0,14	7,05	3,60	0,44	0,107	6,81
3	2	2	1	4	1	1,00	4,40	0,068	1,99	0,10	5,44	3,70	0,42	0,078	7,51
3	2	2	1	5	1	1,20	4,20	0,017	2,64	0,13	8,57	3,38	0,41	0,176	7,29
3	2	2	1	6	1	1,11	4,20	0,166	2,25	0,11	4,80	3,29	0,50	0,145	7,32
3	2	2	1	7	1	1,15	4,30	0,077	1,54	0,08	5,52	4,11	0,50	0,101	7,50
3	2	2	1	1	2	1,09	4,80	0,025	0,58	0,03	3,03	5,04	0,44	0,052	7,59
3	2	2	1	2	2	1,08	4,20	0,031	1,09	0,05	3,68	3,19	0,34	0,096	5,38

Pl.	Di.	Spp.	Re.	Pun.	Pro.	DA	pH	CE	MO	N	P	Ca	Mg	Na	CIC
3	2	2	1	3	2	1,09	4,50	0,027	1,48	0,07	4,81	3,46	0,36	0,085	6,79
3	2	2	1	4	2	0,95	4,60	0,018	1,03	0,05	4,00	3,26	0,37	0,052	7,09
3	2	2	1	5	2	1,09	4,70	0,020	0,90	0,04	4,96	2,57	0,35	0,099	6,36
3	2	2	1	6	2	1,08	3,70	0,019	1,29	0,06	4,48	2,26	0,37	0,096	6,00
3	2	2	1	7	2	1,13	4,40	0,033	0,58	0,03	4,72	3,31	0,31	0,084	6,74
4	3	2	2	1	1	1,05	5,10	0,195	3,04	0,15	9,13	7,29	1,08	0,131	9,38
4	3	2	2	2	1	1,24	5,10	0,095	2,97	0,15	8,97	6,37	1,11	0,137	8,57
4	3	2	2	3	1	1,16	4,80	0,075	2,42	0,12	5,16	5,84	0,96	0,108	8,38
4	3	2	2	4	1	1,14	4,70	0,072	2,91	0,15	7,66	5,55	1,08	0,146	8,76
4	3	2	2	5	1	1,19	5,00	0,106	2,63	0,13	6,32	2,65	1,00	0,147	5,02
4	3	2	2	6	1	1,18	4,90	0,082	2,77	0,14	6,64	3,59	0,93	0,169	5,75
4	3	2	2	7	1	1,13	4,90	0,031	2,38	0,12	5,96	4,95	0,86	0,179	7,60
4	3	2	2	1	2	0,99	4,80	0,017	1,68	0,08	5,76	5,38	0,71	0,096	7,09
4	3	2	2	2	2	1,09	4,90	0,023	1,69	0,08	5,36	5,55	0,94	0,055	7,39
4	3	2	2	3	2	1,11	4,60	0,031	1,96	0,10	3,36	4,87	0,48	0,065	6,95
4	3	2	2	4	2	1,06	4,80	0,029	1,47	0,07	3,52	3,62	0,69	0,084	6,38
4	3	2	2	5	2	1,10	4,80	0,024	1,14	0,06	4,72	2,02	0,58	0,085	3,85
4	3	2	2	6	2	1,11	4,70	0,042	1,35	0,07	4,00	3,47	0,79	0,102	5,71
4	3	2	2	7	2	1,02	4,80	0,018	1,49	0,07	3,44	4,79	0,57	0,084	7,01
5	2	3	1	1	1	1,12	3,70	0,020	1,06	0,05	2,89	2,60	0,40	0,054	4,22
5	2	3	1	2	1	1,17	4,72	0,026	0,80	0,04	4,74	2,15	0,34	0,052	3,29
5	2	3	1	3	1	1,15	4,69	0,032	2,06	0,10	4,28	3,35	0,69	0,085	4,86
5	2	3	1	4	1	1,13	4,70	0,019	1,53	0,08	3,28	3,40	0,29	0,040	4,26
5	2	3	1	5	1	1,11	4,77	0,026	3,39	0,17	3,97	2,95	0,43	0,051	4,32
5	2	3	1	6	1	1,16	4,65	0,021	1,80	0,09	6,21	2,60	0,35	0,054	3,65
5	2	3	1	7	1	1,14	4,77	0,023	5,92	0,30	4,59	2,90	0,57	0,069	4,27
5	2	3	1	1	2	1,10	4,64	0,021	0,73	0,04	1,73	2,50	0,37	0,044	3,70
5	2	3	1	2	2	1,14	4,75	0,014	1,60	0,08	2,89	2,00	0,29	0,041	2,96
5	2	3	1	3	2	1,11	4,84	0,015	0,20	0,01	1,50	1,50	0,29	0,054	2,36
5	2	3	1	4	2	1,10	4,70	0,014	0,67	0,03	2,20	2,85	0,26	0,032	3,79
5	2	3	1	5	2	1,06	4,74	0,013	1,13	0,06	2,97	2,00	0,30	0,036	2,88
5	2	3	1	6	2	1,12	4,77	0,020	0,73	0,04	5,13	1,75	0,27	0,028	2,72
5	2	3	1	7	2	1,10	4,72	0,026	1,00	0,05	1,43	1,76	0,33	0,037	2,82
6	2	3	2	1	1	1,16	4,88	0,054	2,26	0,11	10,1	2,95	0,71	0,085	4,56
6	2	3	2	2	1	1,13	4,59	0,021	2,53	0,13	8,06	2,05	0,33	0,075	3,31
6	2	3	2	3	1	1,14	4,72	0,026	1,26	0,06	3,28	2,00	0,32	0,120	3,24
6	2	3	2	4	1	1,16	4,94	0,025	2,26	0,11	7,83	1,95	0,31	0,085	3,06
6	2	3	2	5	1	1,16	4,72	0,021	2,26	0,11	8,29	2,65	0,51	0,058	3,83
6	2	3	2	6	1	1,15	4,68	0,014	1,06	0,05	10,1	2,20	0,30	0,069	3,31
6	2	3	2	7	1	1,16	4,85	0,020	1,26	0,06	4,67	1,80	0,31	0,085	2,80

Pl.	Di.	Spp.	Re.	Pun.	Pro.	DA	pH	CE	MO	N	P	Ca	Mg	Na	CIC
6	2	3	2	1	2	1,08	4,74	0,028	1,00	0,05	3,89	2,15	0,35	0,049	3,17
6	2	3	2	2	2	1,11	4,59	0,027	2,06	0,10	2,74	1,65	0,28	0,052	2,77
6	2	3	2	3	2	1,07	4,76	0,021	0,47	0,02	2,58	1,55	0,26	0,101	2,66
6	2	3	2	4	2	1,12	4,82	0,019	1,00	0,05	1,35	1,75	0,22	0,047	2,68
6	2	3	2	5	2	1,13	4,97	0,013	1,20	0,06	3,12	1,90	0,28	0,039	2,74
6	2	3	2	6	2	1,09	4,71	0,023	0,93	0,05	1,50	1,45	0,21	0,037	2,31
6	2	3	2	7	2	1,14	4,78	0,028	0,60	0,03	3,43	1,55	0,25	0,042	2,54
7	4	4	1	1	1	1,24	4,40	0,063	3,60	0,18	2,12	3,15	0,56	0,081	4,30
7	4	4	1	2	1	1,18	4,60	0,076	2,83	0,14	1,73	3,17	0,47	0,087	4,25
7	4	4	1	3	1	1,23	4,61	0,061	2,83	0,14	6,06	3,08	0,42	0,066	3,95
7	4	4	1	4	1	1,19	4,76	0,083	4,18	0,21	2,12	3,08	0,40	0,077	4,03
7	4	4	1	5	1	1,19	4,35	0,052	2,12	0,11	2,04	3,17	0,43	0,106	4,18
7	4	4	1	6	1	1,15	4,47	0,051	1,29	0,06	2,43	3,27	0,50	0,099	4,31
7	4	4	1	7	1	1,25	4,27	0,057	4,31	0,22	1,73	3,24	0,42	0,090	4,17
7	4	4	1	1	2	1,23	5,07	0,052	3,54	0,18	1,27	2,53	0,40	0,065	3,47
7	4	4	1	2	2	1,15	4,74	0,038	2,57	0,13	1,58	2,47	0,42	0,081	3,38
7	4	4	1	3	2	1,21	4,83	0,026	0,96	0,05	5,28	2,51	0,37	0,040	3,25
7	4	4	1	4	2	1,17	4,88	0,028	2,25	0,11	1,50	2,52	0,39	0,044	3,37
7	4	4	1	5	2	1,18	4,65	0,021	1,41	0,07	0,65	2,56	0,39	0,042	3,34
7	4	4	1	6	2	1,14	5,05	0,032	2,25	0,11	1,58	2,52	0,39	0,055	3,35
7	4	4	1	7	2	1,21	4,70	0,021	3,41	0,17	1,27	2,43	0,32	0,028	3,09
8	4	4	2	1	1	1,24	4,56	0,049	3,09	0,15	2,12	3,11	0,43	0,025	4,05
8	4	4	2	2	1	1,17	4,52	0,053	4,05	0,20	8,37	3,02	0,41	0,084	3,94
8	4	4	2	3	1	1,21	4,37	0,046	2,89	0,14	2,58	3,08	0,41	0,098	4,04
8	4	4	2	4	1	1,12	4,51	0,070	4,24	0,21	2,58	3,37	0,51	0,086	4,39
8	4	4	2	5	1	1,14	4,41	0,064	3,60	0,18	2,51	3,41	0,37	0,099	4,42
8	4	4	2	6	1	1,16	4,20	0,051	3,47	0,17	2,58	3,07	0,40	0,074	3,98
8	4	4	2	7	1	1,19	4,60	0,119	4,50	0,22	2,89	3,45	0,57	0,124	4,74
8	4	4	2	1	2	1,22	4,94	0,017	2,70	0,13	1,66	2,47	0,37	0,027	3,16
8	4	4	2	2	2	1,15	4,90	0,025	3,21	0,16	1,50	2,44	0,35	0,034	3,16
8	4	4	2	3	2	1,20	4,52	0,022	3,02	0,15	1,35	2,48	0,35	0,040	3,21
8	4	4	2	4	2	1,11	4,42	0,057	2,96	0,15	1,27	2,55	0,39	0,075	3,42
8	4	4	2	5	2	1,12	4,66	0,022	2,51	0,13	1,36	2,48	0,36	0,033	3,21
8	4	4	2	6	2	1,14	4,46	0,034	3,15	0,16	1,89	2,48	0,35	0,036	3,19
8	4	4	2	7	2	1,17	4,92	0,069	3,86	0,19	1,66	2,64	0,55	0,103	3,77

Pl.: Plantación

Di.: Distrito (1: Uchiza, 2: Nuevo Progreso (Ramal de Aspuzana), 3: Cholón y 4: La Morada)

Spp.: Especies (1: *Calycophyllum spruceanum*, 2: *Eucalyptus torrelliana*, 3: *Colubrina glandulosa* y 4: *Cedrelinga cateniformis*)

Pun.: Puntos

Re.: Repetición

Pro.: Profundidad (1: 0-10 cm y 2: 10-40 cm)

Anexo 1. Panel de imágenes fotográficas



Figura 14. Georreferenciación de parcelas en estudio.



