

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL  
SUELO EN EL CENTRO DE ENSEÑANZAS E INVESTIGACIONES  
AGROPECUARIAS DE PANAMÁ ESTE (CEIAPE), CAÑITA, REPÚBLICA DE  
PANAMÁ**

**PRESENTADO POR:**

**KEREN YADIRA QUINTERO HERNÁNDEZ**

**8-991-2203**

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2025**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL  
SUELO EN EL CENTRO DE ENSEÑANZAS E INVESTIGACIONES  
AGROPECUARIAS DE PANAMÁ ESTE (CEIAPE), CAÑITA, REPÚBLICA DE  
PANAMÁ**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL  
DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**MGTR. LEANNE URRIOLA**



**DIRECTOR**

**MGTR. DIMAS ARCIA**



**ASESOR**

**MGTR. EDGAR CHACÓN**



**ASESOR**

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2025**

## Dedicatoria

*A Dios y a mis abuelos, Mamá Mini y Papá Manuel,  
a quienes amo con todo mi corazón.*

## Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, por acompañarme, guiarme y otorgarme la fortaleza, salud y conocimiento necesario en cada momento de mi vida, en especial en esta etapa.

A mi familia, mis queridos abuelos, padres y tíos por el amor, sacrificio, apoyo y motivación que me han brindado.

A mi asesora, la Mgtr. Leanne Urriola, por acompañarme en este reto y brindarme su guía, dedicación y conocimiento. Gracias por tener siempre presente su vocación e inspirarme a través de ella.

A la Fundación Benéfica Louis y Marthe Deveaux, por otorgarme la oportunidad de una beca para cumplir con mis estudios y finalizarlos con éxito.

A mis amistades, por su amor, compañía y apoyo incondicional, por iluminar mi vida y creer en mí. A cada uno de ustedes, gracias. En especial a Saúl y Danna, así como a Dilam, Jonathan y Franklin, por ser mi fuerza cuando más la necesité.

Por último, quiero agradecer a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a alcanzar esta meta y a mi crecimiento personal, académico y profesional.

## Resumen

Debido a la importancia interdisciplinaria de las ciencias del suelo, su estudio atraviesa un auge crucial que requiere de un conocimiento integrado de manera global, en virtud de la actual necesidad de la sociedad humana por alcanzar y asegurar el desarrollo sostenible en el uso de este recurso, como elemento esencial, gracias a sus funciones ambientales y servicios ecosistémicos indispensables para la humanidad (Gallegos et al., 2023). El suelo y la variabilidad de sus características son inherentes al mismo, a causa de que en su formación intervienen varios procesos que, a su vez, están controlados por los factores de formación, dando lugar a una significativa diversidad de suelos (Jaramillo, 2011).

El enfoque del presente proyecto de investigación es generar y proporcionar información sobre la edafología nacional de Panamá, en la región del Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Panamá Este (CEIAPE), Cañita de Chepo. La importancia ante los estudios de las propiedades físicas y químicas del suelo, es entender en qué medida y cómo influye el alcance de estos ante sus potenciales aplicaciones y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, teniendo presente el mantener las mejores condiciones del suelo posibles, mediante la adopción de medidas que contribuyan al sector agrícola, pecuario, forestal y ambiental del país.

Palabras claves: Análisis edáfico, fertilidad de suelos, perfiles del suelo, calicatas, propiedades físicas, propiedades químicas.

## Abstract

Due to the interdisciplinary importance of soil sciences, its study is experiencing a crucial boom that requires a globally integrated knowledge, in light of the current need of human society to achieve and ensure sustainable development in the use of this resource, as an essential element, thanks to its environmental functions and indispensable ecosystem services for humanity (Gallegos et al., 2023). The soil and the variability of its characteristics are inherent to it, because several processes are involved in its formation, which, in turn, are controlled by the factors of formation, leading to a significant diversity of soils. (Jaramillo, 2011)

The focus of this research project is to generate and provide information on the national soil science of Panama, in the region of the Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Panamá Este (CEIAPE), Cañita de Chepo. The significance of research on the physical and chemical properties of the soil is to understand to what extent and how the scope of these influence their potential applications and how human activity can modify them, bearing in mind to maintain the best possible soil conditions, through the adoption of measures that contribute to the agricultural, livestock, forestry and environmental sector of the country.

Keywords: Soil analysis, soil fertility, soil profiles, soil pits, physical properties, chemical properties.

## Índice General

HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos.....	iv
Resumen .....	v
Abstract .....	vi
1. Introducción .....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Antecedentes.....	5
1.4 Justificación.....	7
1.5 Objetivos .....	9
1.5.1 Objetivo General .....	9
1.5.2 Objetivos Específicos.....	9
1.6 Hipótesis.....	10
1.6.1 Hipótesis nula.....	10
1.6.2 Hipótesis alternativa.....	10
1.7 Alcances y limitaciones .....	11
1.7.1 Alcances.....	11
1.7.2 Limitaciones .....	11

2.	Revisión de literatura .....	12
2.1	Centro De Enseñanzas E Investigaciones Agropecuarias De Panamá Este (CEIAPE) .....	12
2.2	Suelo .....	13
2.2.1	Perfil del suelo .....	13
2.2.2	El suelo como sistema dinámico.....	14
2.3	Las propiedades físicas del suelo y su importancia.....	14
2.3.1	Color del suelo.....	15
2.3.2	Textura.....	15
2.3.3	Humedad .....	16
2.3.4	Permeabilidad.....	16
2.3.5	Densidad aparente .....	16
2.3.6	Densidad real.....	17
2.3.7	Porosidad.....	17
2.3.8	Consistencia .....	17
2.4	Las propiedades químicas del suelo y su importancia.....	18
2.4.1	pH.....	18
2.4.2	Materia Orgánica .....	19
2.4.3	Nutrientes del suelo .....	19
2.4.4	Conductividad eléctrica.....	20

3. Materiales y métodos .....	21
3.1 Localización general – Zona de estudio .....	21
3.1.1 Selección y división de las parcelas .....	21
3.2 Muestreos .....	22
3.2.1 Muestreos aleatorios .....	22
3.2.2 Muestreos de calicatas .....	23
3.3 Análisis de las muestras de suelo .....	24
3.3.1 Determinación de las propiedades físicas .....	25
3.3.1.1 Determinación del color del suelo - Sistema de Notación Munsell .....	25
3.3.1.2 Determinación de la textura del suelo - Método de Bouyoucos ...	26
3.3.1.3 Determinación de la humedad del suelo - Método Gravimétrico..	28
3.3.1.4 Determinación de la permeabilidad del suelo - Prueba de Infiltrometría con Pozo de Pruebas.....	28
3.3.1.5 Determinación de la densidad aparente del suelo - Método del Anillo Volumétrico .....	29
3.3.1.6 Determinación de la densidad real del suelo - Método del Matraz Aforado con Alcohol .....	30
3.3.1.7 Determinación de la porosidad real del suelo - Método de Densidad Aparente y Densidad Real .....	31

3.3.1.8	Determinación de la consistencia real del suelo - Metodología de Atterberg .....	31
3.3.2	Determinación de las propiedades químicas .....	33
3.3.2.1	Determinación del pH del suelo - Medición Potenciométrica .	34
3.3.2.2	Determinación de la acidez del suelo - Medición de la acidez intercambiable.....	34
3.3.2.3	Determinación de la materia orgánica del suelo - Método de Walkley & Black .....	35
3.3.2.4	Determinación de los nutrientes del suelo (Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Mn y Zn) - Método de Análisis Químico Convencional, Mehlich-1.....	36
3.3.2.5	Determinación del N del suelo - Metodología de Kjeldahl.....	37
3.3.2.6	Determinación del P del suelo - Método por determinación espectroscopia de absorción atómica/Espectroscopia UV-VIS.....	38
3.3.2.7	Determinación de la CE del suelo - Método de Conductividad Eléctrica en Agua Destilada .....	39
4.	Resultados y discusión .....	40
4. 1	Perfiles del suelo bajo estudio.....	40
Calicata No. 1 – Parcela No. 4.....		40
Calicata No. 2 – Parcela No. 4.....		54
Calicata No. 3 – Parcela No. 3A .....		65
Calicata No. 4 – Parcela No. 3B .....		76

4.2 Parcelas bajo estudio .....	88
5. Conclusiones .....	97
6. Recomendaciones .....	100
7. Bibliografía (Referencias Bibliográficas) .....	101
8. Anexos .....	108

## Índice de tablas

Tabla No. 1 - Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados, Calicata No. 1 – Parcela No. 4 .....	42
Tabla No. 2 - Propiedades físicas, Calicata No. 1 – Parcela No. 4 .....	46
Tabla No. 3 - Propiedades químicas, Calicata No. 1 – Parcela No. 4 .....	47
Tabla No. 4 - Rangos de pH, propiedades químicas .....	48
Tabla No. 5 - Rangos de acidez o pH potencial, propiedades químicas .....	49
Tabla No. 6 - Rangos de materia orgánica M.O, propiedades químicas.....	50
Tabla No. 7 - Rangos de nutrientes, propiedades químicas .....	52
Tabla No. 8 - Rangos de C.E, propiedades químicas .....	53
Tabla No. 9 - Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados, Calicata No. 2 – Parcela No. 4 .....	56
Tabla No. 10 - Propiedades físicas, Calicata No. 2 – Parcela No. 4 .....	59
Tabla No. 11 - Propiedades químicas, Calicata No. 2 – Parcela No. 4 .....	61
Tabla No. 12 - Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados, Calicata No. 3 – Parcela No. 3A.....	67
Tabla No. 13 - Propiedades físicas, Calicata No. 3 – Parcela No. 3A.....	70
Tabla No. 14 - Propiedades químicas, Calicata No. 3 – Parcela No. 3A .....	71
Tabla No. 15 - Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados, Calicata No. 4 – Parcela No. 3B.....	78
Tabla No. 16 - Propiedades físicas, Calicata No. 4 – Parcela No. 3B.....	80
Tabla No. 17 - Propiedades químicas, Calicata No. 4 – Parcela No. 3B .....	82

Tabla No. 18 - Permeabilidad de las calicatas CEIAPE.....	85
Tabla No. 19 - Clasificación de la permeabilidad .....	87
Tabla No. 20 - Relación textura del suelo con la permeabilidad .....	87
Tabla No. 21 - Propiedades físicas, Parcelas .....	88
Tabla No. 22 - Propiedades físicas, Parcelas .....	89
Tabla No. 23 - Clasificación de la densidad aparente en los suelos .....	90
Tabla No. 24 - Densidad aparente según la textura.....	90
Tabla No. 25 - Clasificación de la densidad real de los suelos .....	91
Tabla No. 26 - Clasificación de la porosidad del suelo .....	92
Tabla No. 27 - Clasificación de la densidad real de los suelos .....	93
Tabla No. 28 - Propiedades químicas, Parcelas .....	94

## Índice de imágenes

Imagen No. 1 Mapa, Selección y división de las parcelas (CEIAPE) .....	22
Imagen No. 2 Mapa, Muestreos de las calicatas (CEIAPE).....	24
Imagen No. 3 Triángulo textural del suelo .....	27
Imagen No. 4 Sección de la ranura en la pasta del suelo antes y después del ensayo .....	32
Imagen No. 5 Calicata No. 1 – Parcela No. 4 .....	43
Imagen No. 6 Presencia de concreciones de Fe y slickensides, calicata No. 1, Parcela No.4.....	45
Imagen No. 7 Indicios de selectividad por el $\text{Ca}^{2+}$ en la mayoría de los suelos montmorillonita .....	51
Imagen No. 8 Calicata No. 2 – Parcela No. 4 .....	57
Imagen No. 9 Estructura Bt2, Calicata No. 2 – Parcela No. 4 .....	59
Imagen No. 10 Disponibilidad de nutrientes respecto al pH del suelo.....	62
Imagen No. 11 Calicata No. 3 – Parcela No. 3A.....	68
Imagen No. 12 Estructura Bt2, Calicata No. 3 – Parcela No. 3A, Estructura en bloques.....	69
Imagen No. 13 Distribución porcentual de las formas de Al en una solución de acuerdo con el pH .....	73
Imagen No. 14 Calicata No. 4 – Parcela No. 3B.....	79
Imagen No. 15 Estructura Bt2, Calicata No. 4 – Parcela No. 3B.....	80

## Índice de anexos

Anexo No. 1 Mapa de clasificación de suelos de Panamá utilizando el sistema Taxonomía de Suelos (Agudo L., Villareal J., 2013). .....	108
Anexo No. 2 Área de estudio del Centro de Enseñanzas e Investigaciones de Panamá Este .....	109
Anexo No. 3 Curvas de nivel (1m) del área de estudio del Centro de Enseñanzas e Investigaciones de Panamá Este .....	110
Anexo No. 6 Muestreos realizados en campo, CEIAPE .....	111
Anexo No. 7 Análisis de propiedades físicas realizados en el laboratorio de suelos y aguas, FCA-UP .....	112
Anexo No. 8 Análisis de propiedades químicas realizados en el laboratorio de suelos y aguas y laboratorio de nutrición, FCA-UP .....	113

## 1. Introducción

El suelo es el cimiento de nuestra civilización y, aún minusvalorado por la sociedad no deja de cumplir los roles de importancia que se les son atribuidos por contribuir al bienestar humano y del planeta. Siendo el suelo un pilar fundamental en la agricultura, para la seguridad alimentaria, proporcionando los nutrientes y el soporte necesario para la producción agrícola (FAO, 2015); en la biogeoquímica, ya que los ciclos de la materia están estrechamente relacionados con los procesos geológicos, hidrológicos y biológicos que ocurren en los diferentes compartimentos de la corteza terrestre (Enrich-Prast et al., n.d.); en las ciencias naturales, por el nivel de complejidad en el desarrollo e interacción de los organismos que habitan y conviven con el suelo, como uno de los hábitats más ricos en especies sobre la tierra (Laban et al., 2018) e inclusive en las ciencias sociales, repercutiendo considerablemente en las actividades sociales y económicas de las personas, siendo, asimismo, un elemento del paisaje y del patrimonio cultural (Cram et al., 2008; Silva y Correa, 2009; Burbano, 2012, Burbano, 2013b y Gardi et al., 2014)

Debido a la importancia interdisciplinaria de las ciencias del suelo, su estudio atraviesa un auge crucial que requiere de un conocimiento integrado de manera global, en virtud de la actual necesidad de la sociedad humana por alcanzar y asegurar el desarrollo sostenible en el uso de este recurso, como elemento esencial, dada sus funciones ambientales y servicios ecosistémicos indispensables para la humanidad (Gallegos et al., 2023).

El suelo y la variabilidad de sus características son inherentes al mismo, a causa de que en su formación intervienen varios procesos que, a su vez, están controlados por los factores de formación (clima, material parental, organismos, relieve y tiempo). Estas interacciones pueden ser muy variadas, dando lugar a una significativa diversidad de suelos (Jaramillo, 2011).

El estudio de las características del suelo y conocer las propiedades individuales de los mismos, se impone como una necesidad preliminar para cualquier recomendación seria ante una toma de decisión en lo que respecta a futuros usos. Dado que, toda actividad a realizar requiere de un adecuado tipo de terreno para prosperar debidamente, y cuando se desconoce este particular se procede erradamente en la toma de decisiones (González, 1936).

El estado del suelo, en cuanto a su función, indica la calidad de este para determinado uso y, por tanto, el comportamiento del sistema de producción en él establecido (Calderón-Medina et al., 2018). En este sentido, es necesario hacer énfasis en que “Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunique, en forma comprensible, información relevante” (Cantú et al., 2007); esto permite valorar las características físicas y químicas del suelo en un determinado intervalo de tiempo, locación y medidas de rangos como una herramienta para la construcción de referencias.

Los análisis realizados constan del estudio y caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo en las parcelas seleccionadas, para entender en qué medida y cómo influye el alcance de estos ante sus potenciales aplicaciones y

cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones del suelo posibles.

Las propiedades físicas determinan en un gran porcentaje, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004a). Las propiedades químicas, pueden considerarse como parte elemental de las ciencias del suelo, ya que en base a los resultados de los análisis químicos se proporciona información sobre la composición, propiedades y reacciones químicas que ocurren en los suelos, que permiten formular las recomendaciones necesarias ante elecciones estratégicas (Fassbender, 1994).

## 1.2 Planteamiento del problema

Después de una larga lucha y espera, de alrededor de 13 años, la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Campus, en julio del 2023 vuelve a disponer de la oportunidad de poder contar con una extensión propia de terreno, para el desarrollo de las actividades prácticas e investigativas por parte del cuerpo, en un espacio de aproximadamente 325 hectáreas a orillas de la carretera interamericana en el área de Cañita de Chepo, donde se realizará la construcción del futuro Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Panamá Este (CEIAPE); Teniendo poca información de los suelos encontrados en el área y conociendo la importancia de este recurso se hace necesario realizar un estudio de caracterización de los componentes físicos o químicos del suelo, para así abrir paso a una base informativa que facilite, potencie y motive a las presentes y futuras generaciones de profesionales de las ciencias agropecuarias y productores de la zona, a la realización de diversos proyectos de producción e investigación, bajo el respaldo académico de la distinguida Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá.

### 1.3 Antecedentes

El suelo es el resultado de una serie de procesos físicos y biogeoquímicos que han ocurrido a lo largo de un extenso período de tiempo. y que interviene sobre el paisaje, su topografía y diferentes materiales parentales, pudiéndose visualizar como un cuerpo natural conformado por un sistema de tres fases, una sólida - orgánica y mineral-, otra líquida y una tercera gaseosa, cuyos constituyentes se hayan disgregado de manera heterogénea (Burbano, 2009a).

Su origen de formación comienza cuando la roca se fragmenta y la materia orgánica se transforma por la acción de factores: a) físicos como la lluvia, el viento o la radiación solar, b) químicos que implican la reacción de sus constituyentes con el agua, el oxígeno y otros elementos químicos y c) biológicos producto de la actividad de los seres vivos (Porta et al., 2014). Dándose así el intemperismo o meteorización de la roca, desencadenando a largo plazo el resultado de la liberación de minerales y elementos químicos, acumulándose y conformando diferentes capas horizontales, denominadas horizontes del suelo, después de cientos o miles de años. Los horizontes están interconectados y se ven continuamente condicionados por adiciones, transformaciones, translocaciones y pérdidas de materiales orgánicos e inorgánicos. Al conjunto de estos horizontes se le denomina perfil edafológico, el cual permite un entendimiento más detallado del suelo, tanto en sus capas superficiales como en las profundas, hacia el interior del perfil, reconociendo horizontes desarrollados, intermedios y de transición,

productos de las translocaciones de movimiento en los materiales minerales y orgánicos (Montaño Arias et al., 2018).

La vida en la Tierra se lleva a cabo dentro del marco compuesto por el agua, el suelo, la atmósfera y la vegetación. En las interrelaciones de estas, el suelo es el soporte del sistema propio de la vida. (Arias Rodríguez y Orozco, 1999).

El suelo como recurso natural no renovable juega un papel fundamental y diverso sobre el medio ambiente, la economía local, regional y mundial como base del sistema alimentario, así como un regulador clave de los ecosistemas y el desarrollo sostenible de la biodiversidad terrestre y sus desencadenantes; Por ello ha dejado de ser un puñado de tierra abundante y sin precio e importancia para el sostén de la vida humana y ha sido reconocida durante el último medio siglo, con la aparición de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y de decenas de otras instituciones internacionales y nacionales, que año tras año alertan sobre la degradación de él y las repercusiones en el mantenimiento de la biodiversidad, la mitigación de la pobreza y la seguridad alimentaria (Cotler et al., n.d.).

## 1.4 Justificación

Como lo muestran el Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993), Porta et al (1994), Malagón et al (1995), Buol et al (1997) y Hillel (1998) entre otros autores, el término suelo ha tenido acepciones diversas, como:

- Desde la visión de un agricultor, el suelo es el sitio para plantar sus semillas y obtener sus cosechas (Worthen, 1949).
- Para un químico, es el laboratorio donde reaccionan e interactúan diferentes componentes entre las fases sólida, líquida y gaseosa.
- Desde el punto de vista de un ecólogo es uno de los componentes del ecosistema que estudia.
- Para un geólogo el suelo no es más que el revestimiento terroso que hay sobre un cuerpo rocoso.
- Desde el criterio de un constructor, el suelo es el sitio sobre el cual se colocarán los cimientos estructurales de sus obras o el sustrato que le suministrará algunos de los materiales mineralógicos, que requiere para hacerlas.
- Y para un antropólogo o un arqueólogo el suelo es un registro del pasado.

Considerando las definiciones anteriores, es evidente que el conocer y comprender las características y condiciones del suelo es fundamental para desarrollar un plan estratégico previo que satisfaga las necesidades específicas de la actividad productiva por llevar a cabo.

La designación de 325 hectáreas por parte de la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Campus Central para la construcción del futuro Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Panamá Este (CEIAPE) proporciona un vasto terreno, poco explorado, que representa una oportunidad invaluable para realizar un estudio detallado y exhaustivo de sus características edáficas. La caracterización de este suelo no solo proporcionará una base sólida para el diseño de futuras actividades agrícolas, pecuarias, forestales y ambientales, etc. sino que también contribuirá al desarrollo académico y profesional de los estudiantes y del cuerpo docente-administrativo de la facultad misma.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

- Evaluar algunas de las propiedades físicas y químicas de los suelos ubicados en parcelas designadas del Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Panamá Este, Cañita, República De Panamá

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Evaluar aquellas características del suelo que influyen en su capacidad de uso para diferentes fines, como de conservación y/o de agrícolas.
- Contribuir a la comprensión de la salud y fertilidad edáfica en la región de Panamá.
- Proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en la gestión del suelo.

## 1.6 Hipótesis

### 1.6.1 Hipótesis nula

- Los resultados de las parcelas no presentan variaciones en los análisis de caracterización de sus propiedades físicas y químicas del suelo.

### 1.6.2 Hipótesis alternativa

- Las propiedades físicas y químicas del suelo presentan características distintas en las parcelas asignadas como área de estudio.

## 1.7 Alcances y limitaciones

### 1.7.1 Alcances

- Descripciones específicas de las propiedades físicas y químicas del suelo en los terrenos del CEIAPE.
- Generar información base para futuras investigaciones y proyectos a realizarse en el CEIAPE.

### 1.7.2 Limitaciones

- Condiciones de logística y disponibilidad de tiempo que podrían retrasar el proceso de recolección de muestras y análisis de las propiedades edáficas.
- Condiciones climáticas adversas presentes en los días de muestreos.

## 2. Revisión de literatura

### 2.1 Centro De Enseñanzas E Investigaciones Agropecuarias De Panamá Este (CEIAPE)

Considerando que el Artículo 9 de la Ley 24 de 2005, establece que la Universidad de Panamá reconoce que la investigación es fundamento de la educación, y como tal, constituye su objetivo y función esencial de comprometerse a fomentar su desarrollo, priorizando la asignación de recursos, concertar acuerdos y brindarles la organización y facilidades necesarias para su ejecución. De manera que, asimismo, serán creados institutos de investigación y otras organizaciones responsabilizadas para la investigación sistemática e integral de diferentes disciplinas científicas, y demás aspectos relacionados a su funcionamiento y competencias. Por lo cual la Resolución de Gabinete N°92 De 24 de agosto de 2022, establece la contratación, mediante procedimiento excepcional entre la Universidad de Panamá y la sociedad anónima GONES Hermanos S.A., para la adquisición de 325 hectáreas, para establecer en estas el Centro De Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias De Panamá Este (CEIAPE). Ya que con anterioridad, la Universidad de Panamá estableció la extensión experimental de Tocumen “Centro de Enseñanza Investigaciones Agropecuarias de Tocumen (CEIAT)” la cual estuvo en vigencia hasta el 2012, donde quedó pendiente su reubicación, afectando las funciones académicas de docencia e investigación que ahí se desarrollaban, hasta la actualidad, donde los terrenos obtenidos en Cañita

de Chepo cumplen con las características necesarias para restablecer los roles de ensayo e investigación que coadyuven al fortalecimiento y mejoramiento del sector agropecuario, abriendo así oportunidades para el desarrollo docente, investigativo, extensional y demás servicios especializados que beneficiarán al país nuevamente.

## 2.2 Suelo

El suelo es un cuerpo natural que consiste en capas de suelo compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. Y el suelo tal y como lo conocemos es el producto final de la influencia del tiempo, combinados con los factores de clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), y materiales parentales (rocas y minerales originarios) (FAO, 1996).

### 2.2.1 Perfil del suelo

El suelo está constituido mediante múltiples estratos ubicados de manera horizontal desde la parte superficial hasta el material originario, que pueden ser visualizados cuando el suelo está expuesto o cuando se realiza una calicata en el mismo. A estas capas se les denomina “horizontes”, los cuales se diferencian en términos de composición física y química. En este conjunto de horizontes, cada perfil representa una combinación de factores

de formación del suelo, es decir que son producto de la influencia e interacción de los seis factores de formación: clima, organismos, topografía, material parental, tiempo (Sucuy & Castillo, 2021).

### 2.2.2 El suelo como sistema dinámico

El suelo es un sistema abierto y dinámico que tiende hacia un equilibrio, acumulando y reciclando materia y energía a través del tiempo (Bricchi & Degioanni, 2006). Lo cual permite el libre intercambio de información, materia y energía entre su interior y el entorno, sin que se presenten barreras ni impedimentos al flujo de estos, donde se desarrollan los procesos químicos, físicos, biológicos y mineralógicos que en conjunto determinan sus propiedades y su capacidad para influenciar el ambiente que lo rodea.

### 2.3 Las propiedades físicas del suelo y su importancia

Las propiedades físicas de los suelos establecen la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes; Por ello es preciso incorporar en la caracterización de suelos, variables como la porosidad, textura del suelo, su densidad, estructura, resistencia a la penetración de las raíces, entre otros, ya que es fundamental que sean

tomadas en cuenta, en el uso que se le dará a la tierra y así comprender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas (Rucks et al., 2004).

### 2.3.1 Color del suelo

El color del suelo está generalmente relacionado con los procesos de pedogénesis o los factores de formación que intervienen en él (Rucks et al., 2004).

### 2.3.2 Textura

La textura hace alusión a la constitución y conformación de los agregados, representando el porcentaje de los elementos que componen el suelo: Arena, limo y arcilla. Dichas fracciones siguen los principios de la naturaleza de la roca madre y de los procesos de evolución.

Las partículas de arena y limo son en su mayoría fragmentos de roca, principalmente de cuarzo, además de la variabilidad que pueda exponer debido a la presencia de otros minerales primarios; Mientras que la composición mineralógica de las fracciones de arcilla, generalmente se integra de diversos minerales secundarios, convencionalmente subdivididas en silicatos y no silicatos (Rucks et al., 2004).

### 2.3.3 Humedad

La humedad del suelo es el contenido de agua que presenta el suelo por peso, dicho contenido de humedad y el potencial de esta, muestra el grado en que el agua se adhiere a las partículas del suelo (FAO, 2015).

### 2.3.4 Permeabilidad

La permeabilidad del suelo permite determinar la capacidad de retención y la velocidad de filtración del agua, en el suelo (Iwasa y Marshall, 2019); La cual dependerá del tamaño de las partículas que conforman al suelo, su porosidad y estructuras presentes. Si bien los estudios de permeabilidad del suelo miden la continuidad del espacio poroso y como se ven afectados ante las diferentes interacciones de las características físicas, químicas y biológicas, se puede indicar que no existe una única relación entre la porosidad del suelo y su permeabilidad (Rivas Maldonado & Loyola, 2022).

### 2.3.5 Densidad aparente

La densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen del suelo inalterado, tal cual, y como se encuentra en su asentamiento natural, comprendiendo el espacio poroso presente en el suelo (Pinot, 2000).

### 2.3.6 Densidad real

La densidad real corresponde al peso de la unidad de volumen de los sólidos del suelo y su valor cambia en función de los tipos de minerales provenientes de la roca madre y de la cantidad de materia orgánica presente en el suelo (Rubio & Sevilla, 2010).

### 2.3.7 Porosidad

La porosidad total es la suma de macroporos y microporos; Donde los macroporos no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, mientras que los microporos retienen agua, parte de la cual está disponible para las plantas (Rucks et al., 2004a).

### 2.3.8 Consistencia

La consistencia del suelo es la resistencia que éste opone a la deformación o ruptura. Esta depende de las fuerzas de cohesión que tienen lugar entre las partículas del suelo, y está relacionada con la estructura, la textura, la humedad o la cantidad y la naturaleza de los coloides del suelo (arcilla y materia orgánica) (Jordán López, 2005).

## 2.4 Las propiedades químicas del suelo y su importancia

La química de suelos puede considerarse como parte elemental de las ciencias del suelo, ya que en base a los resultados de los análisis químicos se proporciona información sobre la composición, propiedades y reacciones químicas que ocurren en los suelos y que permiten formular las recomendaciones necesarias para las tomas de decisiones ante la planificación del desarrollo agrícola, ganadero y forestal.

Las ciencias del suelo están relacionadas con muchas ciencias naturales y sus conocimientos son utilizados para consolidar y demostrar hipótesis y principios. Cabe hacer hincapié en la importancia de la química y de las ciencias del suelo, dentro de los aspectos socioeconómicos del sector agropecuario, debido a su extensión productiva y sus alcances para el bienestar del ser humano (Fassbender, 1994).