Figura 15. Limpieza las parcelas forestales.



Figura 16. Verificación por parte de los jurados a las parcelas en estudio.



Figura 17. Visita a las plantaciones por parte del Presidente del jurado de tesis.



Figura 18. Equipos y materiales utilizados.



Figura 19. Delimitación de las parcelas.



Figura 20. Medición entre los puntos de Muestreo.



Figura 21. Colocación de códigos en los puntos de muestreo.



Figura 22. Medición a dos profundidades los puntos de muestreo.



Figura 23. Apertura de hoyos para el muestreo de suelos con palana.



Figura 24 Medición de la muestra desde la superficie hasta los 10 cm de profundidad.



Figura 25. Medición de la muestra desde los 10 cm hasta los 40 cm de profundidad.



Figura 26. Registro de datos de las muestras de suelo.



Figura 27. Codificación de las muestras de suelo en la bolsa ziploc.



Figura 28. Muestras de suelos con sus respectivos códigos.



Figura 29. Propietario de la parcela con plantación de *C. cateniformis*.

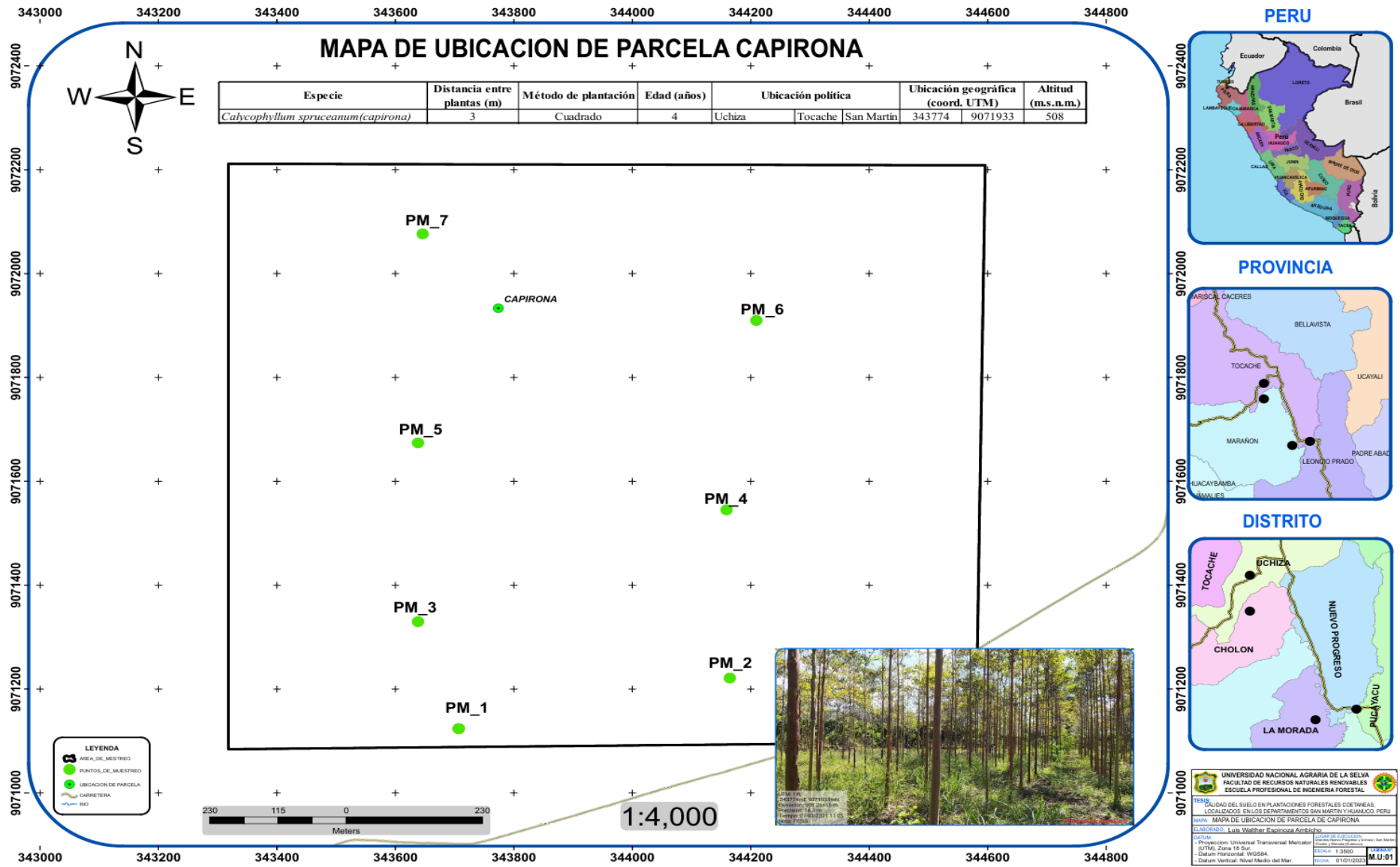


Figura 30. Parcela 1 de *C. spruceanum* en el distrito de Uchiza.

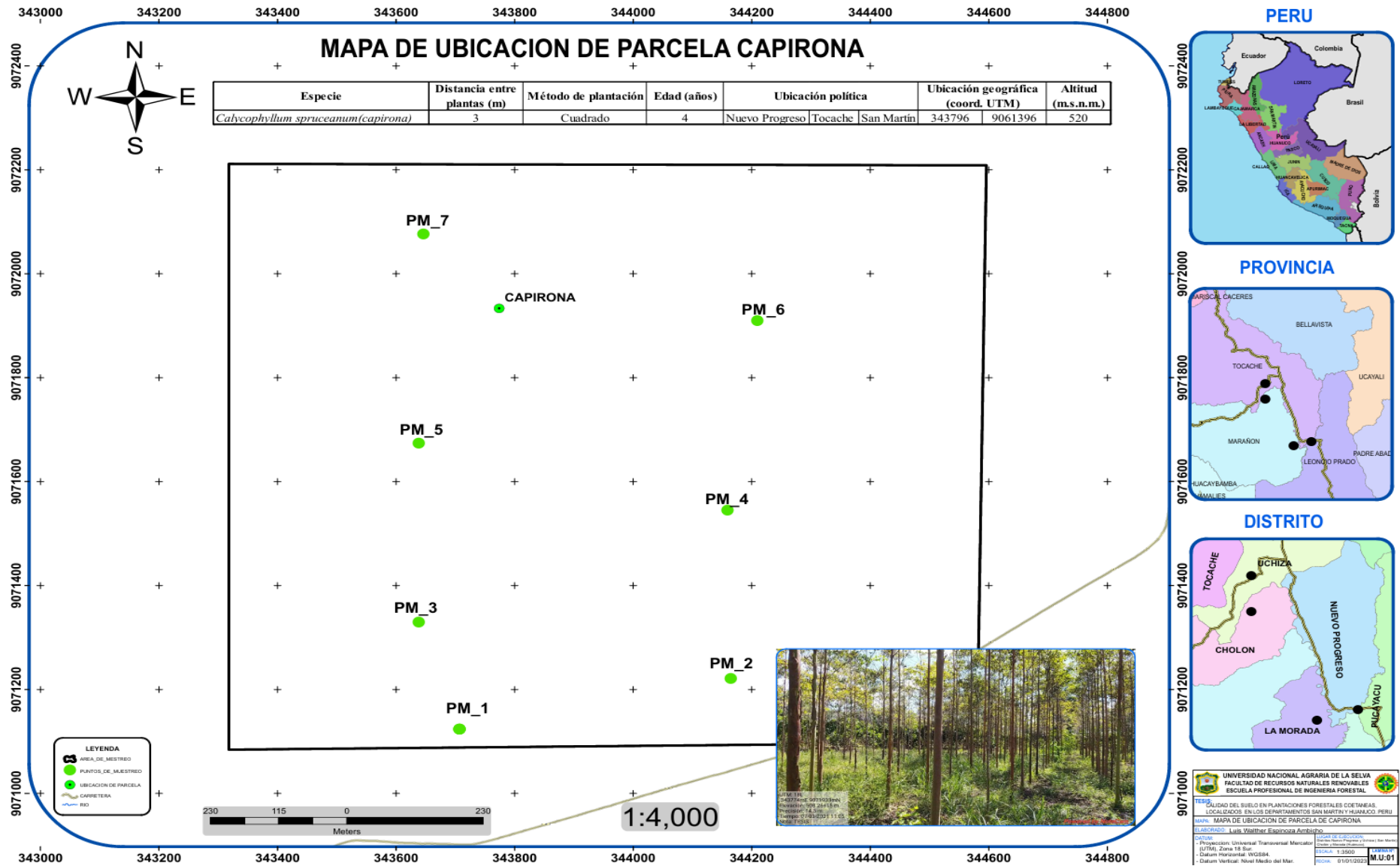


Figura 31. Parcela 2 de *C. spruceanum* en el distrito de Nuevo Progreso.