### 2.4.1 pH

El pH indica el grado de acidez de la solución del suelo, es decir la concentración de hidrogeniones  $H^+$  (en forma logarítmica) presentes en el suelo, los cuales condicionan partes de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Soriano, 2018).

#### 2.4.2 Materia Orgánica

La materia orgánica (residuos de plantas y materiales animales) está hecha de compuestos tales como los carbohidratos, ligninas y proteínas e independientemente de cualquier origen, es junto a las arcillas los elementos esenciales para que se den una serie de aportes de nutrientes en los suelos (Morales, 2011).

#### 2.4.3 Nutrientes del suelo

La materia mineral constituye la masa principal de los sólidos del suelo, que está compuesta por casi todos los elementos químicos que existen en la naturaleza y son los llamados *nutrientes del suelo*. Todos los nutrientes son esenciales para que las plantas puedan desarrollarse, sin embargo, se subdividen en dos categorías, que son macronutrientes o elementos primarios (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio), requeridos en mayor cantidad; Y los micronutrientes (zinc, boro, molibdeno, manganeso, cloro y cobre) requeridos en menor cantidad, (FAO, 1999) pero cada elemento tiene sus propias funciones y en base a esas funciones que desempeñan en las plantas así mismo deben estar disponibles en el momento apropiado, pues de lo contrario se crearán situaciones de deficiencias.

#### 2.4.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) en el contexto del suelo, es un indicador clave de la fertilidad del suelo y de la presencia de iones disueltos, principalmente sales solubles (Guadalquivir & Guadalquivir, 2024).

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Localización general – Zona de estudio

El Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Panamá Este (CEIAPE) está ubicado en el corregimiento de Cañita, distrito de Chepo, provincia de Panamá y cuenta con una extensión de 325 hectáreas, compuesta por ocho fincas, de las cuales fueron seleccionadas dos para sus respectivos análisis de caracterización, entre ellas la parcela No. 3 y parcela No. 4, contando con una extensión total de aproximadamente 25 hectáreas.

##### 3.1.1 Selección y división de las parcelas

Para la caracterización de esta investigación fueron asignadas las parcelas No. 3 y No. 4; Las cuales fueron divididas en las siguientes secciones:

Parcela 3 – Extensión de alrededor de 16.88 hectáreas

- Sección A: Parte baja, media y alta.
- Sección B: Parte baja, media y alta.

Parcela No. 4 – Extensión de alrededor 8.72 hectáreas

- Sección No. 1: Punto bajo
- Sección No. 2: Punto medio

- Sección No. 3: Punto alto.

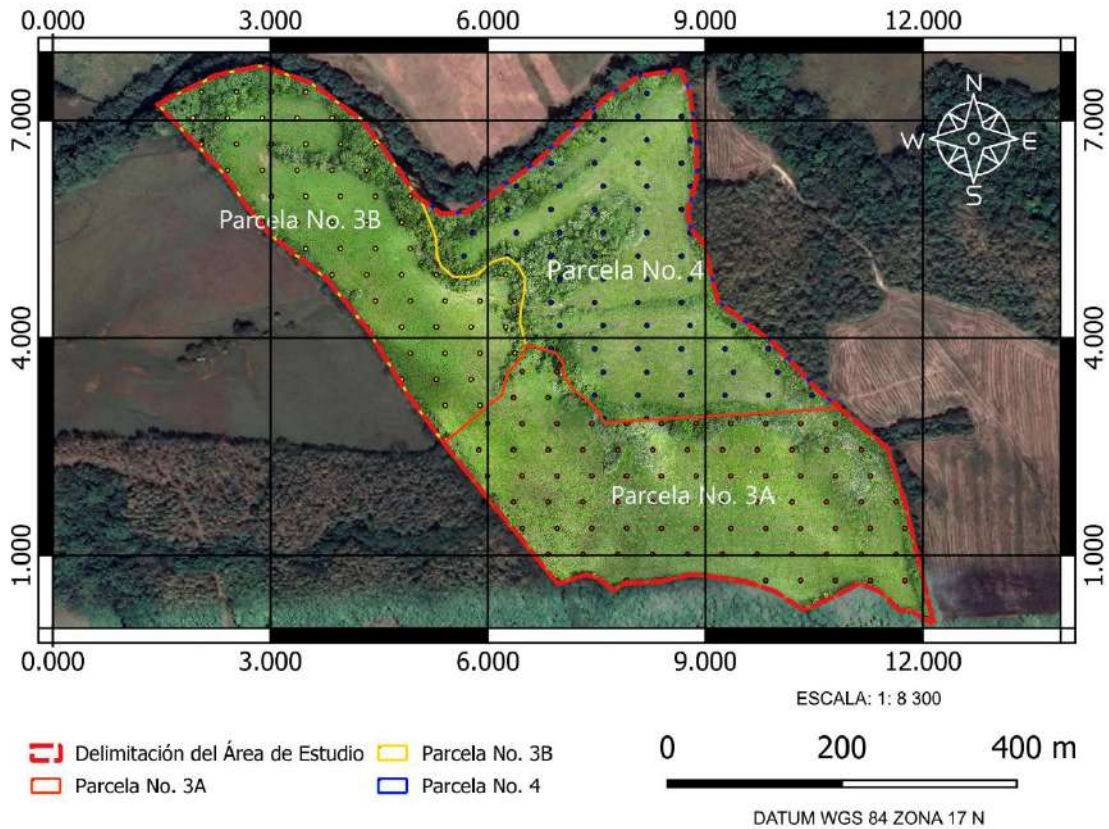


Imagen No. 1 Mapa, Selección y división de las parcelas (CEIAPE)

## 3.2 Muestreos

### 3.2.1 Muestreos aleatorios

Los muestreos aleatorios se realizaron en las parcelas No. 3 y No. 4 CEIAPE. La parcela No. 3 contiene seis muestras aleatorias, divididas entre la sección A (3) y Sección B (3), cada una compuesta por 5 submuestras aleatorias de suelo por parte (baja, media y alta). Y la parcela No. 4 contiene 3 muestras aleatorias,

divididas en tres secciones (baja, media y alta), cada una compuesta por 5 submuestras aleatorias de suelo. Disponiendo de nueve muestras aleatorias en su totalidad, recolectadas a una profundidad no mayor de 20 cm, para realizar análisis por triplicado en las tres parcelas (No. 3A, No. 3B y No. 4).

### 3.2.2 Muestreos de calicatas

Los muestreos realizados en las calicatas igualmente se llevaron a cabo en las parcelas No. 3 y No. 4 del CEIAPE; Con la realización total de cuatro calicatas, dos realizadas dentro de la parcela No. 3, (una calicata en la sección A, Coordenada: 736362.54, 1018702 y otra en la sección B, Coordenada: 736207.52, 1018889), y asimismo su realización en la parcela No. 4 (Sección No. 1: Punto bajo, Coordenada: 736470.67, 1019002 y Sección No. 2: Punto medio, Coordenada: 736471.07, 1018935). Donde se tomaron muestras de cada uno de los horizontes reconocidos dentro del perfil del suelo.

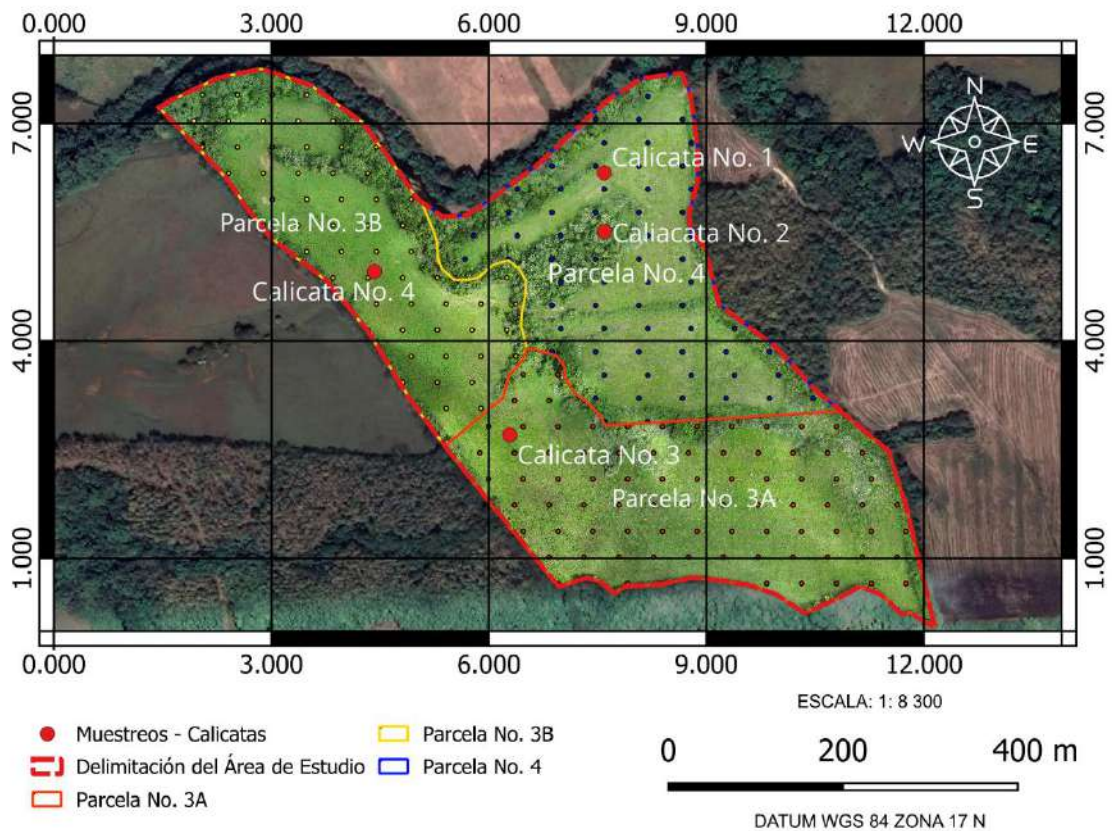


Imagen No. 2 Mapa, Muestras de las calicatas (CEIAPE)

### 3.3 Análisis de las muestras de suelo

Las muestras de suelo tomadas en campo fueron llevadas a la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Campus Octavio Méndez Pereira, para iniciar su proceso de secado, maceración, tamizaje, identificación y almacenamiento para su respectivo uso en los análisis de caracterización a realizar en los Laboratorios de suelos y aguas FCA, Sede de Panamá y Laboratorio de Suelos y Afines (LABSA), Sede de Chiriquí.

### 3.3.1 Determinación de las propiedades físicas

En el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Campus Octavio Méndez Pereira, fueron realizados en su totalidad los análisis de color, textura, humedad, permeabilidad, densidad aparente, densidad real, porosidad y consistencia.

#### 3.3.1.1 Determinación del color del suelo - Sistema de Notación Munsell

La determinación de la propiedad color del suelo se realizó en un total de veintidós muestras, entre las aleatorias y calicatas, en muestras de suelo húmedas y secas, bajo la metodología de las tablas de color Munsell, las cuales incluyen todos los matices del rango visible del espectro electromagnético, compuesta de hojas, donde cada una de ellas contiene un matiz (hue) específico y sistemáticamente coloreado de forma diferente, representando la claridad (value) y la pureza (chroma) (Domínguez Soto et al., 2012), es decir el color de las muestras de suelo fueron identificadas y establecidas mediante las comparaciones de las variables hue, value y chroma de Munsell.

### 3.3.1.2 Determinación de la textura del suelo - Método de Bouyoucos

En el año de 1961, George John Bouyoucos desarrollo el método que lleva su nombre, también denominado método del hidrómetro.

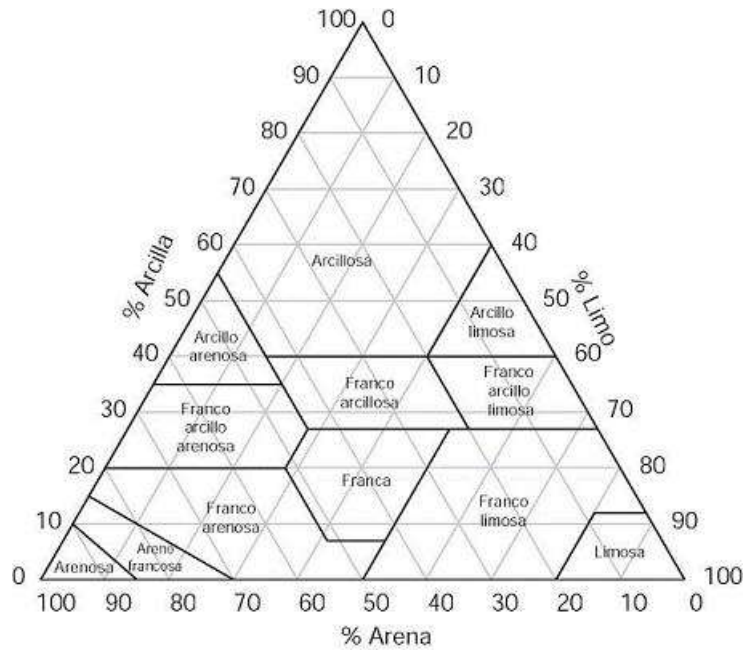
El análisis consiste en la separación de las fracciones granulométricas arena, limo y arcilla, que se lleva a cabo mediante el empleo de métodos basados en la Ley de Stokes cuyo enunciado indica que una partícula esférica se mueve a una velocidad uniforme mientras cae en un medio viscoso. Para el diámetro de partícula corregido y expresado, se toma en cuenta el parámetro de sedimentación ( $\theta$ ), expresado en función de la lectura del hidrómetro en la suspensión y luego es aplicado en función de cada formula correspondiente.

- Limo:  $\text{Lectura } 1c - \text{lectura } 2c / M_{ss} * 100$
- Arena:  $100 - \text{Lectura } 1c / M_{ss} * 100$
- Arcilla:  $\text{Lectura } 2c / M_{ss} * 100$

$M_{ss}$ : Masa de suelo seco

El triángulo equilátero de clasificación de texturas más utilizado es el americano que se presenta en la *Imagen No. 3*. Este tiene una escala de diez en la cual se fijan los límites porcentuales de cada fracción, arena, limo y arcilla. Al cabo de la obtención de los porcentajes correspondientes a cada fracción, se ubica los datos en el triángulo. Se

sitúa el valor del porcentaje de la fracción y se siguen las líneas paralelas a las otras dos fracciones. La intersección de las tres líneas conformadas recaerá sobre el área que indique la textura correspondiente.



*Imagen No. 3 Triángulo textural del suelo*  
USDA - United States Department of Agriculture  
(Departamento de Agricultura de Estados Unidos)

### 3.3.1.3 Determinación de la humedad del suelo - Método Gravimétrico

La determinación de humedad presente en el suelo por gravimetría fue realizada para las veintidós muestras recolectadas, nueve de manera aleatoria y trece provenientes del perfil del suelo, de las cuatro calicatas realizadas. La metodología consiste en pesar muestras húmedas de suelo y secarlas en hornos a una temperatura de 105°C por un mínimo de dos horas y luego volverlas a pesar. La diferencia entre el peso de la muestra húmeda y la seca será la cantidad de agua que, relacionada con el peso seco del suelo, representa el contenido de humedad en el momento de muestreo (Gil, 2010).

$$\% \text{Humedad: } M_{sh} - M_{ss} / M_{ss} * 100$$

Msh: Masa de suelo húmedo

Mss: Masa de suelo seco

### 3.3.1.4 Determinación de la permeabilidad del suelo - Prueba de Infiltrometría con Pozo de Pruebas

Fueron realizados cuatro muestreos de permeabilidad del suelo, cercanos a los puntos en donde se realizaron las calicatas. Para ello fue implementado el método para la evaluación de la permeabilidad del suelo propuesto por la FAO, el cual consiste en la elaboración de un

hoyo de aproximadamente 70 cm de profundidad y 30 cm de ancho, basados en la evaluación de los horizontes del suelo que parezcan tener la permeabilidad más estable, teniendo en cuenta sus propiedades físicas como textura y estructura. Tras ello son impermeabilizadas las paredes del hoyo utilizando una lámina de plástico, donde se vierte agua en él hasta alcanzar unos 10 cm de profundidad y se repone constantemente, procurando mantener el contenido de 10 cm, hasta lograr que los poros del suelo se saturen con agua y la infiltración se estabilice y sea constante. Llevando un registro de medición, hasta cumplir 2 horas (Rivas Maldonado & Loyola, 2022).

#### 3.3.1.5 Determinación de la densidad aparente del suelo - Método del Anillo Volumétrico

La determinación de la densidad aparente del suelo con la metodología del anillo volumétrico se llevó a cabo con nueve muestras, el mismo es considerado el método más sencillo y se basa en tomar un volumen fijo de suelo sin perturbar y pesarlo una vez seco, por calentamiento en el horno a 105° C durante 24 horas.

Para la recolección de la muestra se utiliza un cilindro metálico con un volumen conocido. En uno de sus extremos se le colocó un cabezal cilíndrico, al que se le fue ejerciendo presión hasta introducir el cilindro dentro del suelo sin afectar la muestra. Una vez estuviese

completamente clavado, se extrajo el cilindro del suelo, eliminando los sobrantes del extremo, fue rotulado y empaquetado para ser extraído en el laboratorio.

La densidad viene determinada por la relación entre el peso seco obtenido y el volumen correspondiente (Rubio & Sevilla, 2010).

Densidad aparente:  $P_{ss} / \text{Volumen del anillo}$

$P_{ss}$ : Peso del suelo seco

### 3.3.1.6 Determinación de la densidad real del suelo - Método del Matraz Aforado con Alcohol

Esta metodología fue realizada en las 9 muestras aleatorias, entre las parcelas No.4 y No. 3A-B, dicho procedimiento implica la adición de 10g de una muestra de suelo seca y macerada, en un matraz aforado que luego se llena con alcohol hasta una marca específica, ya que la misma se basa en el desplazamiento de volumen por un líquido y se registran tanto la masa del suelo seco como la del matraz en conjunto al alcohol adicionado (Aguilar et al., 2023). Para encontrar la densidad real resolvemos la siguiente fórmula:

$$D_r = M. s / V. s$$

$D_r$ : Densidad real

$M. s$ : Masa de sólidos

V. s: Volumen de sólidos

### 3.3.1.7 Determinación de la porosidad real del suelo - Método de Densidad Aparente y Densidad Real

La porosidad real (P) del suelo se calcula mediante la relación entre la densidad aparente y la densidad real, y se puede ilustrar implementando la siguiente fórmula:

$$\% P: ( 1- D_a/D_r ) * 100$$

% P: Porcentaje de porosidad real

D<sub>a</sub>: Densidad aparente

D<sub>r</sub>: Densidad real

### 3.3.1.8 Determinación de la consistencia real del suelo - Metodología de Atterberg

El análisis de consistencia fue realizado en las 9 muestras aleatorias tomadas en el CEIAP, a través de dos etapas claves:

1. Determinación del límite líquido (W<sub>L</sub> o LL)
2. Determinación del límite plástico (W<sub>p</sub> o LP)

El límite líquido se determina mediante el equipo Casagrande, sabiendo que el suelo remoldeado a  $w = W_L$  tiene una pequeña resistencia al



para conocer el peso de la masa seca del suelo (Jaramillo, 2002). El índice de plasticidad y el límite de plasticidad se determinaron a través de la siguiente ecuación:

$$LP = \%H$$

$$IP = LL - LP$$

IP= Índice de Plasticidad.

LL= Límite Líquido

LP= Límite Plástico

### 3.3.2 Determinación de las propiedades químicas

Se realizaron análisis químicos en un total de veintidós muestras de suelo. De estas, tres se analizaron por triplicado, sumando en total nueve análisis, mientras que las trece muestras restantes correspondieron a las muestras tomadas en los horizontes de las cuatro calicatas realizadas. Los análisis se llevaron a cabo en colaboración con los Laboratorios de Suelo y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Panamá (pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, Fósforo y Nitrógeno) y Laboratorio de Suelos y Afines (LABSA), sede Chiriquí (Macro y micronutrientes del suelo).

### 3.3.2.1 Determinación del pH del suelo - Medición Potenciométrica

El análisis de pH se realizó mediante la metodología de potenciometría, en las 22 muestras entre las aleatorias y las realizadas en las calicatas. El mismo fue elaborado en un sistema agua-suelo en relación 1:2.5, donde el potenciómetro mide la diferencia de potencial eléctrico en milivoltios entre un electrodo de referencia, que ha sido calibrado con una solución de referencia, y otro electrodo sensible a los H<sup>+</sup> de la solución del suelo que pasan a través de una membrana de vidrio poroso especial, de 1 mm de diámetro (Carrillo P., 1985).

### 3.3.2.2 Determinación de la acidez del suelo - Medición de la acidez intercambiable

La determinación de la acidez del suelo se realizó en las 22 muestras totales, implementando la determinación de la acidez titulable, donde se pesaron 2.5g de TESA (Tierra fina seca al aire) en un matraz Erlenmeyer de 125 ml, adicionándole 25 ml de KCl IN. Se agito por 15 minutos para posteriormente ser filtrado a través del papel filtro Whatman No.1 para un vaso químico de 250 ml. (Jackson 1964) Luego se procedió a determinar la acidez titulable a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Acidez titulable: } V * N * 40$$

V: Volumen de NaOH consumido

N: Normalidad del NaOH

### 3.3.2.3 Determinación de la materia orgánica del suelo - Método de Walkley & Black

El método de Walkley y Black, basado en una reacción de oxidación, se aplicó en 22 muestras, incluyendo aquellas seleccionadas aleatoriamente y las tomadas en calicatas. La metodología consistió en pesar 0.5 g de suelo tamizado y transferirlo a un matraz Erlenmeyer de 500 ml, Al cual se le añadieron 10 ml de  $K_2Cr_2O_7$  con una concentración 1N, utilizando una pipeta, mezclándolo suavemente con el suelo mediante movimientos lentos. Posteriormente se añadieron 20 ml de  $H_2SO_4$  y se dejó reposar la mezcla durante 30 minutos. De manera simultánea, se preparó un ensayo en blanco (sin suelo) siguiendo el mismo procedimiento. Después del tiempo de reposo se adicionaron a cada muestra 200 ml de agua destilada, 10 ml de  $H_3PO_4$  y 20 gotas del indicador de difenilamina. Finalmente, la mezcla se agitó y se tituló hasta obtener un color verde brillante (López et al., 2017). Luego se procedió a determinar el porcentaje de M.O. a través de la siguiente ecuación:

$$\%M. O: 10 ( 1 - T/S ) * F$$

%M. O: Porcentaje de materia orgánica

T: Valoración de la muestra, ml de solución ferrosa

F: Factor, en este caso 1.34 para 0.5 g de suelo

#### 3.3.2.4 Determinación de los nutrientes del suelo (Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Mn y Zn) - Método de Análisis Químico Convencional, Mehlich-1

La metodología de Mehlich-1 para la extracción de nutrientes en suelos (Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Mn y Zn), fue realizada por parte del Laboratorio de suelos y afines (LABSA) Sede de Chiriquí, en el total de las 22 muestras recolectadas, la misma consistió en mezclar 10 ml de una solución extractora, compuesta por ácido clorhídrico (HCl) al 0.05 M y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 0.025 M, con 1 g de suelo seco. La mezcla resultante se agitó durante 5 a 10 minutos y luego se filtró para separar la solución líquida, que contiene los nutrientes extraídos, de la fracción sólida del suelo, donde posteriormente la solución extraída se analizó mediante espectroscopia de absorción atómica para medir la concentración presente de cada uno de los nutrientes (Alfaro et al., 2019).

### 3.3.2.5 Determinación del N del suelo - Metodología de Kjeldahl

La determinación del nitrógeno presente en el suelo, empleando la metodología de Kjeldahl se realizó tanto en las muestras aleatorias como en la de las calicatas. Para la metodología de Kjeldahl se pesaron alrededor de 1g de suelo seco por muestra y se realizaron los siguientes procesos:

- Etapa de digestión: En esta etapa el nitrógeno proteico se transformó mediante un digestor automático en sulfato de amonio por acción del ácido sulfúrico en caliente.
- Destilación: En esta etapa la muestra digerida se alcalinizó y el nitrógeno se desprendió en forma de amoniaco, donde el amoniaco destilado se recoge sobre un exceso desconocido de ácido bórico.
- Valoración: La cuantificación del nitrógeno amoniacal se realizó por medio de una volumetría ácido-base del ión borato formato, empleando ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno. Se estimó el porcentaje de nitrógeno a través de la siguiente ecuación:

$$\%N: \frac{V_{con} * N_{HCL} * F * 100}{g \text{ de muestra}}$$

Vcon: Volumen consumido

N<sub>HCL</sub>: Normalidad HCL = 0,1N = 0,1M

F: Factor = 0,01401

### 3.3.2.6 Determinación del P del suelo - Método por determinación espectroscopia de absorción atómica/Espectroscopia UV-VIS

Los análisis de fosforo se llevaron a cabo en las 22 muestras, por medio de la determinación espectroscopia de absorción atómica:

- Extracción: Donde se pesaron 5 g de suelo seco por muestra en un Erlenmeyer de 125 ml y se añadieron 50 ml de solución extractora, para luego ser agitados por un agitador mecánico durante 5 minutos. Posteriormente se filtró por gravedad con papel filtro Whatman No. 40 (o #1) en un vaso químico de 100 ml.
- Desarrollo del color: Con una alícuota de 5 ml se transfirió el resultante del filtrado y fue colocado en un vaso químico de 50 ml, del cual fueron pipeteados 10 ml de la solución diluida de molibdato de amonio, agitando suavemente el vaso y dejándolo reposar durante 30 minutos para que se desarrolle el color azul en la muestra y posteriormente hacer la lectura de la densidad óptica (absorbancia) en el colorímetro a una longitud de onda de

660  $\mu$ , donde se interpoló la curva de calibración de dichos valores.

Para el blanco la calibración del aparato deber ser preparada de la misma forma, pero sin la presencia de suelo en la solución extractora (Jackson 1964).

### 3.3.2.7 Determinación de la CE del suelo - Método de Conductividad Eléctrica en Agua Destilada

Los análisis de conductividad eléctrica en agua destilada fueron realizados en las 22 muestras de suelo, pesando 25 gramos de suelo en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, a los cuales se le adicionaron 50 ml de agua destilada, para luego ser colocado en agitador mecánico por un período de 15 minutos, para garantizar la homogeneización de la suspensión. Posteriormente se filtró la suspensión de suelo por gravedad utilizando un embudo y papel filtro, recolectando el filtrado en un vaso químico de 50 o 100 ml. Luego de esto se calibró el conductímetro con soluciones salinas de conductividad conocida y se determinó la CE, introduciendo el electrodo del conductímetro en la muestra filtrada (Fassbender, 1994).

## 4. Resultados y discusión

### 4. 1 Perfiles del suelo bajo estudio

Primera aproximación de las características evaluadas

Calicata No. 1 – Parcela No. 4

Fecha: 22 de julio de 2024

Clave taxonómica utilizada:

Soil Taxonomy – USDA

FAO

Breve descripción:

Tipo de suelo: Mineral

Horizonte diagnóstico: Argílico

Características de diagnóstico: Tiene un porcentaje significativamente mayor de arcilla que el material del suelo suprayacente a partir de los 48cm.

Localización

Ubicación: Cañita de Chepo, República de Panamá

Altitud: 25 m.s.n.m

Coordenadas geográficas: (DATUM WGS 84 ZONA 17 N): 736470.67,  
1019002

## Factores de formación

1. Forma del terreno: planicie (LP)
2. Pendiente donde se tomó el perfil: 3%
3. Vegetación o uso de la tierra: Pradera mediana (HM), pasto natural y malezas
4. Clima: Tropical de sabana (Aw)

**Tabla No. 1 - Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados, Calicata No. 1 – Parcela No. 4**

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0-7cm	Estructura migajosa y en bloques, color pardo oscuro, con gran presencia de raíces y presencia de concreciones de Fe.
B1	7-48cm	Estructura en bloques angulares y subangulares, coloración parda, con alto contenido en arcillas al tacto, menor presencia de raíces, presencia de moteados de M.O y presencia de concreciones de Fe de color rojizo indicativo de fluctuaciones del contenido de humedad. Se observan también slickensides.
Bt	48-100cm	Estructura en bloques angulares y subangulares, muy arcillosos al tacto, color negro, mayor plasticidad (Bt), capa bastante impermeable del suelo, lo que estaría relacionado con la presencia de concreciones y moteados de Fe en los horizontes superiores, slickensides.

*Nota.* Tabla elaborada con los datos recolectados en campo.



*Imagen No. 5 Calicata No. 1 – Parcela No. 4*

En el perfil del suelo de la calicata No. 1 – Parcela No. 4, fueron observados dos horizontes maestros, el A y el B.