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: ESPINOZA AMBICHO LUIS WALTHER				SECTOR: RAMAL DE AZPUZANA				ESPECIE FORESTAL: Calycophyllum spruceanum (capfrona)				PROPIETARIO: CLEMENTINA AGUIRRE COPAHUAYNO														
N°	DATOS			Dap g/cc	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	CE dS/cm	M.O. %	N %	P disponible		K ppm	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%	
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA			Arena %	Arcilla %	Limo %					Textura	2:			1:	Ca	Mg	K	Na	Al					H
1	S1693-1	PF1	PARCELA 1 PM1	0 - 10	1.34	61	10	29	Franco Arenoso	4.41	0.063	1.65	0.08	8.09	98.45	----	6.95	1.04	0.230	0.174	1.54	0.20	10.13	83	17	15
2	S1693-2	PF1	PARCELA 1 PM1	10 - 40.	1.28	65	20	15	Franco Arenoso	4.72	0.018	1.35	0.07	6.02	79.58	----	3.07	0.34	0.210	0.110	1.66	0.35	5.74	65	35	29
3	S1693-3	PF1	PARCELA 1 PM2	0 - 10	1.36	63	16	21	Franco Arenoso	4.75	0.074	2.68	0.13	8.01	49.99	----	4.61	0.59	0.170	0.092	0.95	0.12	6.53	84	16	15
4	S1693-4	PF1	PARCELA 1 PM2	10 - 40.	1.22	61	22	17	Franco Arcillo Arenoso	4.52	0.026	2.17	0.11	3.84	44.98	----	3.49	0.33	0.150	0.061	1.12	0.16	5.31	76	24	21
5	S1693-5	PF1	PARCELA 1 PM3	0 - 10	1.29	67	16	17	Franco Arenoso	4.74	0.063	2.39	0.12	5.84	87.98	----	5.17	0.68	0.240	0.012	1.13	0.21	7.44	82	18	15
6	S1693-6	PF1	PARCELA 1 PM3	10 - 40.	1.21	65	20	15	Franco Arenoso	4.72	0.015	1.03	0.05	4.32	74.65	----	3.49	0.35	0.200	0.084	1.18	0.24	5.54	74	26	21
7	S1693-7	PF1	PARCELA 1 PM4	0 - 10	1.25	61	16	23	Franco Arenoso	4.61	0.068	1.53	0.08	4.48	97.45	----	3.55	0.44	0.260	0.110	1.56	0.35	6.26	69	31	25
8	S1693-8	PF1	PARCELA 1 PM4	10 - 40.	1.17	59	22	19	Franco Arcillo Arenoso	4.76	0.017	1.17	0.06	3.20	94.96	----	4.05	0.40	0.210	0.093	1.87	0.31	6.92	69	31	27
9	S1693-9	PF1	PARCELA 1 PM5	0 - 10	1.26	65	16	19	Franco Arenoso	4.78	0.074	1.46	0.07	4.64	134.94	----	4.39	0.55	0.310	0.110	1.52	0.21	7.09	76	24	21
10	S1693-10	PF1	PARCELA 1 PM5	10 - 40.	1.14	61	22	17	Franco Arcillo Arenoso	4.43	0.038	1.05	0.05	3.44	79.96	----	3.91	0.46	0.230	0.100	1.56	0.24	6.49	72	28	24
11	S1693-11	PF1	PARCELA 1 PM6	0 - 10	1.23	67	16	17	Franco Arenoso	4.42	0.069	1.47	0.07	7.44	57.98	----	3.36	0.50	0.170	0.091	1.69	0.15	5.96	69	31	28
12	S1693-12	PF1	PARCELA 1 PM8	10 - 40.	1.05	63	16	21	Franco Arenoso	4.56	0.045	1.14	0.06	6.89	39.98	----	3.86	0.53	0.140	0.082	1.78	0.16	6.55	70	30	27
13	S1693-13	PF1	PARCELA 1 PM7	0 - 10	1.27	61	16	23	Franco Arenoso	4.41	0.034	1.36	0.07	5.68	96.57	----	3.76	0.53	0.250	0.152	1.46	0.14	6.29	75	25	23
14	S1693-14	PF1	PARCELA 1 PM7	10 - 40.	1.13	63	20	17	Franco Arenoso	4.92	0.010	1.04	0.05	3.20	84.75	----	3.39	0.36	0.210	0.100	1.48	0.16	5.70	71	29	26

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

RECIBO 001 N° 0662714

TINGO MARIA, 04 DE NOVIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HILDO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 32. Resultados de análisis de suelos de la parcela 1 de *C. spruceanum* en el distrito de Uchiza.



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: ESPINOZA AMBICHO LUIS WALTHER				SECTOR: UCHIZA				ESPECIE FORESTAL: Calycophyllum spruceanum (capirona)				PROPIETARIO: LOPEZ ESPINOZA JONAS														
N°	DATOS			Dap	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg				CICe	%	%	%				
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	g/cc		Arena	Arcilla	Limo								Textura	2:1	dS/cm	%					%	ppm	ppm	Ca
15	S1693-15	PF1	PARCELA 2 PM1	0 - 10	1.22	51	14	35	Franco	5.34	0.188	1.29	0.06	7.52	101.25	----	7.99	1.13	0.253	0.153	0.52	0.12	10.16	94	6	5
16	S1693-16	PF1	PARCELA 2 PM1	10 - 40.	1.16	45	26	29	Franco	4.62	0.062	1.14	0.06	6.97	99.54	----	6.48	0.70	0.149	0.090	0.75	0.15	8.31	89	11	9
17	S1693-17	PF1	PARCELA 2 PM2	0 - 10	1.15	51	16	33	Franco	5.14	0.140	1.50	0.08	14.83	123.45	----	7.13	1.06	0.309	0.187	0.38	0.11	9.18	95	5	4
18	S1693-18	PF1	PARCELA 2 PM2	10 - 40.	1.08	41	30	29	Franco Arcilloso	4.63	0.090	1.18	0.06	9.39	68.95	----	5.39	0.72	0.172	0.098	0.73	0.17	7.28	88	12	10
19	S1693-19	PF1	PARCELA 2 PM3	0 - 10	1.17	47	26	27	Franco	5.43	0.230	1.58	0.08	10.52	112.45	----	6.90	1.25	0.281	0.170	0.36	0.10	9.06	95	5	4
20	S1693-20	PF1	PARCELA 2 PM3	10 - 40.	1.11	43	26	31	Franco	5.41	0.145	1.17	0.06	8.89	85.24	----	5.71	1.19	0.213	0.087	0.42	0.11	7.73	93	7	5
21	S1693-21	PF1	PARCELA 2 PM4	0 - 10	1.19	47	14	39	Franco	5.19	0.155	1.22	0.06	10.25	98.54	----	8.69	1.16	0.246	0.149	0.65	0.21	11.10	92	8	6
22	S1693-22	PF1	PARCELA 2 PM4	10 - 40.	1.03	49	20	31	Franco	5.33	0.119	1.07	0.05	8.87	96.25	----	7.52	1.09	0.141	0.085	0.89	0.24	9.97	89	11	9
23	S1693-23	PF1	PARCELA 2 PM5	0 - 10	1.13	51	14	35	Franco	5.14	0.263	1.57	0.08	10.22	89.45	----	6.10	0.92	0.224	0.136	0.28	0.12	7.77	95	5	4
24	S1693-24	PF1	PARCELA 2 PM5	10 - 40.	1.04	49	14	37	Franco	4.78	0.060	1.36	0.07	8.17	75.33	----	4.95	0.44	0.118	0.072	0.32	0.13	6.03	93	7	5
25	S1693-25	PF1	PARCELA 2 PM6	0 - 10	1.16	51	14	35	Franco	4.98	0.158	1.39	0.07	6.25	96.35	----	5.54	1.08	0.241	0.146	0.87	0.24	8.12	86	14	11
26	S1693-26	PF1	PARCELA 2 PM6	10 - 40.	1.12	45	26	29	Franco	4.87	0.101	1.11	0.06	4.65	65.47	----	3.54	0.93	0.113	0.068	0.96	0.25	5.86	79	21	16
27	S1693-27	PF1	PARCELA 2 PM7	0 - 10	1.18	47	14	39	Franco	5.01	0.163	1.75	0.09	5.87	89.57	----	5.69	1.11	0.224	0.136	0.69	0.12	7.97	90	10	9
28	S1693-28	PF1	PARCELA 2 PM7	10 - 40.	1.11	49	20	31	Franco	4.98	0.098	1.31	0.07	4.39	66.77	----	4.12	0.88	0.101	0.061	0.87	0.14	6.17	84	16	14
29	S1693-29		TESTIGO		1.09	45	32	23	Franco Arcilloso	4.80	0.046	1.09	0.05	4.24	77.54	----	4.21	0.40	0.194	0.055	1.24	0.26	6.36	76	24	20

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001 N° 0662714
TINGO MARIA, 04 DE NOVIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFONSO JAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 33. Resultados de análisis de suelos de la parcela 2 de *C. spruceanum* en el distrito de Nuevo Progreso.