El horizonte A, con un a profundidad de 7cm presentó una estructura migajosa, que se produce debido a la floculación de los coloides minerales y orgánicos (Moreno Ramón et al., 2010) y en bloques, característico de los suelos arcillosos y que a su vez indican que el suelo resiste el ingreso y el movimiento del agua; Una coloración pardo oscura, que puede deberse a una alta retención de humedad y a un alto contenido de materia orgánica; con gran presencia de raíces

y concreciones de Fe, asociada comúnmente con los procesos redox. La reducción y oxidación de hierro disuelto en el agua subterránea conduce a la formación de hidróxidos de hierro insolubles ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ), los cuales al precipitarse, se acumulan y forman las concreciones nodulares observadas (Jordán, n.d.).

El horizonte B1, con un desarrollo de 48 cm de profundidad presentó una estructura en bloques angulares y subangulares con alto contenido en arcillas al tacto, donde los agregados pueden o no encajar entre sí, ocasionando un sistema de grietas inclinadas, característica típica de horizontes B con contenidos arcillosos medios (Moreno Ramón et al., 2010), sugiriendo que el horizonte puede ser un depósito más antiguo, donde las partículas más finas de arcilla y limo fueron desplazadas hacia horizontes más profundos. Se observó coloraciones pardas y rojizas indicativas de presencia de Fe y fluctuaciones al contenido de humedad, menor presencia de raíces, que pueden ser atribuidos a la cobertura vegetal del suelo predominante del área, ya que al estar compuesta principalmente por pastos de sistemas herbáceos, carece de sistemas radiculares profundos o extensivamente desarrollados; presencia de concreciones de Fe, slickensides (*Imagen No.6*), que indican movimientos diferenciales, en la masa del suelo, causados por una hinchazón no uniforme que provoca fricción entre los agregados al mojarse, designando así, planos lustrosos y estriados (Scalone, 2008) y presencia de moteados de M.O, en virtud de una saturación prolongada con un drenaje parcial, que ocasiona una descomposición desigual de la materia orgánica.



*Imagen No. 6 Presencia de concreciones de Fe y slickensides, calicata No. 1, Parcela No.4*

En el horizonte Bt (t: Acumulación iluvial de arcilla silicatada) con una profundidad de 52cm, se observó una estructura en bloques angulares y subangulares, muy arcillosos al tacto, color negro, mayor plasticidad, capa bastante impermeable del suelo, relacionado con la presencia de concreciones y moteados de Fe en los horizontes superiores y *slickensides*.

**Tabla No. 2 - Propiedades físicas, Calicata No. 1 – Parcela No. 4**

Horizonte	Profundidad cm	Arena	Limo (%)	Arcilla	Clasificación textural	Color	
						SS	SH
A	0-7	29	37	34	Franco Arcilloso	10YR 4/4	10YR 3/3
B <sub>1</sub>	7-48	35	37	28	Franco Arcilloso	10YR 4/4	10YR 3/3
B <sub>t</sub>	48-100	5	25	70	Arcilla	10YR 3/3	2.5Y 2.5/1

*Nota.* SS: suelo seco, SH: suelo húmedo

En la mayoría de la clasificación textural de la Calicata No. 1 – Parcela No. 4, sus horizontes fueron franco arcilloso, los cuales presentan una mezcla equilibrada entre las partículas de arena, limo y arcilla, pero con una mayor proporción de arcilla. El tipo de arcilla predominante, posiblemente identificada, fueron son las arcillas de neoformación, grupo de la montmorillonita, estructuras 2:1 y proceden de la reorganización de elementos de minerales liberados por alteración intensa (Lapuente A., 2008).

Los horizontes A y B<sub>1</sub> presentaron en las muestras de suelo seco un color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) y en muestras con suelo húmedo un color pardo oscuro (10YR 3/3); En el horizonte B<sub>t</sub> la tonalidad del suelo seco fue un pardo oscuro (10YR 3/3), mientras que en suelo húmedo fue un negro rojizo (2.5Y 2.5/1), este cambio se le puede atribuir a una mayor concentración de arcilla, la presencia de hierro y la poca permeabilidad del suelo presente en este horizonte, etc. modificándolo así a una tonalidad más opaca y rojiza.

**Tabla No. 3 - Propiedades químicas, Calicata No. 1 – Parcela No. 4**

Horizonte	pH	Acidez meq H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup> /100g	Al <sup>+3</sup>	M. O	(%)	N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	P	CE
			meq/ 100g	(%)	(%)			meq/100g					ppm			dS/m
A	7.15	0.20	0.00	2.53	0.23	105.07	19.72	0.13	0.26	319.61	2.10	147.97	4.93	6.49	0.06	
	0-7cm															
B1	7.56	0.15	0.00	0.70	0.15	91.35	19.80	0.07	0.42	318.58	1.47	103.07	4.50	3.10	0.04	
	7-48cm															
Bt	7.22	0.20	0.00	1.90	0.20	179.06	19.03	0.06	0.44	236.13	0.45	68.53	0.48	2.91	0.08	
	48-100cm															

Nota. meq/100g: miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo seco, ppm: partes por millón, dS/m: deciSiemens por metro.

El pH mide la concentración del ion Hidrógeno (H<sup>+</sup>) y es uno de los parámetros más importantes del suelo, ya que influye en diferentes factores que repercuten directamente en la fertilidad de suelo (FAO, 2021). Los valores del pH en los horizontes de la calicata No. 1 oscilaron entre 7.15 y 7.56, indicando un pH neutro y alcalino (*Tabla No. 4*) que va en aumento en la transición de los horizontes A-B, pero vuelve a disminuir en el Bt, estos valores pueden ser de referencia para altos niveles de Ca, Mg y deficiencias en la disponibilidad de P, además de otros nutrientes. Estos resultados pueden variar dado que, el pH de un mismo horizonte tiende a bajar en verano y a subir en invierno, producto de las fluctuaciones en invierno por la dilución de los iones H<sup>+</sup> de la disolución del suelo por efecto de las lluvias, y en verano por la producción de ácidos orgánicos debidos a la actividad biológica, que es máxima en esta época del año. La variación estacional alcanza, en general, algunas décimas de unidades de pH (Moreno et al., 2002).

**Tabla No. 4 - Rangos de pH, propiedades químicas**

Reacción del suelo	pH
Muy alcalino	> 8.0
Alcalino	7.4 – 8.0
Neutro	6.5 – 7.3
Ligeramente ácido	6.0 – 6.5
Moderadamente ácido	5.5 – 5.9
Fuertemente ácido	5.0 – 5.4
Extremadamente ácido	< 5

*Nota.* Valores de referencia ICA (1991)

La acidez intercambiable o pH potencial del suelo se refiere a los iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y aluminio ( $Al^{3+}$ ) retenidos en el complejo de intercambio del suelo, es decir, sobre las superficies de los coloides del suelo. Los resultados de este parámetro, bajo titulación indicaron un rango bajo de acidez (*Tabla No.5*) menor de 1.00 meq/100g presente, indicando que hay sobre el complejo una cantidad igual de iones  $H^+$  y los cationes minerales (Soriano, 2018).

**Tabla No. 5 - Rangos de acidez o pH potencial, propiedades químicas**

Acidez	Unidad	Niveles		
		Bajo	Medio	Alto
	meq/100g	< 1.0	1.1 – 3.0	> 3.0

*Nota.* Valores de referencia ICA (1991)

Con la metodología Walkley-Black utilizada para el estudio de materia orgánica fueron extraídos los ácidos fúlvicos y ácidos húmicos que son parte de las sustancias húmicas de los suelos y los resultados del perfil No. 1 tuvo rangos generalmente bajos y medios (*Tabla No. 6*) desde 0.64% hasta 2.53%.

El horizonte A presentó la mayor acumulación de M. O, con un 2.53%, siendo una característica propia de este horizonte al estar formada en la superficie del suelo y en los que la acumulación de materia orgánica humificada está íntimamente asociada a la fracción mineral (Bienes, 2009). Después disminuye en los horizontes B1 a 0.76% y 0.63%, ya que normalmente decrece en forma regular al aumentar la profundidad del perfil, por el menor acceso a residuos orgánicos, actividad microbiana, disponibilidad de oxígeno, etc. E incrementa en el horizonte

Bt debido a que está cubierto de depósitos aluviales e iluviales, ricos en M.O y se preserva parcialmente en mejores condiciones por la lenta descomposición, ante la baja actividad biológica (Jaramillo, 2002).

**Tabla No. 6 - Rangos de materia orgánica M.O, propiedades químicas**

Materia orgánica (M.O)	Unidad	Niveles		
		Bajo	Medio	Alto
	%	< 2.0	2.0 – 3.0	> 3.0

*Nota.* Valores de referencia ICA, según un clima cálido (1991)

Los resultados en el estudio de la calicata No. 1 bajo la metodología de Kjeldahl, que mide el nitrógeno orgánico y mineral del suelo, varían desde rangos altos con un 0.23% (*Tabla No. 7, pág 39*) en el horizonte A, debido a que es un horizonte rico en M.O y actividad biológica, donde el 90-95% total del N del suelo deriva de ello, ya que permite que los microorganismos del suelo puedan capturar (fijar) el  $N_2/N_2O$  y NO gaseoso, que está en la atmósfera y transformarlo en N orgánico, pasando a formar parte de la materia orgánica del suelo, donde mediante el proceso de mineralización pasa a ser N mineral (Soledad Enriquez & Cremona, 2022) y rangos medios (0.14%, 0.16% y 0.20%) (*Tabla No. 7*) en los horizontes subyacentes B1 y Bt, que disminuye de manera directamente proporcional a los niveles de M.O y actividad biológica, pero se presenta un aumento en el %N del horizonte Bt en vista de los incrementos abruptos en el contenido de M.O del suelo (Jaramillo, 2002).

En cuanto a los niveles de los otros macronutrientes primarios, fósforo y potasio, son rangos sumamente pobres en todos sus horizontes (*Tabla No. 7*), puesto que la adsorción de los fosfatos a las partículas de suelo es un proceso de sorción y desorción, donde parte del fosfato lábil está inmovilizándose continuamente y transfiriéndose a la forma lábil, siendo susceptibles a transformaciones rápidas (González, 2011), además, la formación de precipitados de baja solubilidad ( $\text{Al}^+$ ,  $\text{Fe}^+$  y  $\text{Ca}^+$ ) puede disminuir la disponibilidad de estos. En el caso del potasio, Huang & Jin (1996) explica que puede deberse a que la fijación del potasio es débil en arcillas montmorillonitas, las cuales se presume su presencia. Los macronutrientes secundarios del suelo, cationes como el  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , manifestaron predominio en todos los horizontes del perfil, lo cual es común en suelos con arcilla montmorillonita según Torres y García (1991), que estudiando el intercambio  $\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+}$  en presencia de  $\text{Na}^+$ , en suelos montmorilloníticos del Valle del Cauca con alta saturación de  $\text{Mg}^{2+}$ , encontraron indicios de selectividad por el  $\text{Ca}^{2+}$  en la mayoría de los suelos que estudiaron.

Illita	$\text{Al}^{3+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
Caolinita	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Na}^+$
Montmorillonita	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{H}^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+$
Materia orgánica	$\text{Mn}^{2+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+$

*Imagen No. 7 Indicios de selectividad por el  $\text{Ca}^{2+}$  en la mayoría de los suelos montmorillonita (Torres & García, 1991).*

Los contenidos de micronutrientes en el suelo (Fe, Cu, Mn y Zn) mostraron, en general, valores elevados dentro de todo el perfil (*Tabla No.7*). El hierro fue el elemento con más presencia, cuadruplicando el rango más alto, debido a su

estrecho vínculo con las arcillas, formando como resultados nódulos y concreciones (Olmedo P., 1971), que se pudieron observar en la descripción del perfil del suelo (*Imagen No.6*). El cobre obtuvo resultados dentro de los rangos medios y bajos por su antagonismo con otros iones como el hierro, el manganeso que se encuentran en cantidades mayores (INTAGRI, 2020). Los rangos de manganeso fueron altos y se vincula a que la disponibilidad de manganeso aumenta en suelos anegados, debido a la reducción de los óxidos de manganeso (Sela, 2019) y el Zn, presento rangos altos en los horizontes A y B1, siendo la única excepción el horizonte Bt. Esta disminución del Zn en dicho horizonte según menciona Cakmak (1987) podría estar relacionada con el mayor contenido de arcilla presente, en comparación con los horizontes superiores.

**Tabla No. 7 - Rangos de nutrientes, propiedades químicas**

Elemento	Símbolo	Unidades	Niveles		
			Bajo	Medio	Alto
Nitrógeno	N	%	< 0.10	0.10 – 0.20	> 0.20
Calcio	Ca	meq/100g	< 3	3 – 6	> 6
Magnesio	Mg		< 1.5	1.5 – 2.5	> 2.5
Potasio	K		< 0.20	0.20 – 0.40	> 0.40
Sodio	Na		Su contenido debe ser < 1		
Hierro	Fe	ppm	< 25.0	25.0 – 50.0	> 50.0
Cobre	Cu		< 1.0	1.0 – 3.0	> 3.0
Manganeso	Mn		< 5.0	5.0 – 10.0	> 10.0
Zinc	Zn		< 1.50	1.50 – 3.0	> 3.0
Fosforo	P		< 15.0	15.0 – 30.0	> 30.0

*Nota.* Valores de referencia adaptados de ICA, 1991

Los rangos de C.E dentro del perfil de suelo No.1, indicaron que no son salinos en ninguno de sus horizontes (*Tabla No. 8*) y se puede corroborar con los niveles de Na en los análisis de nutrientes. Esto indica una buena dilución y unión del agua por solutos disueltos en ella dentro del suelo, puesto que la concentración salina controla el potencial osmótico ( $\Psi\pi$ ) de la solución del suelo y de las aguas de riego (Can-Chulim, et al. 2014) y este dato es así aprovechado mediante la relación existente entre concentración de sales-presión osmótica-conductividad, debido a que las medidas de presión osmótica son difíciles de efectuar, por lo que se utiliza la C.E como un método de análisis simple que permita detectar rápidamente problemas de salinidad en suelos.

**Tabla No. 8 - Rangos de C.E, propiedades químicas**

Conductividad eléctrica (C.E)	Unidad	Niveles				
		No salino	Ligeramente Salino	Moderadamente Salino	Salino	Extremadamente Salino
	dS/m	0 – 2	3 – 4	4 – 8	8 – 16	> 16

*Nota.* (FAO, 2009)

## Primera aproximación de las características evaluadas

Calicata No. 2 – Parcela No. 4

Fecha: 22 de julio de 2024

Clave taxonómica utilizada:

Soil Taxonomy – USDA

FAO

Breve descripción:

Tipo de suelo: Mineral

Horizonte diagnóstico: Argílico

Características de diagnóstico: Tiene un porcentaje significativamente mayor de arcilla que el material del suelo suprayacente a partir de los 12cm.