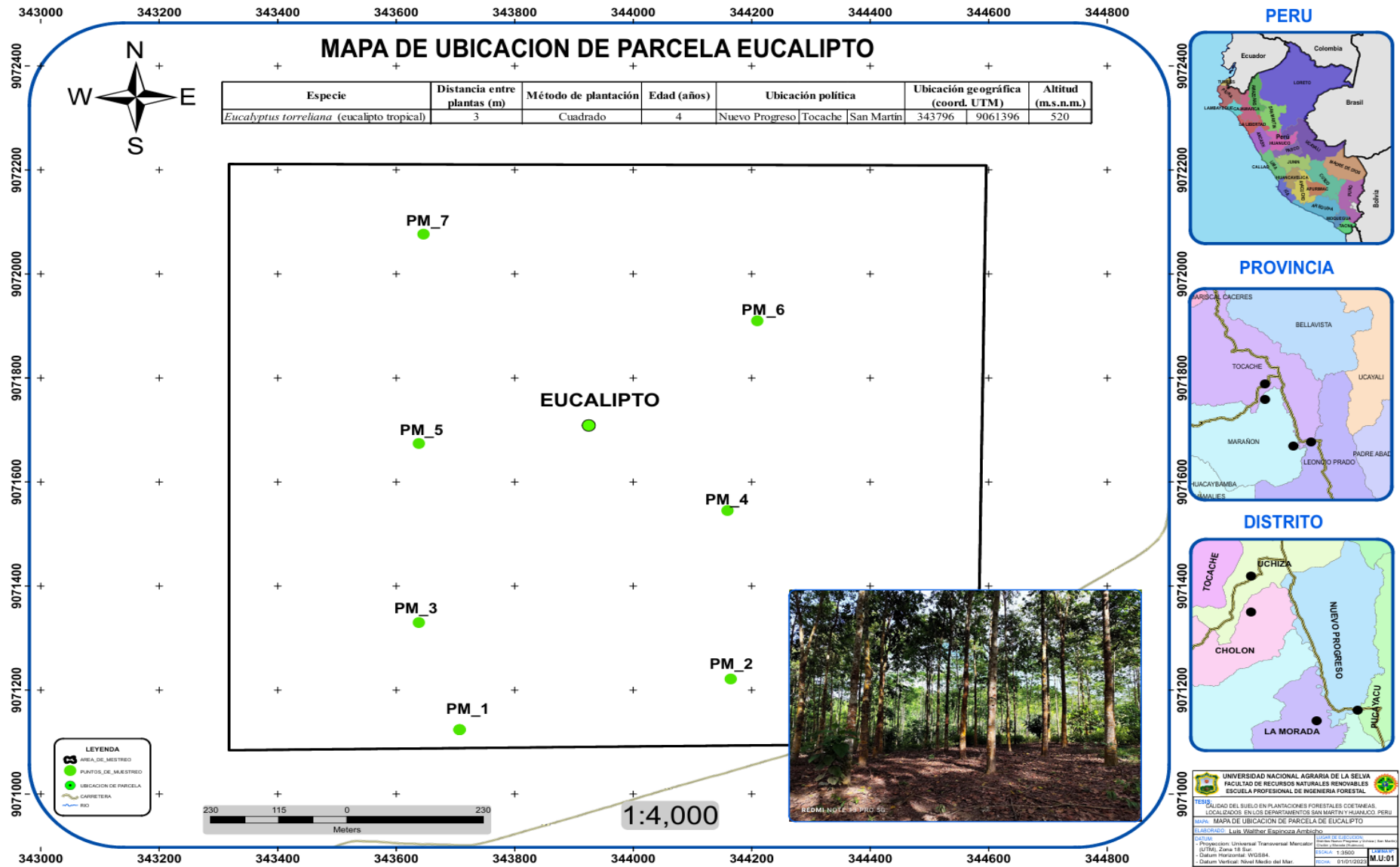


Figura 34. Parcela 1 de *E. torreliana* en el distrito de Nuevo Progreso.

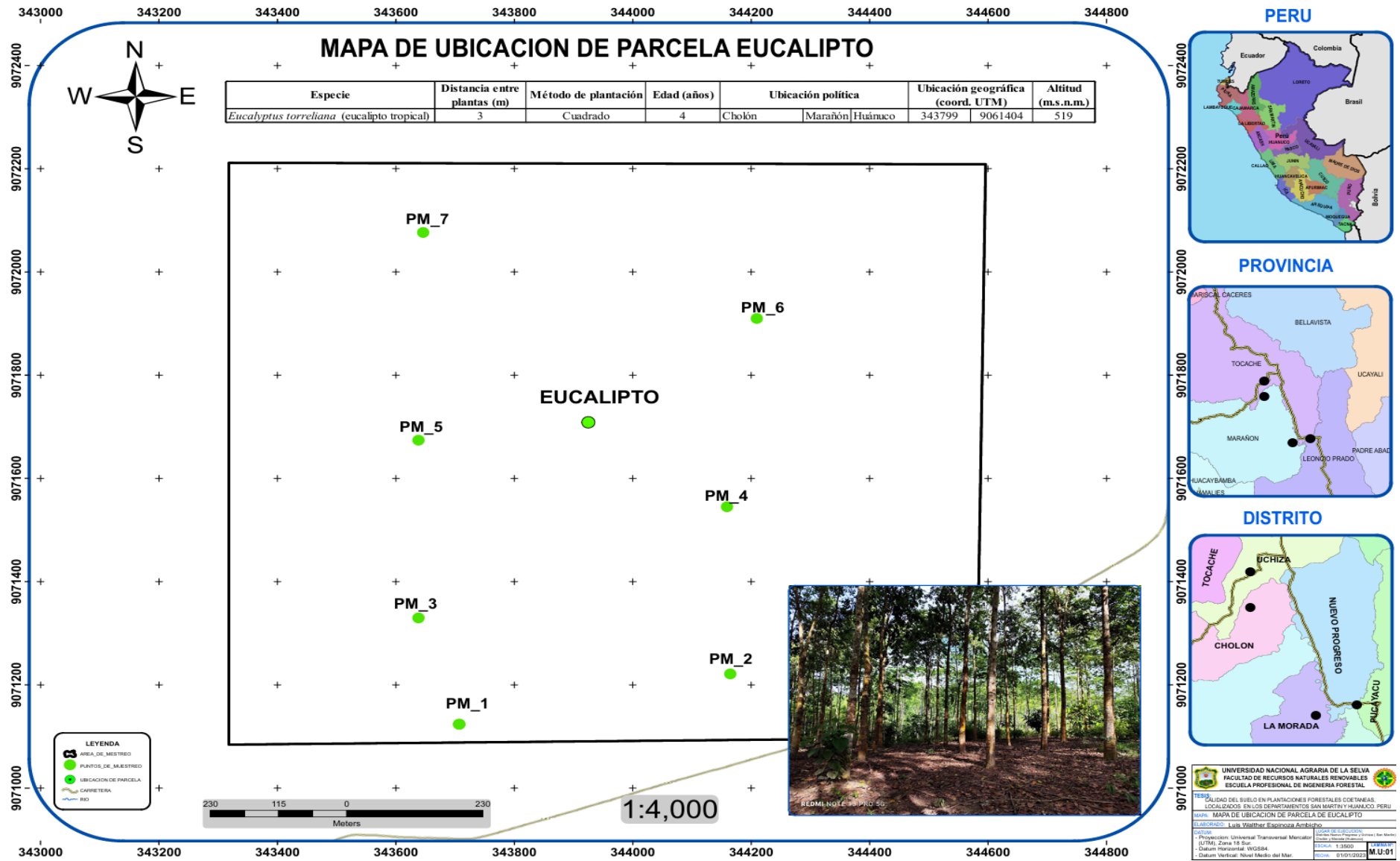


Figura 35. Parcela 2 de *E. torrelliana* en el distrito de Cholón.



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: ESPINOZA AMBICHO LUIS WALTHER					SECTOR: RAMAL DE AZPUSANA					ESPECIE FORESTAL: Eucalyptus torrelliana (eucalipto)					PROPIETARIO: CLEMENTINA AGUIRRE COPAHUAYNO											
N°	DATOS				Dap g/cc	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	CE	M.O.	N	P		K	CIC	CAMBIABLES					CICe	%	%	%	
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA				Arena	Arcilla	Limo					Textura	2:1			dS/cm	%	%	ppm	ppm					Ca
1	S1693-26	PF2	PARCELA 1 PM1	0 - 10	1.10	53	22	25	Franco Arcillo Arenoso	4.87	0.118	1.54	0.08	7.93	99.98	----	6.06	0.57	0.245	0.108	1.54	0.24	8.76	80	20	18
2	S1693-27	PF2	PARCELA 1 PM1	10 - 40.	1.09	47	30	23	Franco Arcillo Arenoso	4.80	0.025	0.58	0.03	3.03	84.96	----	5.04	0.44	0.211	0.052	1.59	0.26	7.59	76	24	21
3	S1693-28	PF2	PARCELA 1 PM2	0 - 10	1.09	51	22	27	Franco	4.90	0.141	2.25	0.11	7.37	100.02	----	3.57	0.43	0.263	0.155	1.38	0.17	5.97	74	26	23
4	S1693-29	PF2	PARCELA 1 PM2	10 - 40.	1.08	53	32	15	Franco Arcillo Arenoso	4.20	0.031	1.09	0.05	3.68	84.96	----	3.19	0.34	0.215	0.096	1.42	0.12	5.38	71	29	26
5	S1693-30	PF2	PARCELA 1 PM3	0 - 10	1.14	51	18	31	Franco	4.40	0.064	2.83	0.14	7.05	69.98	----	3.60	0.44	0.178	0.107	1.86	0.63	6.81	63	37	27
6	S1693-31	PF2	PARCELA 1 PM3	10 - 40.	1.09	49	32	19	Franco Arcillo Arenoso	4.50	0.027	1.48	0.07	4.81	54.98	----	3.46	0.36	0.142	0.085	1.99	0.75	6.79	60	40	29
7	S1693-32	PF2	PARCELA 1 PM4	0 - 10	1.00	55	26	19	Franco Arcillo Arenoso	4.40	0.068	1.99	0.10	5.44	49.98	----	3.70	0.42	0.127	0.078	2.45	0.74	7.51	58	42	33
8	S1693-33	PF2	PARCELA 1 PM4	10 - 40.	0.95	51	32	17	Franco Arcillo Arenoso	4.60	0.018	1.03	0.05	4.00	39.98	----	3.26	0.37	0.103	0.052	2.68	0.63	7.09	53	47	38
9	S1693-34	PF2	PARCELA 1 PM5	0 - 10	1.20	39	24	37	Franco	4.20	0.017	2.64	0.13	8.57	114.95	----	3.38	0.41	0.288	0.176	2.49	0.55	7.29	58	42	34
10	S1693-35	PF2	PARCELA 1 PM5	10 - 40.	1.09	39	30	31	Franco Arcillo	4.70	0.020	0.90	0.04	4.96	79.96	----	2.57	0.35	0.209	0.099	2.53	0.61	6.36	51	49	40
11	S1693-36	PF2	PARCELA 1 PM6	0 - 10	1.11	43	30	27	Franco Arcillo	4.20	0.166	2.25	0.11	4.80	99.96	----	3.29	0.50	0.259	0.145	2.67	0.47	7.32	57	43	36
12	S1693-37	PF2	PARCELA 1 PM6	10 - 40.	1.08	43	34	23	Franco Arcillo	3.70	0.019	1.29	0.06	4.48	79.96	----	2.26	0.37	0.222	0.096	2.55	0.51	6.00	49	51	42
13	S1693-38	PF2	PARCELA 1 PM7	0 - 10	1.15	61	22	17	Franco Arcillo Arenoso	4.30	0.077	1.54	0.08	5.52	69.97	----	4.11	0.50	0.165	0.101	1.96	0.66	7.50	65	35	26
14	S1693-39	PF2	PARCELA 1 PM7	10 - 40.	1.13	45	34	21	Franco Arcillo	4.40	0.033	0.58	0.03	4.72	58.66	----	3.31	0.31	0.142	0.084	2.15	0.74	6.74	57	43	32

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

RECIBO 001 N° 0662714

TINGO MARIA, 04 DE NOVIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
[Firma]
DR. HUGO ALBERTO SUAMASH YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 36. Resultados de análisis de suelos de la Parcela 1 de *E. torrelliana* en el distrito de Nuevo Progreso.



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: ESPINOZA AMBICHO LUIS WALTHER				SECTOR: CHOLON				ESPECIE FORESTAL: Eucalyptus torrelliana (eucalipto)				PROPIETARIO: CRISTIAN TARAZONA CORZO													
N°	DATOS		Dap	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	CE	M.O.	N	P		K	CIC	CAMBIABLES						CICe	%	%	%	
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA		Arena	Arcilla	Limo					ppm	ppm			Ca	Mg	K	Na	Al	H					Bas. Camb.
15	S1693-41	PF2 PARCELA 2 PM1	0 - 10	1.05	49	26	25	Franco Arcillo Arenoso	5.10	0.195	3.04	0.15	9.13	114.23	----	7.29	1.08	0.236	0.131	0.45	0.20	9.38	93	7	5
16	S1693-42	PF2 PARCELA 2 PM1	10 - 40.	0.99	41	32	27	Franco Arcilloso	4.80	0.017	1.68	0.08	5.76	64.98	----	5.38	0.71	0.161	0.096	0.51	0.23	7.09	90	10	7
17	S1693-43	PF2 PARCELA 2 PM2	0 - 10	1.24	49	22	29	Franco Arcilloso	5.10	0.095	2.97	0.15	8.97	129.72	----	6.37	1.11	0.224	0.137	0.58	0.15	8.57	91	9	7
18	S1693-44	PF2 PARCELA 2 PM2	10 - 40.	1.09	49	28	23	Franco Arcillo Arenoso	4.90	0.023	1.69	0.08	5.36	69.99	----	5.55	0.94	0.075	0.055	0.60	0.17	7.39	90	10	8
19	S1693-45	PF2 PARCELA 2 PM3	0 - 10	1.16	49	30	21	Franco Arcillo Arenoso	4.80	0.075	2.42	0.12	5.16	109.86	----	5.84	0.96	0.176	0.108	0.98	0.32	8.38	84	16	12
20	S1693-46	PF2 PARCELA 2 PM3	10 - 40.	1.11	49	30	21	Franco Arcillo Arenoso	4.60	0.031	1.96	0.10	3.36	74.89	----	4.87	0.48	0.102	0.065	1.12	0.31	6.95	79	21	16
21	S1693-47	PF2 PARCELA 2 PM4	0 - 10	1.14	61	20	19	Franco Arcilloso	4.70	0.072	2.91	0.15	7.66	129.64	----	5.55	1.08	0.224	0.146	1.35	0.42	8.76	80	20	15
22	S1693-48	PF2 PARCELA 2 PM4	10 - 40.	1.06	41	32	27	Franco Arcilloso	4.80	0.029	1.47	0.07	3.52	89.36	----	3.62	0.69	0.123	0.084	1.43	0.44	6.38	71	29	22
23	S1693-49	PF2 PARCELA 2 PM5	0 - 10	1.19	51	24	25	Franco Arcillo Arenoso	5.00	0.106	2.63	0.13	6.32	99.75	----	2.65	1.00	0.241	0.147	0.84	0.15	5.02	80	20	17
24	S1693-50	PF2 PARCELA 2 PM5	10 - 40.	1.10	41	38	21	Franco Arcilloso	4.80	0.024	1.14	0.06	4.72	59.97	----	2.02	0.58	0.136	0.085	0.87	0.16	3.85	73	27	23
25	S1693-51	PF2 PARCELA 2 PM6	0 - 10	1.18	49	26	25	Franco Arcilloso	4.90	0.082	2.77	0.14	6.64	100.25	----	3.59	0.93	0.265	0.169	0.67	0.13	5.75	86	14	12
26	S1693-52	PF2 PARCELA 2 PM6	10 - 40.	1.11	41	36	23	Franco Arcilloso	4.70	0.042	1.35	0.07	4.00	84.96	----	3.47	0.79	0.215	0.102	0.98	0.15	5.71	80	20	17
27	S1693-53	PF2 PARCELA 2 PM7	0 - 10	1.13	45	28	27	Franco Arcilloso	4.90	0.031	2.38	0.12	5.96	97.86	----	4.95	0.86	0.249	0.179	1.02	0.34	7.60	82	18	13
28	S1693-54	PF2 PARCELA 2 PM7	10 - 40.	1.02	39	28	33	Franco Arcilloso	4.80	0.018	1.49	0.07	3.44	49.98	----	4.79	0.57	0.128	0.084	1.10	0.35	7.01	79	21	16
29	S1693-55	TESTIGO		0.96	51	36	13	Arcillo Arenoso	4.90	0.054	1.28	0.06	3.68	54.98	----	3.45	0.33	0.137	0.083	1.24	0.32	5.56	72	28	22

MUESTREO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001 N° 0662714
TINGO MARIA, 04 DE NOVIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
Dr. HUGO SANDRO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 37. Resultados de análisis de suelos de la Parcela 2 de *E. torrelliana* en el distrito de Cholón.

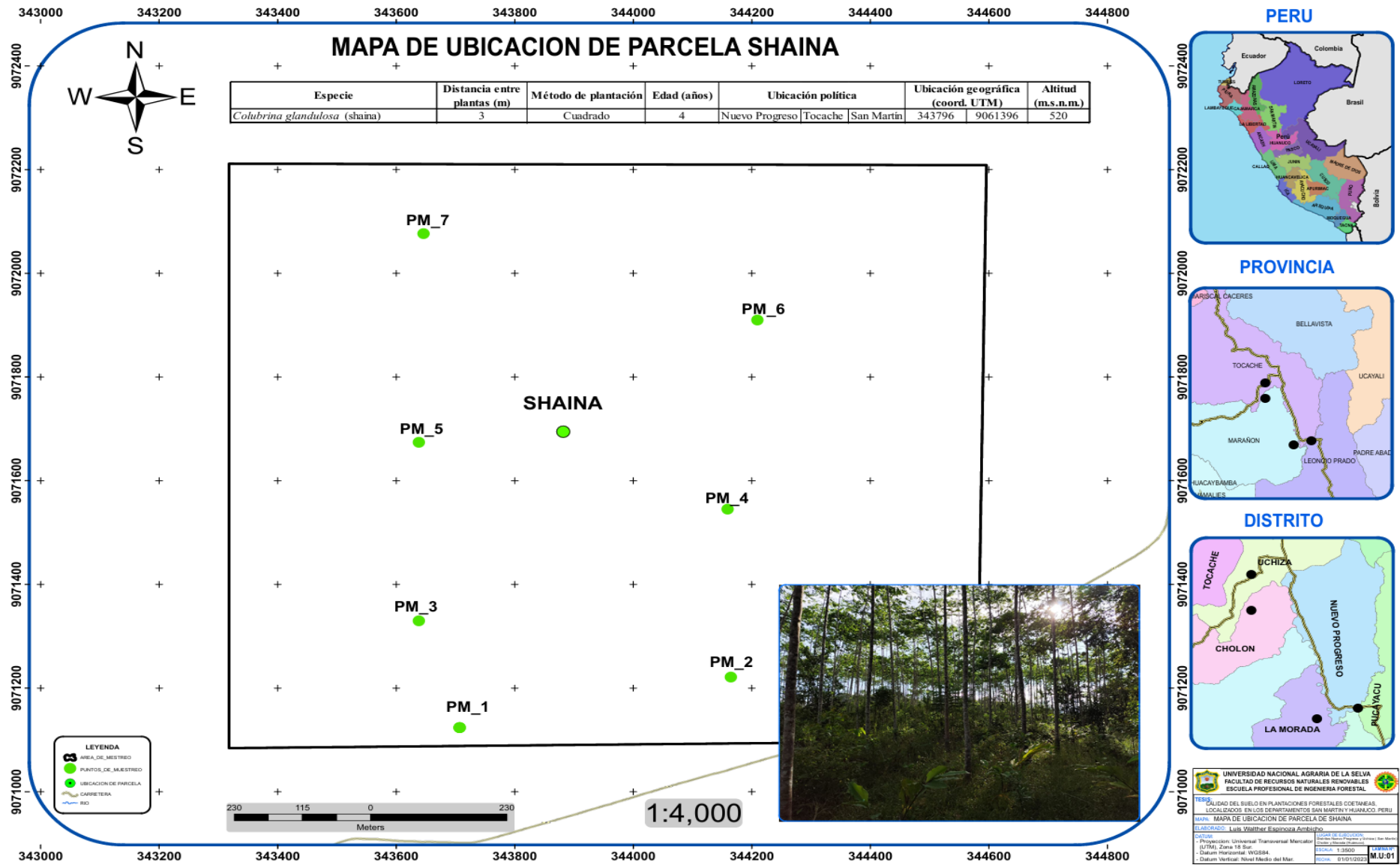


Figura 38. Parcela 1 de *C. glandulosa* en el distrito de Nuevo Progreso.