Localización

Ubicación: Cañita de Chepo, República de Panamá

Altitud:

Coordenadas geográficas: (DATUM WGS 84 ZONA 17 N): 736471.07,  
1018935

Factores de formación

1. Forma del terreno: planicie (LP)
2. Pendiente donde se tomó el perfil: 5%

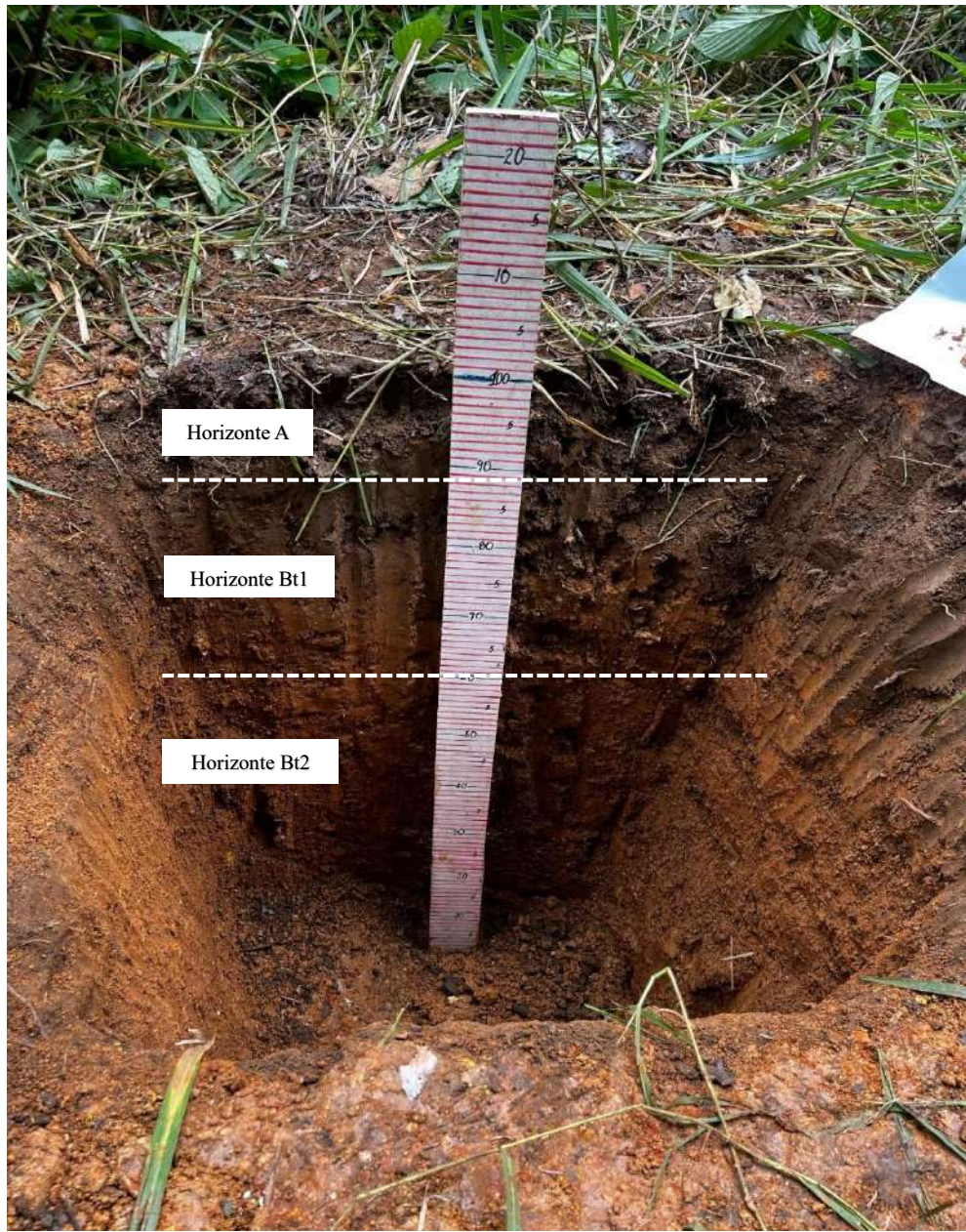
3. Vegetación o uso de la tierra: Pradera mediana (HM), pasto natural y malezas

4. Clima: Tropical de sabana (Aw)

**Tabla No. 9 - Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados, Calicata No. 2 – Parcela No. 4**

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0-12cm	Presenta una estructura migajosa y en bloque, coloración pardo oscuro, abundante presencia de raíces y presencia de macroinvertebrados como gusanos.
Bt1	12-40cm	Presenta una estructura en bloques grandes, presencia de concreciones de Fe, moteados de M.O, coloración pardo claro y mayor contenido de arcillas.
Bt2	40-100cm	Presenta una estructura en bloques subangulares que tiende a ser migajosa, concreciones de Fe y presencia de carbonatos de Ca, suelo arcilloso algunos moteados de M.O y coloración pardo claro

*Nota.* Tabla elaborada con los datos recolectados en campo.



*Imagen No. 8 Calicata No. 2 – Parcela No. 4*

En la elaboración del perfil del suelo de la calicata No. 2 realizada en la sección media de la parcela No. 4, se pudieron observar 3 horizontes, de los cuales todas sus formas y disposición de los agregados fueron en bloques, grandes y subangulares, que rompen a migajosa en el último horizonte, característica típicamente usual en los horizontes de suelos arcillosos.

En características más individuales de cada uno se pudo contemplar que el horizonte A presentó una abundante presencia de raíces y macroinvertebrados, como gusanos y una coloración pardo oscuro, atribuyéndose todas estas a la mayor cobertura vegetal y poca intervención del área de muestreo; En el horizonte Bt1 tuvo un mayor contenido de arcillas y al igual que el Bt2 se presentaron concreciones de Fe, moteados de M.O y coloración pardo claro, con la distintiva característica que en el horizonte Bt2 había presencia de carbonatos de Ca, los cuales son carbonatos secundarios o pedogénicos, neoformados mediante la precipitación de  $\text{HCO}_3$ , durante los ciclos de secado y humectación en suelos no ácidos que contienen cationes de  $\text{Ca}^{+2}$  o  $\text{Mg}^{+2}$  disueltos (Lopez-Sangil et al., 2013).



*Imagen No. 9 Estructura Bt2, Calicata No. 2 – Parcela No. 4  
Estructura en bloques subangulares que tiende a ser migajosa*

**Tabla No. 10 - Propiedades físicas, Calicata No. 2 – Parcela No. 4**

Horizonte	Profundidad cm	Arena	Limo Arcilla		Clasificación textural	Color	
			(%)			SS	SH
A	0-12	41	34	25	Franco	10YR 4/4	10YR 3/2
Bt1	12-40	33	21	46	Arcilla	10YR 5/6	10YR 4/4
Bt2	40-100	33	18	49	Arcilla	10YR 5/6	10YR 3/6

*Nota.* SS: suelo seco, SH: suelo húmedo

En las propiedades físicas de la calicata No. 2, su clasificación textural es predominante la arcilla, excepto el horizonte A, que destaca por presentar una estructura franca, en la que presenta un mejor equilibrio entre sus separados.

Los horizontes presentaron una colorimetría muy marcada en cuanto a la diferencia de suelos maestros. En muestras de suelo seco del horizonte A se obtuvo un color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) y en suelo húmedo un pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), mientras que en las muestras de suelo seco de los horizontes Bt1 y Bt2 un pardo amarillento (10YR 5/6), que son diferenciados en las muestras de suelo húmedo Bt1 - pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) y Bt2 - pardo amarillento oscuro (10YR 3/6).

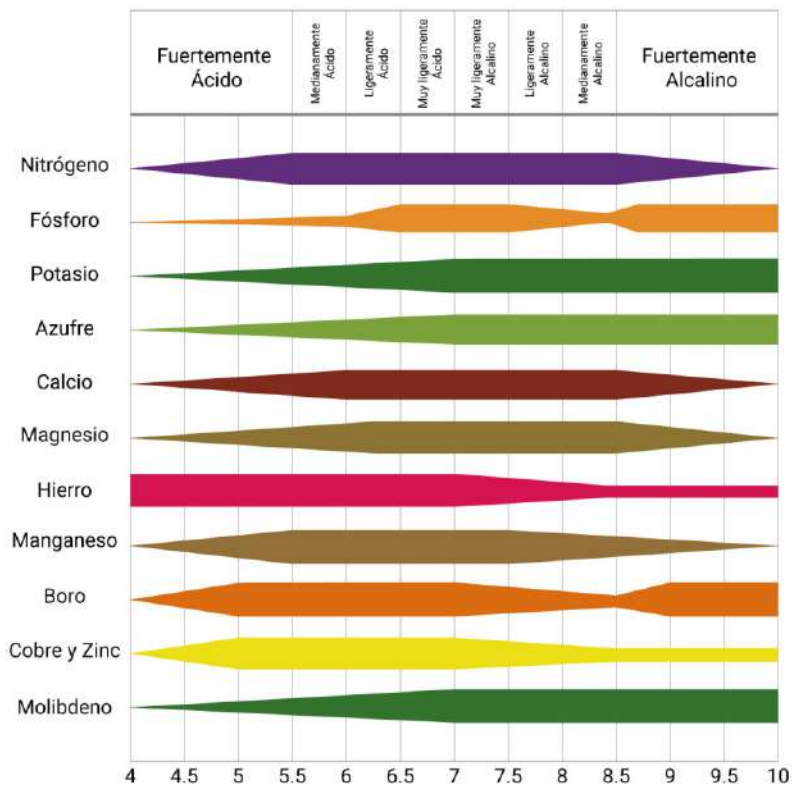
**Tabla No. 11 - Propiedades químicas, Calicata No. 2 – Parcela No. 4**

Horizonte	pH	Acidez		Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	P	CE
		meq H <sup>+</sup> / 100g Al <sup>+3</sup>	meq / 100g										
A	6.11	0.10	0.00	52.67	13.80	0.15	0.18	297.75	0.27	107.04	21.95	5.08	0.07
0-12cm													
Bt1	6.72	0.20	0.00	35.39	8.23	0.3	0.27	120.65	0.25	21.75	0.40	2.33	0.04
12-40cm													
Bt2	5.79	0.20	0.00	28.40	7.37	0.2	0.19	64.31	0.22	8.32	0.47	1.83	0.04
40-100cm													

*Nota.* meq/100g: miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo seco, ppm: partes por millón, dS/m: deciSiemens por metro.

Los resultados del pH del perfil No.2, oscilaron entre 5.79 y 6.72, indicando rangos ligeramente ácidos, neutros y moderadamente ácidos (*Tabla No. 4*).

Ligeramente ácidos (Horizonte A - 6.11), que son la condición adecuada para la disponibilidad de nutrientes suelo-planta (*Imagen No. 10*); neutros (Horizonte Bt1 – 6.72) que tienden a tener altos niveles de Ca, Mg y moderadamente ácidos (Horizonte Bt2 – 5.79) donde no se espera la toxicidad por Al, pero si una mayor disponibilidad de bases (Osorio, 2012).



*Imagen No. 10 Disponibilidad de nutrimentos respecto al pH del suelo Castellanos, 2000*

En los resultados de acidez del suelo de la calicata No. 2, en la capa superficial del horizonte A el valor fue bajo, mientras que los horizontes adyacentes fueron medios (*Tabla No. 5*)

Los macronutrientes primarios (N, P, K) presentaron rangos generalmente bajos en sus horizontes y medios en el caso del horizonte A en cuanto al %N, lo cual está ligado directamente a los niveles de M.O, actividad biológica, etc. Observándose una dinámica similar a la observada en la Calicata No. 1 en los contenidos nutricionales en términos generales, lo cual también repercutió en los valores de fósforo y potasio, por motivos como la sorción y desorción de la forma lábil de los fosfatos, presencia de precipitados de baja solubilidad ( $Al^+$ ,  $Fe^+$  y  $Ca^+$ ) y composición de arcillas montmorillonitas, de las cuales se presume su presencia y que de manera conjunta limitan en gran medida el contenido y desarrollo de estos nutrientes en el suelo; El comportamiento de los macronutrientes secundarios (Ca, Mg), mostraron preponderancia general en todos los horizontes del perfil, que se asume es común en suelos con arcilla montmorillonita. En la mayoría los micronutrientes del suelo (Fe, Cu, Mn, Zn) de la calicata No. 2, también se observó una dinámica similar a la obtenida en la calicata No. 1, ya que el hierro nuevamente resalta por su alta concentración en los valores de los análisis realizados, debido a su estrecha relación con las arcillas, lo que explica la presencia de nódulos y concreciones observadas durante el muestreo del perfil. El cobre obtuvo resultados bajos en todos sus horizontes por su antagonismo con otros iones como el Fe y Mn presentes en cantidades mayores. Los rangos de manganeso fueron altos y medios. El único elemento con una dinámica y

comportamiento diferente fue el Zn, ya que en comparación con los resultados de la calicata No.1, en la No. 2 presentó rangos bajos en todos sus horizontes, debido a que respecta un cambio en composición textural del suelo, con más agregados de arcilla según menciona Cakmak (1987).

Los rangos de C.E dentro del perfil de suelo No.2, indicaron que no son salinos en ninguno de sus horizontes (*Tabla No. 8*), señalando un buen potencial osmótico ( $\Psi\pi$ ) de la solución del suelo y de las aguas de riego (Can-Chulim et al., 2014).

## Primera aproximación de las características evaluadas

Calicata No. 3 – Parcela No. 3A

Fecha: 23 de julio de 2024

Clave taxonómica utilizada:

Soil Taxonomy – USDA

FAO

Breve descripción:

Tipo de suelo: Mineral

Horizonte diagnóstico: Argílico

Características de diagnóstico: Aumento significativo de arcilla en horizontes subyacentes a partir de los 10cm, que indican iluviación.

Además de incremento en la retención de cationes de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , con una disminución del pH en profundidad y un aumento en la acidez.

Localización

Ubicación: Cañita de Chepo, República de Panamá

Altitud:

Coordenadas geográficas: (DATUM WGS 84 ZONA 17 N): 736362.54,  
1018702

Factores de formación

1. Forma del terreno: planicie (LP)

2. Pendiente donde se tomó el perfil: 4%

3. Vegetación o uso de la tierra: Pradera mediana (HM), pasto natural y malezas

4. Clima: Tropical de sabana (Aw)

**Tabla No. 12 - Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados, Calicata No. 3 – Parcela No. 3A**

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0-10cm	Presenta una estructura en bloques que rompe a migajoso, color pardo oscuro, presencia de concreciones de hierro, presencia de raíces y macrofauna edáfica (lombrices).
Bt1	10-30cm	Presenta una estructura en bloques, con concreciones de Fe, moteados de M.O y coloración pardo claro
Bt2	30-100cm	Presenta una estructura en bloques, con condiciones de gleyzación, presencia de concreciones de Fe, moteados gley, capa bastante impermeable, color pardo claro con moteados.

*Nota.* Tabla elaborada con los datos recolectados en campo.

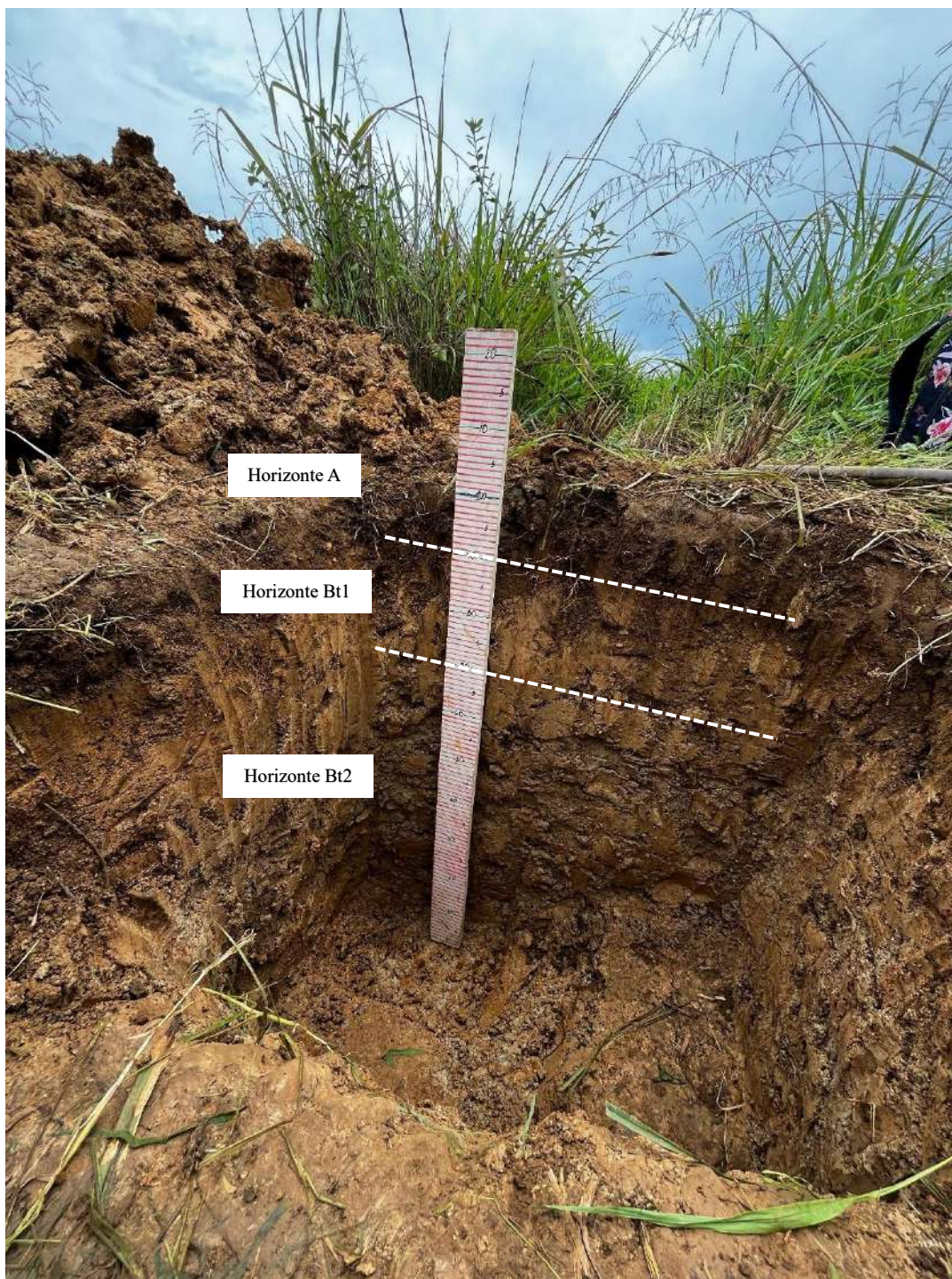


Imagen No. 11 Calicata No. 3 – Parcela No. 3A

El horizonte A, con un a profundidad de 10cm presentó una estructura en bloques que rompe a migajoso, color pardo oscuro, gran presencia de raíces y macrofauna edáfica (lombrices), las cuales intervienen de manera positiva modificando la estructura del suelo y en los procesos de descomposición de la materia orgánica y reciclado de nutrientes (Edwards y Bohlen, 1996). El horizonte Bt1, con un desarrollo de 20cm de profundidad, mostró una estructura en bloques, presencia de concreciones de Fe, moteados de M.O y una coloración pardo claro. El horizonte Bt2, con un desarrollo de 70cm de profundidad y el más profundo, presentó una estructura en bloques, con condiciones de gleyzación, los cuales comprenden la reducción y segregación o eliminación del Fe en condiciones anaeróbicas que han sido causadas por saturación de agua, provocando una coloración azul-grisácea, que da lugar al gley (Ramón, 2019), en este caso fueron observados moteados de gley; presencia de concreciones de Fe; capa bastante impermeable y una colorimetría pardo claro con moteados.



*Imagen No. 12 Estructura Bt2, Calicata No. 3 – Parcela No. 3A, Estructura en bloques*

**Tabla No. 13 - Propiedades físicas, Calicata No. 3 – Parcela No. 3A**

Horizonte	Profundidad cm	Arena	Limo Arcilla		Clasificación textural	Color	
				(%)		SS	SH
A	0-10	29	37	34	Franco Arcilloso	10YR 4/4	10YR 3/3
Bt1	10-30	35	26	39	Franco Arcilloso	10YR 5/4	10YR 4/4
Bt2	30-100	12	16	72	Arcilloso	10YR 6/6	10YR 5/6

*Nota.* SS: suelo seco, SH: suelo húmedo

En la mayoría de la clasificación textural de la Calicata No. 3 – Parcela No. 3A, sus horizontes fueron franco arcilloso, los cuales presentan una mezcla equilibrada entre las partículas de arena, limo y arcilla, pero con una mayor proporción de arcilla. Exceptuando el horizonte Bt2, con una mayor composición arcillosa, que es representada por un 70%.

El horizonte A presentó en la muestra de suelo seco un color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) y en muestras con suelo húmedo un color pardo oscuro (10YR 3/3); el horizonte Bt1 en suelo seco un color pardo amarillento (10YR 5/4) y en la muestra de suelo húmedo un color pardo oscuro (10YR 3/3) y el horizonte Bt2 en suelo seco – amarillo pardusco (10YR 6/6), mientras que en suelo húmedo un pardo amarillento (10YR 5/6).

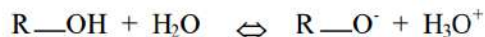
**Tabla No. 14 - Propiedades químicas, Calicata No. 3 – Parcela No. 3A**

Horizonte	pH	Acidez meq H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup> /100g	M. O	(%)	N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	P	CE
				(%)			meq/100g					ppm			dS/m
A	5.90	0.10	0.00	3.57	0.30	53.62	10.18	0.06	0.27	334.25	4.75	168.65	1.70	2.19	0.05
0-10cm															
Bt1	6.18	0.20	0.00	1.53	0.19	39.83	11.83	0.03	0.51	257.58	1.91	131.63	0.62	1.00	0.04
10-30cm															
Bt2	6.27	5.40	4.56	0.64	0.01	26.40	14.35	0.04	1.14	92.30	0.27	33.53	0.64	0.63	0.02
30-100cm															

Nota. meq/100g: miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo seco, ppm: partes por millón, dS/m: deciSiemens por metro.

Los resultados del pH del perfil de la calicata No.3, variaron entre 5.90 y 6.27, indicando rangos de ligeramente a moderadamente ácidos (*Tabla No. 4*).

En el horizonte A, con una acidez moderada de 5.90, según Fassbender (1982) se puede atribuir a las moléculas orgánicas del suelo, puesto que presentan en su periferia radicales activos de carboxílicos y fenólicos, que son fuente de protones al disociarse de acuerdo con las reacciones (R representa el resto de la molécula orgánica):



Los rangos de pH ligeramente ácidos (Horizonte Bt1 – 6.72 y Horizonte Bt2 – 6.27) optimiza el suministro de bases, de manera que es aprovechable en beneficio de la relación suelo-planta (Jaramillo, 2002).

La acidez del suelo tuvo rangos bajos (0.10 - 0.20) y altos (5.40) (*Tabla No. 5*), siendo la capa del horizonte A el valor más bajo, seguido por el Bt2 que mostró un leve incremento. Estos rangos no tienen un impacto considerable en lo que respecta a una posible toxicidad por acidez; no obstante, en el horizonte adyacente Bt2 donde aumenta considerablemente, sí tiene un efecto notable.

Si comparamos los datos del pH Bt2, que indican un valor ligeramente ácido de 6.27, con los resultados de la acidez titulable del mismo, se evidencia una discrepancia (*Imagen No. 13*) (Espinosa & Molina, 1999). La acidez del suelo ocurre cuando una arcilla saturada de H<sup>+</sup>, producto del reemplazo de los iones de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> de los sitios de intercambio, no resulta estable y la red cristalina

colapsa, liberando  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$  (Zapata Hernández, 2004), pero en el caso del horizonte Bt2 ocurre aún en ausencia del colapso, por medio de una reserva de acidez, ya que de igual manera estos iones pasan a la solución del suelo y los sitios de intercambio, donde son adsorbidos en los coloides arcillosos, lo cual explica que aunque el pH no haya descendido drásticamente, el  $\text{Al}^{3+}$  puede encontrarse en equilibrio con sus formas hidroxiladas, lo cual está reflejado en la Imagen No. 13; pero, si se llegase a alterar la carga variable de dicha estabilidad química, podría acidificar aún más el pH.

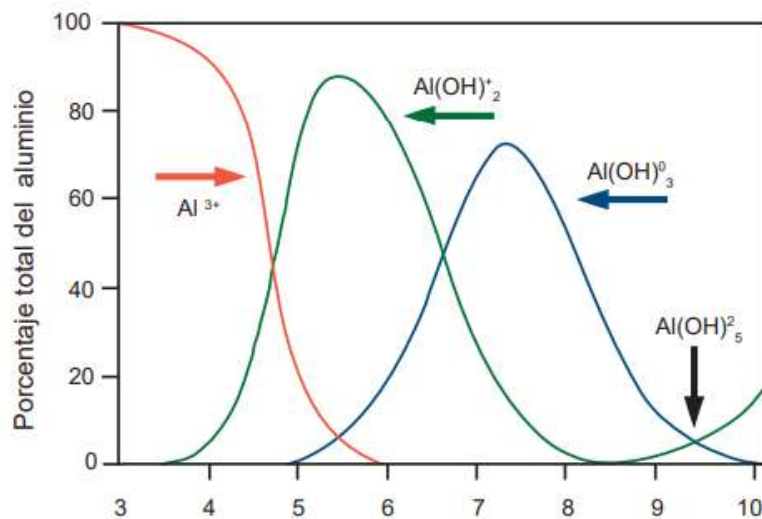


Imagen No. 13 Distribución porcentual de las formas de Al en una solución de acuerdo con el pH (Espinosa & Molina, 1999)

La materia orgánica del suelo en el horizonte A obtuvo el mayor contenido con un 3.57%, en contraste con los horizontes Bt1 y Bt2 que mostraron valores más bajos, los cuales disminuyen progresivamente con la profundidad.

El %N alcanzo un nivel alto en el horizonte A con un 0.30%, que disminuye en el Bt1 a un rango bajo de 0.19% y es casi inexistente en un 0.01% en el Bt2, ya que no cuenta con una fuente de nitrógeno disponible (materia orgánica y actividad microbiana) para ser mineralizado. Los rangos de fosforo y potasio, por motivos como la sorción y desorción de la forma lábil de los fosfatos, presencia de precipitados de baja solubilidad y composición de arcillas, obtuvieron valores muy pobres (P: <15.0 ppm, K: <0.20 meq/100g) (*Tabla No. 7*), ya que por los motivos anteriormente mencionados limitan la presencia de estos nutrientes en el suelo. La disponibilidad de los macronutrientes calcio y magnesio mostraron predominio general en todos los horizontes del perfil, el calcio con valores mayores de 26.40 meq/100g y el magnesio con valores mayores de 10.18 meq/100g, sobrepasando los rangos alto nivel (Ca: > 6, Mg: >2,5) (*Tabla No. 7*). En los micronutrientes del suelo (Fe, Cu, Mn, Zn), el hierro y manganeso presentaron altas concentraciones en los valores de los análisis realizados (Fe: > 50.0, Mn: > 10.0) (*Tabla No. 7*), debido a la adsorción de las arcillas y los coloides del suelo, que contribuyen a su mayor retención y actúan como superficies reactivas, que fueron observadas con la presencia de las concreciones de Fe vistas durante el muestreo del perfil. El cobre obtuvo resultados altos (4.75 ppm), medios (1.91 ppm) y bajos (0.27 ppm) (*Tabla No. 7*), que disminuyen consecutivamente aumenta la profundidad de los horizontes a causa de su antagonismo con otros iones con concentraciones mayores. Los rangos del Zn presentaron rangos de medios a bajos, conforme aumentaba la profundidad, que a su vez también presencia de agregados de arcillas en la estructura de los horizontes.

Los valores de C.E dentro del perfil fueron bajos indicando que no es un suelo salino en ninguno de sus horizontes (*Tabla No. 8*), independientemente del aumento comparativo de cationes de sodio en el horizonte Bt2.

## Primera aproximación de las características evaluadas

Calicata No. 4 – Parcela No. 3B

Fecha: 23 de julio de 2024

Clave taxonómica utilizada:

Soil Taxonomy – USDA

FAO

Breve descripción:

Tipo de suelo: Mineral

Horizonte diagnóstico: Argílico

Características de diagnóstico: Aumento significativo de arcilla en horizontes subyacentes a partir de los 10cm. Además de un incremento en la retención de cationes de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , disminución del pH en profundidad y un aumento en la acidez.

Localización

Ubicación: Cañita de Chepo, República de Panamá

Altitud:

Coordenadas geográficas: (DATUM WGS 84 ZONA 17 N): 736207.52,  
1018889

Factores de formación

1. Forma del terreno: planicie (LP)

2. Pendiente donde se tomó el perfil: 4%

3. Vegetación o uso de la tierra: Pradera mediana (HM), pasto natural y malezas

4. Clima: Tropical de sabana (Aw)

**Tabla No. 15 - Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados, Calicata No. 4 – Parcela No. 3B**

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0-10cm	Presenta una estructura en bloques que rompe a migajoso, color pardo oscuro, presencia de raíces, moteados de M.O y Fe y macrofauna edáfica (lombrices).
BT1	10-30cm	Presenta una estructura en bloques subangulares, presentó un aumento del contenido de arcilla al tacto, moteados de M.O y concreciones de Fe.
BT2	30-100cm	Presenta una estructura en bloques subangulares, presentó un aumento del contenido de arcilla al tacto (más que en el horizonte anterior) evidencia de gleyzación y concreciones de Fe. Capa altamente impermeable.