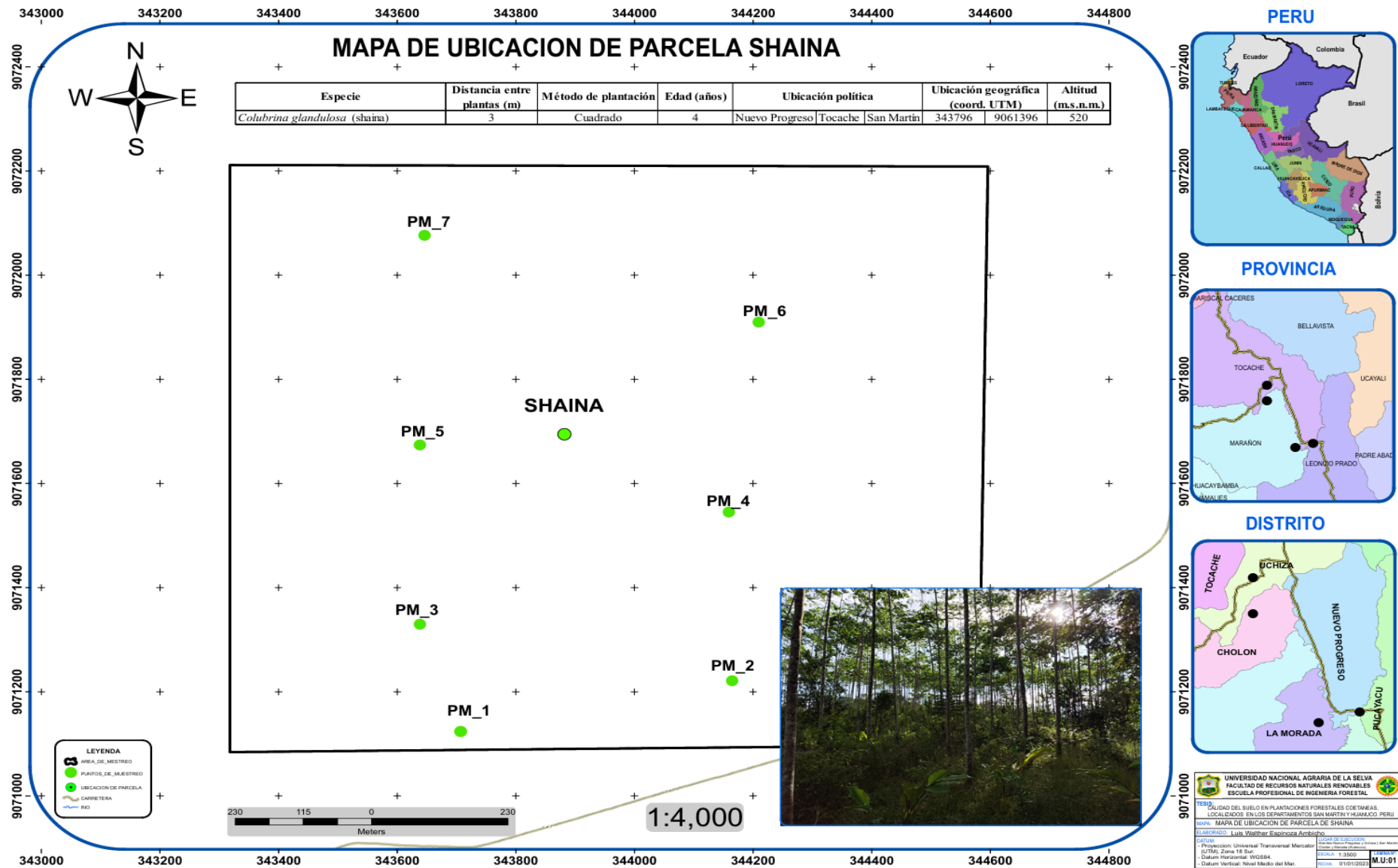


Figura 39. Parcela 2 de *C. glandulosa* en el distrito de Nuevo Progreso.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		ESPINOZA AMBICHO LUIS WALTHER			SECTOR	Ramal de Azpusana	ESPECIE FORESTAL:	Colubrina glandulosa (shaina)	PROPIETARIO	Clementina Aguirre Capahuayno																						
N°	DATOS				Dap	ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb.	% Sat. Al						
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	g/cc	%		Arena	Arcilla	Limo	Textura								2:1	dS/m	%	%	disponible						Ca	Mg	K	Na	Al	H
						%	%	%									ppm	ppm														
1	S1659-1	PF3	PARCELA 1 PM1	0 - 10	1.12	47	28	25	Franco Arcillo Arenoso	3.70	0.020	1.06	0.05	2.89	41.88	----	2.60	0.40	0.099	0.054	0.67	0.40	4.22	75	25	16						
2	S1659-2	PF3	PARCELA 1 PM1	10 - 40.	1.10	55	30	15	Franco Arcillo Arenoso	4.64	0.021	0.73	0.04	1.73	31.49	----	2.50	0.37	0.072	0.044	0.42	0.30	3.70	81	19	11						
3	S1659-3	PF3	PARCELA 1 PM2	0 - 10	1.17	65	22	13	Franco Arcillo Arenoso	4.72	0.026	0.80	0.04	4.74	35.28	----	2.15	0.34	0.085	0.052	0.44	0.22	3.29	80	20	13						
4	S1659-4	PF3	PARCELA 1 PM2	10 - 40.	1.14	59	28	13	Franco Arcillo Arenoso	4.75	0.014	1.60	0.08	2.89	24.25	----	2.00	0.29	0.067	0.041	0.42	0.14	2.96	81	19	14						
5	S1659-5	PF3	PARCELA 1 PM3	0 - 10	1.15	69	22	9	Franco Arcillo Arenoso	4.69	0.032	2.06	0.10	4.28	62.87	----	3.35	0.69	0.145	0.085	0.50	0.09	4.86	88	12	10						
6	S1659-6	PF3	PARCELA 1 PM3	10 - 40.	1.11	49	26	25	Franco Arcillo Arenoso	4.84	0.015	0.20	0.01	1.50	37.48	----	1.50	0.29	0.090	0.054	0.40	0.03	2.36	82	18	17						
7	S1659-7	PF3	PARCELA 1 PM4	0 - 10	1.13	69	22	9	Franco Arcillo Arenoso	4.70	0.019	1.53	0.08	3.28	30.09	----	3.40	0.29	0.075	0.040	0.43	0.03	4.26	89	11	10						
8	S1659-8	PF3	PARCELA 1 PM4	10 - 40.	1.10	73	24	3	Franco Arcillo Arenoso	4.70	0.014	0.67	0.03	2.20	24.24	----	2.85	0.26	0.054	0.032	0.45	0.14	3.79	84	16	12						
9	S1659-9	PF3	PARCELA 1 PM5	0 - 10	1.11	67	22	11	Franco Arcillo Arenoso	4.77	0.026	3.39	0.17	3.97	46.58	----	2.95	0.43	0.099	0.051	0.52	0.26	4.32	82	18	12						
10	S1659-10	PF3	PARCELA 1 PM5	10 - 40.	1.06	51	32	17	Franco Arcillo Arenoso	4.74	0.013	1.13	0.06	2.97	22.41	----	2.00	0.30	0.057	0.036	0.41	0.08	2.88	83	17	14						
11	S1659-11	PF3	PARCELA 1 PM6	0 - 10	1.16	67	22	11	Franco Arcillo Arenoso	4.65	0.021	1.80	0.09	6.21	41.88	----	2.60	0.35	0.092	0.054	0.37	0.19	3.65	85	15	10						
12	S1659-12	PF3	PARCELA 1 PM6	10 - 40.	1.12	63	26	11	Franco Arcillo Arenoso	4.77	0.020	0.73	0.04	5.13	24.19	----	1.75	0.27	0.047	0.028	0.43	0.19	2.72	77	23	16						
13	S1659-13	PF3	PARCELA 1 PM7	0 - 10	1.14	61	26	13	Franco Arcillo Arenoso	4.77	0.023	5.92	0.30	4.59	94.16	----	2.90	0.57	0.122	0.069	0.45	0.16	4.27	86	14	11						
14	S1659-14	PF3	PARCELA 1 PM7	10 - 40.	1.10	57	30	13	Franco Arcillo Arenoso	4.72	0.026	1.00	0.05	1.43	23.99	----	1.76	0.33	0.066	0.037	0.48	0.15	2.82	78	22	17						
15	S1659-15	PF3	PARCELA 2 PM1	0 - 10	1.16	63	22	15	Franco Arcillo Arenoso	4.88	0.054	2.26	0.11	10.07	106.95	--	2.95	0.71	0.242	0.085	0.39	0.18	4.56	87	13	9						

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-0658395
 TINGO MARIA, 03 DE OCTUBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo Maria

Dr. HUSE ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
 Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 40. Resultados de análisis de suelos de la Parcela 1 de *C. glandulosa* en el distrito de Nuevo Progreso.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		ESPINOZA AMBICHO LUIS WALTHER			SECTOR	Ramal de Azpusana	ESPECIE FORESTAL:	Colubrina glandulosa (shaina)	PROPIETARIO	Clementina Aguirre Capahuayno																
N°	DATOS			Dap	ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg										
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA			Arena	Arcilla	Limo	Textura								2:1	dS/m	%	%	disponible	Ca	Mg	K	Na	Al	H
			g/cc	%	%	%							ppm	ppm												
15	S1659-15	PF3	PARCELA 2 PM1	0 - 10	1.16	63	22	15	Franco Arcillo Arenoso	4.88	0.054	2.26	0.11	10.07	106.95	--	2.95	0.71	0.242	0.085	0.39	0.18	4.56	87	13	9
16	S1659-16	PF3	PARCELA 2 PM1	10 - 40	1.08	55	30	15	Franco Arcillo Arenoso	4.74	0.028	1.00	0.05	3.89	30.99	--	2.15	0.35	0.078	0.049	0.37	0.17	3.17	83	17	12
17	S1659-17	PF3	PARCELA 2 PM2	0 - 10	1.13	59	22	19	Franco Arcillo Arenoso	4.59	0.021	2.53	0.13	8.06	42.78	--	2.05	0.33	0.105	0.075	0.52	0.23	3.31	77	23	16
18	S1659-18	PF3	PARCELA 21 PM2	10 - 40	1.11	57	30	13	Franco Arcillo Arenoso	4.59	0.027	2.06	0.10	2.74	24.69	--	1.65	0.28	0.068	0.052	0.53	0.19	2.77	74	26	19
19	S1659-19	PF3	PARCELA 2 PM3	0 - 10	1.14	59	26	15	Franco Arcillo Arenoso	4.72	0.026	1.26	0.06	3.28	101.16	--	2.00	0.32	0.189	0.120	0.46	0.16	3.24	81	19	14
20	S1659-20	PF3	PARCELA 2 PM3	10 - 40	1.07	57	30	13	Franco Arcillo Arenoso	4.76	0.021	0.47	0.02	2.58	49.88	--	1.55	0.26	0.115	0.101	0.49	0.15	2.66	76	24	18
21	S1659-21	PF3	PARCELA 2 PM4	0 - 10	1.16	59	24	17	Franco Arcillo Arenoso	4.94	0.025	2.26	0.11	7.83	86.96	--	1.95	0.31	0.168	0.085	0.37	0.18	3.06	82	18	12
22	S1659-22	PF3	PARCELA 2 PM4	10 - 40	1.12	55	30	15	Franco Arcillo Arenoso	4.82	0.019	1.00	0.05	1.35	28.89	--	1.75	0.22	0.075	0.047	0.42	0.17	2.68	78	22	16
23	S1659-23	PF3	PARCELA 2 PM5	0 - 10	1.16	63	22	15	Franco Arcillo Arenoso	4.72	0.021	2.26	0.113	8.29	41.78	--	2.65	0.51	0.099	0.058	0.34	0.17	3.83	87	13	9
24	S1659-24	PF3	PARCELA 2 PM5	10 - 40	1.13	55	28	17	Franco Arcillo Arenoso	4.97	0.013	1.20	0.060	3.12	23.99	--	1.90	0.28	0.056	0.039	0.32	0.15	2.74	83	17	12
25	S1659-25	PF3	PARCELA 2 PM6	0 - 10	1.15	63	22	15	Franco Arcillo Arenoso	4.68	0.014	1.06	0.053	10.07	42.78	--	2.20	0.30	0.105	0.069	0.57	0.06	3.31	81	19	17
26	S1659-26	PF3	PARCELA 2 PM6	10 - 40	1.09	57	24	19	Franco Arcillo Arenoso	4.71	0.023	0.93	0.047	1.50	24.59	--	1.45	0.21	0.059	0.037	0.40	0.16	2.31	76	24	17
27	S1659-27	PF3	PARCELA 2 PM7	0 - 10	1.16	65	22	13	Franco Arcillo Arenoso	4.85	0.020	1.26	0.06	4.67	60.47	--	1.80	0.31	0.132	0.085	0.42	0.04	2.80	83	17	15
28	S1659-28	PF3	PARCELA 2 PM7	10 - 40	1.14	63	22	15	Franco Arcillo Arenoso	4.78	0.028	0.60	0.03	3.43	25.69	--	1.55	0.25	0.065	0.042	0.52	0.11	2.54	75	25	21
29	S1659-29	PF3	TESTIGO		1.10	55	28	17	Franco Arcillo Arenoso	4.76	0.027	1.20	0.06	1.73	23.49	--	1.30	0.21	0.054	0.046	0.47	0.08	2.16	74	26	22

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-0658395

TINGO MARIA, 03 DE OCTUBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo Maria

Dr. HUGO FREDO HUMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 41. Resultados de análisis de suelos de la Parcela 2 de *C. glandulosa* en el distrito de Nuevo Progreso.

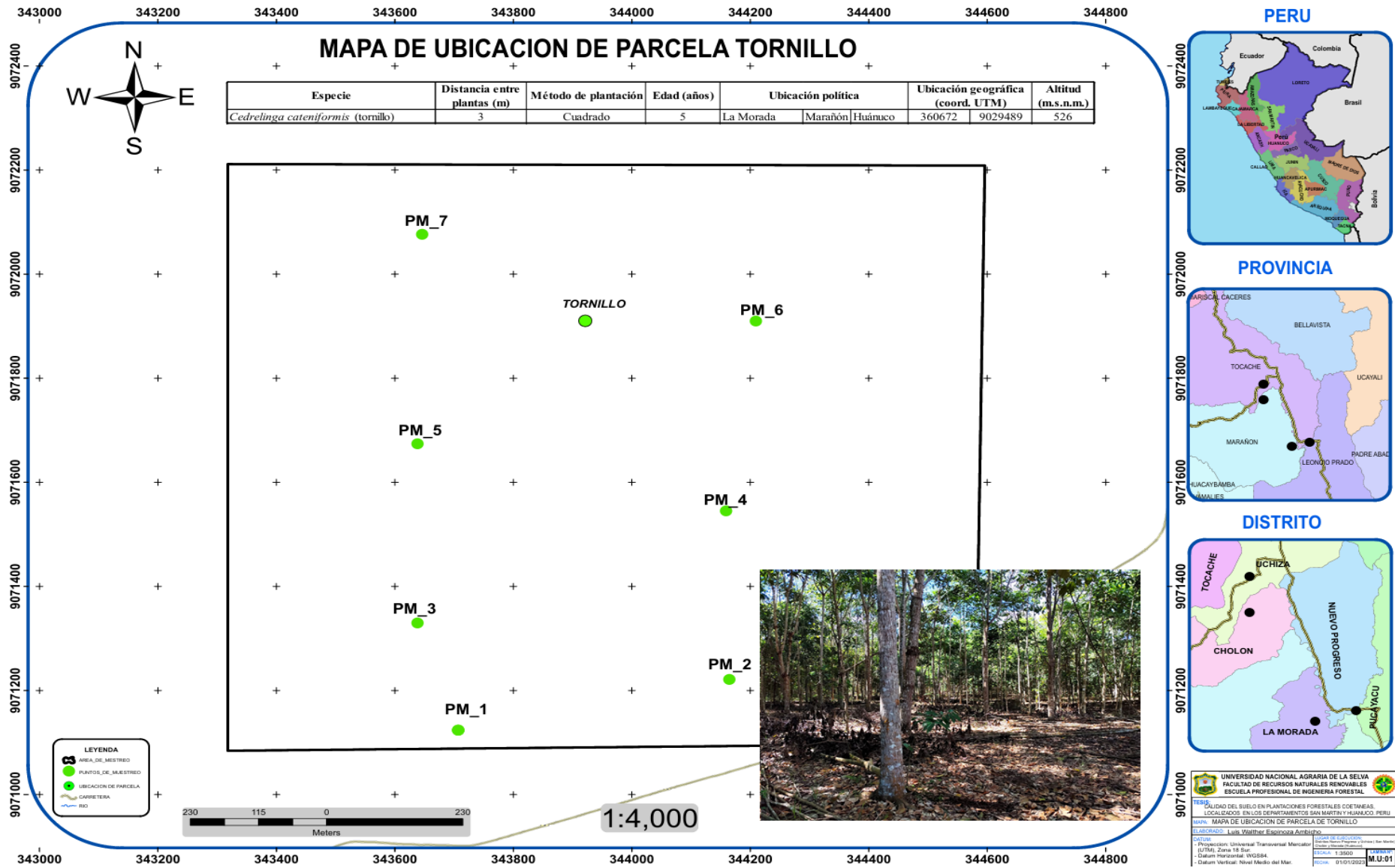


Figura 42. Parcela 1 de *C. cateniformis* en el distrito de La Morada.

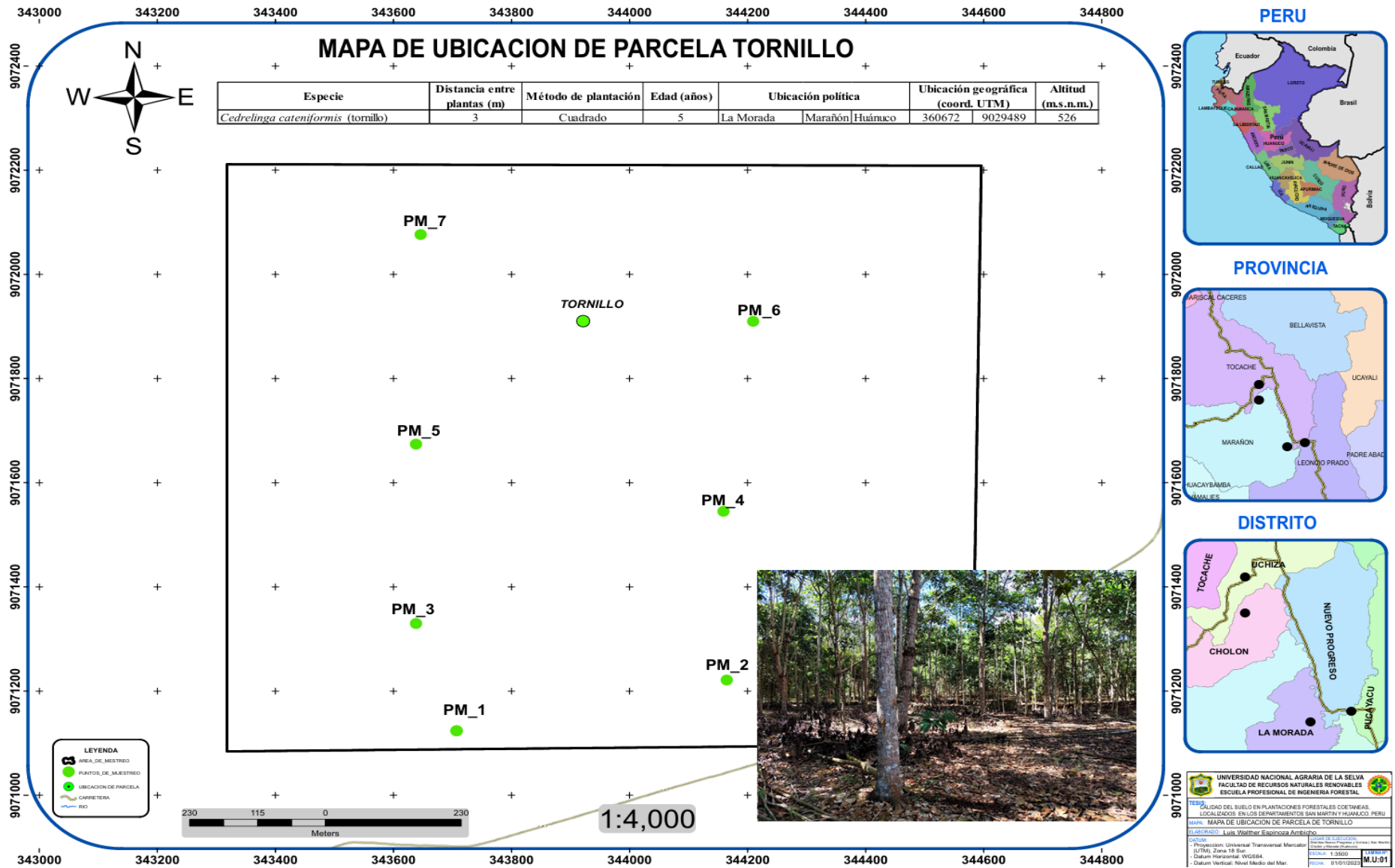


Figura 43. Parcela 2 de *C. cateniformis* en el distrito de La Morada.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		ESPINOZA AMBICHO LUIS WALTHER				SECTOR	LA MORADA	ESPECIE FORESTAL:				Cedrelinga cateniformis (tomillo)	PROPIETARIO				Gerardo Zarate Cerna																
N°	DATOS				Dap	ANÁLISIS MECANICO				pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg				CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb.	% Sat. Al									
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA				g/cc	Arena	Arcilla	Limo								Textura	2:1	ds/m	%					%	disponible ppm	ppm	Ca	Mg	K	Na	Al	H
		PM1	0 - 10	1.24			47	22	31								Franco																
2	S1642-2	PF4	PARCELA 1 PM1	10 - 40.	1.23	35	26	39	Franco	5.07	0.052	3.54	0.18	1.27	44.83	---	2.53	0.40	0.125	0.065	0.22	0.14	3.47	90	10	6							
3	S1642-3	PF4	PARCELA 1 PM2	0 - 10	1.18	47	28	25	Franco Arcillo Arenoso	4.60	0.076	2.83	0.14	1.73	61.02	---	3.17	0.47	0.164	0.087	0.17	0.19	4.25	91	9	4							
4	S1642-4	PF4	PARCELA 1 PM2	10 - 40.	1.16	51	26	23	Franco Arcillo Arenoso	4.74	0.038	2.57	0.13	1.58	59.62	---	2.47	0.42	0.157	0.081	0.23	0.02	3.38	93	7	7							
5	S1642-5	PF4	PARCELA 1 PM3	0 - 10	1.23	35	20	45	Franco	4.61	0.061	2.83	0.14	6.06	59.92	---	3.08	0.42	0.124	0.066	0.21	0.05	3.95	93	7	5							
6	S1642-6	PF4	PARCELA 1 PM3	10 - 40.	1.21	53	36	11	Arcillo Arenoso	4.83	0.026	0.96	0.05	5.28	26.14	---	2.51	0.37	0.074	0.040	0.17	0.10	3.25	92	8	5							
7	S1642-7	PF4	PARCELA 1 PM4	0 - 10	1.19	33	18	49	Franco	4.76	0.083	4.18	0.21	2.12	51.88	---	3.08	0.40	0.143	0.077	0.30	0.04	4.03	92	8	7							
8	S1642-8	PF4	PARCELA 1 PM4	10 - 40.	1.17	47	24	29	Franco	4.88	0.028	2.25	0.11	1.50	28.79	---	2.52	0.39	0.081	0.044	0.31	0.03	3.37	90	10	9							
9	S1642-9	PF4	PARCELA 1 PM5	0 - 10	1.19	51	22	27	Franco	4.35	0.052	2.12	0.11	2.04	70.97	---	3.17	0.43	0.205	0.106	0.15	0.12	4.18	94	6	4							
10	S1642-10	PF4	PARCELA 1 PM5	10 - 40.	1.16	33	26	41	Franco	4.65	0.021	1.41	0.07	0.65	27.59	---	2.56	0.39	0.078	0.042	0.17	0.10	3.34	92	8	5							
11	S1642-11	PF4	PARCELA 1 PM6	0 - 10	1.15	43	28	29	Franco Arcillo	4.47	0.051	1.29	0.06	2.43	65.52	---	3.27	0.50	0.187	0.099	0.20	0.06	4.31	94	6	5							
12	S1642-12	PF4	PARCELA 1 PM6	10 - 40.	1.14	33	38	29	Franco Arcillo	5.05	0.032	2.25	0.11	1.58	35.08	---	2.52	0.39	0.101	0.055	0.13	0.14	3.35	92	8	4							
13	S1642-13	PF4	PARCELA 1 PM7	0 - 10	1.26	51	20	29	Franco	4.27	0.057	4.31	0.22	1.73	58.77	---	3.24	0.42	0.169	0.090	0.22	0.03	4.17	94	6	5							
14	S1642-14	PF4	PARCELA 1 PM7	10 - 40.	1.21	37	38	25	Franco Arcillo	4.70	0.021	3.41	0.17	1.27	17.14	---	2.43	0.32	0.050	0.028	0.21	0.05	3.09	92	8	7							
15	S1642-15	PF4	PARCELA 2 PM1	0 - 10	1.24	51	16	33	Franco	4.56	0.049	3.09	0.15	2.12	78.27	---	3.11	0.43	0.221	0.025	0.17	0.10	4.05	93	7	4							

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO N° 001-0658395
TINGO MARIA, 25 DE SETIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo Maria

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPAÑQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 44. Resultados de análisis de suelos de la Parcela 1 de *C. cateniformis* en el distrito de La Morada.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		ESPIÑOZA AMBICHO LUIS WALTHER			SECTOR	LA MORADA	ESPECIE FORESTAL:				Cedrelinga cateniformis (tornillo)		PROPIETARIO			Gerardo Zarate Cerna									
N°	DATOS		Dap	ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES						CICe	%	%	%	
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA		g/cc	Arena %	Arcilla %	Limo %								Textura	2:1	dS/m	%	%	disponible ppm					ppm
16	S1642-16	PF4 PARCELA 2 PM1	10 - 40.	1.22	31	26	43	Franco	4.94	0.017	2.70	0.13	1.66	13.59	----	2.47	0.37	0.042	0.027	0.24	0.01	3.16	92	8	8
17	S1642-17	PF4 PARCELA 2 PM2	0 - 10	1.17	45	28	27	Franco Arcilloso	4.52	0.053	4.05	0.20	8.37	57.47	----	3.02	0.41	0.152	0.084	0.12	0.15	3.94	93	7	3
18	S1642-18	PF4 PARCELA 2 PM2	10 - 40.	1.15	35	36	29	Franco Arcilloso	4.90	0.025	3.21	0.16	1.50	19.14	----	2.44	0.35	0.065	0.034	0.17	0.10	3.16	92	8	5
19	S1642-19	PF4 PARCELA 2 PM3	0 - 10	1.21	47	24	29	Franco	4.37	0.046	2.89	0.14	2.58	71.42	----	3.08	0.41	0.185	0.098	0.17	0.10	4.04	93	7	4
20	S1642-20	PF4 PARCELA 2 PM3	10 - 40.	1.20	37	28	35	Franco Arcilloso	4.52	0.022	3.02	0.15	1.35	26.59	----	2.48	0.35	0.074	0.040	0.17	0.10	3.21	92	8	5
21	S1642-21	PF4 PARCELA 2 PM4	0 - 10	1.12	39	30	31	Franco Arcilloso	4.51	0.070	4.24	0.21	2.58	57.27	----	3.37	0.51	0.162	0.086	0.12	0.15	4.39	94	6	3
22	S1642-22	PF4 PARCELA 2 PM4	10 - 40.	1.11	33	40	27	Franco Arcilloso	4.42	0.057	2.96	0.15	1.27	45.58	----	2.55	0.39	0.138	0.075	0.15	0.12	3.42	92	8	4
23	S1642-23	PF4 PARCELA 2 PM5	0 - 10	1.14	67	26	7	Franco Arcillo Arenoso	4.41	0.064	3.60	0.18	2.51	64.22	----	3.41	0.37	0.185	0.099	0.22	0.13	4.42	92	8	5
24	S1642-24	PF4 PARCELA 2 PM5	10 - 40.	1.12	37	36	27	Franco Arcilloso	4.66	0.022	2.51	0.13	1.36	21.59	----	2.48	0.36	0.066	0.033	0.12	0.16	3.21	91	9	4
25	S1642-25	PF4 PARCELA 2 PM6	0 - 10	1.16	41	28	31	Franco Arcilloso	4.20	0.051	3.47	0.17	2.58	55.53	----	3.07	0.40	0.157	0.074	0.13	0.14	3.98	93	7	3
26	S1642-26	PF4 PARCELA 2 PM6	10 - 40.	1.14	35	36	29	Franco Arcilloso	4.46	0.034	3.15	0.16	1.89	22.89	----	2.48	0.35	0.066	0.036	0.24	0.01	3.19	92	8	8
27	S1642-27	PF4 PARCELA 2 PM7	0 - 10	1.19	49	18	33	Franco	4.60	0.119	4.50	0.22	2.89	111.70	----	3.45	0.57	0.325	0.124	0.17	0.10	4.74	94	6	4
28	S1642-28	PF4 PARCELA 2 PM7	10 - 40.	1.17	41	34	25	Franco Arcilloso	4.92	0.069	3.86	0.19	1.66	79.67	----	2.64	0.55	0.214	0.103	0.15	0.12	3.77	93	7	4
29	S1642-29	TESTIGO		1.11	35	30	35	Franco Arcilloso	4.53	0.079	3.09	0.15	1.19	16.29	----	2.41	0.34	0.047	0.026	0.19	0.07	3.08	92	8	6

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-0658395
 TINGO MARIA, 25 DE SETIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María
 Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
 Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 45. Resultados de análisis de suelos de la Parcela 2 de *C. cateniformis* en el distrito de La Morada.