*Nota.* Tabla elaborada con los datos recolectados en campo.



*Imagen No. 14 Calicata No. 4 – Parcela No. 3B*

El horizonte A, con una profundidad de 10cm presentó una estructura en bloques que rompe a migajoso, color pardo oscuro, gran presencia de raíces y macrofauna edáfica (lombrices), las cuales intervienen de manera positiva modificando la estructura del suelo y en los procesos de descomposición de la materia orgánica y reciclado de nutrientes (Edwards y Bohlen, 1996). El horizonte Bt1, con un desarrollo de 20cm, mostró una estructura en bloques subangulares, presentó un aumento del contenido de arcilla al tacto, moteados de M.O y concreciones de Fe. El horizonte Bt2, con una profundidad de 70cm desarrollados, presentó una estructura en bloques subangulares, mostró un aumento en el contenido de arcilla

al tacto (más que en el horizonte anterior) y se registró la presencia de concreciones de Fe y gleyzación, al igual que una capa altamente impermeable.



Imagen No. 15 Estructura Bt2, Calicata No. 4 – Parcela No. 3B  
Estructura en bloques subangulares y concreciones de Fe

**Tabla No. 16 - Propiedades físicas, Calicata No. 4 – Parcela No. 3B**

Horizonte	Profundidad cm	Arena	Limo (%)	Arcilla	Clasificación textural	Color	
						SS	SH
A	0-10cm	36	39	25	Franco	10YR 4/4	10YR 3/4
BT1	10-30cm	17	26	57	Arcilla	10YR 5/6	10YR 4/6
BT2	30-100cm	10	19	71	Arcilla	10YR 6/6	10YR 5/6

*Nota.* SS: suelo seco, SH: suelo húmedo

La clasificación textural de arcilla predomina en la Calicata No. 4 – Parcela No. 3B, exceptuando el horizonte A, con una composición franca, considerada la ideal

para la producción agrícola por su capacidad productiva, por su mezcla equilibrada entre las partículas de arena, limo y arcilla.

Las muestras del horizonte A en suelo húmedo y seco presentaron un color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4 – 10YR 3/4); el horizonte Bt1 en suelo seco un color pardo amarillento (10YR 5/4) y en la muestra de suelo húmedo un color pardo amarillento oscuro (10YR 4/6) y el horizonte Bt2 en suelo seco – amarillo pardusco (10YR 6/6), mientras que en suelo húmedo un pardo amarillento (10YR 5/6).

**Tabla No. 17 - Propiedades químicas, Calicata No. 4 – Parcela No. 3B**

Horizonte	pH	Acidez meq H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup> /100g	Al <sup>+3</sup> meq/100g	M. O (%)	N (%)	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	P	CE
							meq/100g					ppm			dS/m
A	5.55	0.30	0.00	2.42	0.21	30.35	8.50	0.08	0.13	263.50	2.06	160.03	1.60	4.56	0.04
0-10cm															
Bt1	6.40	0.20	0.00	1.02	0.15	45.96	11.03	0.04	0.82	89.31	0.30	44.07	0.66	0.71	0.04
10-30cm															
Bt2	5.23	4.40	3.80	0.51	0.11	27.13	11.49	0.03	1.27	128.08	0.50	15.58	0.29	0.65	0.04
30-100cm															

*Nota.* meq/100g: miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo seco, ppm: partes por millón, dS/m: deciSiemens por metro.

Los resultados del pH de la calicata No.4, variaron entre 5.23 y 6.40, indicando rangos ligeros (6.40), moderados (5.55) y fuertemente ácidos (5.23). Observándose una dinámica similar a la representa en los valores de la calicata No. 3.

En la acidez del suelo del perfil, fueron establecidos rangos bajos menores de 1 meq/100g (0.20, 0.30) y altos (4.40) (*Tabla No. 5*). La capa del horizonte Bt1 obtuvo el valor más bajo, seguido del horizonte A, con una acidez que no representa toxicidad; sin embargo, en suelos más profundo del horizonte subyacente Bt2, se presenta un alto índice de acidez. Esta variabilidad en los resultados igualmente se presentó en la calicata No. 3, con la desavenencia de que esta vez si se es reflejado en los niveles de pH lo cual establece que las bases de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  fueron sustituidas por  $H^+$ , colapsando los coloides arcillosos del suelo, liberando  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  y  $Fe^{3+}$  y como resultado se produjo la acidez presente por presencia de  $Al^{3+}$  (Imagen No.13).

La materia orgánica del suelo en el horizonte A obtuvo el mayor contenido con un 3.57%, con un rango medio, que decrecen paulatinamente en los horizontes Bt1 y Bt2 con 1.02% y 0.51%, a medida en que se incrementa la profundidad.

El %N alcanza un nivel alto en el horizonte A con un 0.30%, que disminuye en el Bt1 y Bt2 a un rango medio (0.15%, 0.11%), correspondiente a la poca presencia de las fuentes existente de nitrógeno. Los rangos de fósforo y potasio obtuvieron valores muy pobres (P: <15.0 ppm, K: <0.20 meq/100g) (*Tabla No. 7*), ya que por los motivos como el mermado lábil de los fosfatos, acidez y arcillas, la presencia de sus concentraciones disminuye. (González, 2011), La disponibilidad de los

macronutrientes calcio y magnesio mostraron predominio general en todos los horizontes del perfil, el calcio con valores mayores de 27.13 meq/100g y el magnesio con valores mayores de 8.50 meq/100g, sobrepasando los rangos alto nivel (Ca: > 6, Mg: >2,5) (*Tabla No. 7*). Los análisis de micronutrientes en el suelo revelaron un comportamiento similar a los anteriores vistos en los diferentes perfiles, como concentraciones elevadas de hierro y manganeso, que son visibles en las concreciones de Fe descritas. El cobre y el zinc obtuvieron valores altos en los horizontes superficiales, que disminuyen a medida que se desarrollan los horizontes subyacentes, en virtud de su oposición en presencia de otros iones con concentraciones mayores.

Al igual que en la calicata No.3, que también presentaba un aumento comparativo de sodio en el horizonte Bt2, no representaba una alerta en los valores de C.E dentro del perfil puesto que los resultados indicaron que no es un suelo salino (*Tabla No. 8*).

## Permeabilidad

Los resultados de permeabilidad del suelo bajo la metodología establecida por la FAO, fueron evaluadas en base a la tabla de clasificación de permeabilidad propuesta por Cisneros (2003), donde se procedió a comparar y analizar los resultados de cada una de las muestras tomadas:

**Tabla No. 18 - Permeabilidad de las calicatas CEIAPE**

# de Muestra	Resultados obtenidos (cm/hr)
Calicata No. 1	0
Calicata No. 2	8
Calicata No. 3	0
Calicata No. 4	0

Los resultados de permeabilidad realizados en la calicata No. 1, parcela No. 4, parte baja, calicata No. 3, parcela No.3A y calicata No. 4, parcela No. 3B manifestaron una permeabilidad de 0 cm/hr, la cual indica Cisneros (2003) una velocidad muy lenta (*Tabla No. 19*). La permeabilidad se le es atribuida en su gran mayoría a la estructura del suelo, es decir sus agregados, ya que la distribución que presente la fase sólida determina el espacio que queda disponible para las otras dos fases de éste: la líquida y la gaseosa (*Tabla No. 20*). En estos casos, a los 70 cm de profundidad donde fueron realizadas las pruebas, eran horizontes Bt2 y Bt, con clasificación textural donde se deduce una predominancia de las arcillas del grupo de la montmorillonita, estructuras 2:1, suelo con características

expansivas. Si en el suelo hay cantidad considerable de coloides expansibles, a medida que el suelo se va humedeciendo, se van reduciendo el tamaño de los poros, aumentando la fricción del agua en ellos y por tanto aumentando la dificultad para su movimiento, lo cual reduce, a su vez, la permeabilidad (Jaramillo, 2002). Tomando en cuenta como causa que, en las áreas planas, donde fueron realizadas las pruebas, el escurrimiento superficial del agua es lento o no se presenta y causan una retención de líquidos de manera prolongada, donde el suelo queda sometido a encharcamientos y a largos períodos de saturación con agua.

En la calicata No. 2, parcela No,4 la permeabilidad fue relativamente rápida con 8cm/hr, ya que a pesar de poseer la misma clasificación textural arcillosa, al ser realizada en la sección media de la parcela, con un relieve más pronunciado, posee una mayor ventaja en la permeabilidad del suelo, debido a que su contenido de agua no llega a saturar o aumentar la humedad, estableciendo una mejor infiltración en el mismo, por su mayor grado de escurrimiento que se da y dirige a la parte baja, como es el caso de la calicata No. 1.

**Tabla No. 19 - Clasificación de la permeabilidad**

Velocidad	Permeabilidad (cm/hr)
Muy Lenta	Menos de 0,15
Lenta	0,15 a 0,50
Relativamente Lenta	0,5 – 2,0
Moderada	2,0 – 6,5
Relativamente Rápida	6,5 – 15,0
Rápida	15 a 25
Muy Rápida	Más de 25

Fuente: Cisneros (2003).

**Tabla No. 20 - Relación textura del suelo con la permeabilidad**

Textura del suelo	Permeabilidad
Franco arcilloso y arcilloso	Bajo
Franco limoso	Bajo a moderadamente bajo
Franco arenoso	Moderado a moderadamente bajo
Arena gruesa	Moderadamente rápida a rápida

Fuente: Absalon V. (2000).

## 4.2 Parcelas bajo estudio

**Tabla No. 21** - *Propiedades físicas, Parcelas*

Parcela	Arena	Limo	Arcilla	Clasificación textural	Color	
	(%)				SS	SH
No. 3A	17	20	63	Arcilla	10YR 4/1	10Y5 2/2
No. 3B	42	34	25	Franco	10YR 4/6	10YR 2/1
No. 4	16	26	59	Arcilla	10YR 4/2	10YR 2/2

*Nota.* SS: suelo seco, SH: suelo húmedo

Los resultados texturales de las propiedades físicas de las parcelas No. 3A-B y No. 4, fueron en su mayoría arcillosas, que dan lugar a suelos plásticos y difíciles de trabajar, retienen gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la microporosidad y a su elevada capacidad de intercambio catiónico y una textura franco arcillosa, la cual representa una mezcla equilibrada entre las partículas de arena, limo y arcilla, aportando así todos los beneficios de los agregados, pero con una mayor proporción de arcilla.

Los resultados de color bajo la metodología de Munsell indicaron en la parcela No. 3A una colorimetría gris oscuro (10YR 4/1) en suelo seco y en suelo húmedo un color negro (10YR 2/1); en la parcela No. 3B un color pardo amarillento oscuro (10YR 4/6) y pardo oscuro (10YR 3/3) en suelo húmedo; mientras que, la parcela No. 4 pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) y en suelo húmedo marrón muy oscuro (10YR 2/2).

**Tabla No. 22 - Propiedades físicas, Parcelas**

Parcela	Da	Dr	Porosidad	LL	LP	IP
	g/cm <sup>3</sup>		(%)		(%)	
No. 3A	1.01	2.22	54.86	48.45	32.70	15.74
No. 3B	1.40	2.53	44.85	27.23	19.75	7.49
No. 4	0.68	2.25	69.68	43.93	25.12	18.80

*Nota. Da: Densidad aparente, Dr: Densidad real, LL: Limite líquido, LP: limite plástico, IP. índice de plasticidad*

La densidad aparente es un valor extraordinario, que ayuda a conocer las condiciones del estado físico del suelo, puesto que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad del suelo (Foth, 1987). Los valores de densidad aparente oscilaron en clasificaciones muy bajas en la parcela No. 4, bajas en la parcela No. 3A y medias en la parcela No.3B, (*Tabla No.23*). Siendo la estructura de los suelos la propiedad que está estrechamente relacionada a ella e interfiere de manera directa (*Tabla No. 24*).

**Tabla No. 23 - Clasificación de la densidad aparente en los suelos**

Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Clasificación
<1.0	Muy bajo
1.00 - 1.20	Bajo
1.20 - 1.45	Medio
1.45 - 1.60	Alto
>1.60	Muy alta

Fuente: Clairo (1995).

**Tabla No. 24 - Densidad aparente según la textura**

Textura	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Arenas	1.60 a 1.70
Francos	1.30 a 1.40
Arcillas	1.00 a 1.20
Suelos orgánicos	0.70 a 1.00

Fuente: Pritchett (1990).

Densidades aparentes muy bajas y bajas indican que pueden ser beneficiosas para la retención de agua y aireación, pero también puede indicar falta de compactación o estabilidad; mientras que, la densidad media es común en suelos francos y refiere un equilibrio entre porosidad y compactación.

La densidad real brinda una orientación sobre el grado de desarrollo de los suelos; también, para conocer la relación entre la parte mineral y orgánica (Cairo, 1995). Los resultados de densidad real variaron en un rango de clasificación muy bajas en las parcelas No. 3A y No. 4; mientras que, en la parcela No. 3B baja (*Tabla No. 25*). Los rangos muy bajos y bajos indican la presencia de partículas muy ligeras

o porosas internamente, como lo es la arcilla, al igual que partículas compuestas por una densidad típica para muchos minerales comunes, etc.

**Tabla No. 25 - Clasificación de la densidad real de los suelos**

Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	Clasificación
< 2.4	Muy bajo
2.4 - 2.60	Bajo
2.60 - 2.80	Medio
>2.80	Alto

Fuente: Clairo (1995).

La porosidad del suelo se refiere a todo el espacio que no está ocupado por fracciones sólida, mineral u orgánica; diferentemente si éste está ocupado por agua o por aire en el momento del muestreo. Los porcentajes de porosidad varían en rangos bajos (Parcela No. 3B - 44.85), medio (Parcela No. 3A - 54.86) y altos (Parcela No. 4 - 69.68) (*Tabla No. 26*).

Los rangos bajos indican compactación del suelo, drenaje inadecuado, encharcamientos, etc. y son comunes en suelos arcillosos; los rangos medios poseen una buena infiltración de agua y retención de humedad y el rango alto indica un equilibrio adecuado entre espacios vacíos y partículas sólidas, considerándose lo ideal para los suelos (Castillo C., 2005).

**Tabla No. 26 - Clasificación de la porosidad del suelo**

Unidad (%)	Propiedades
<40	Muy bajo
40 - 45	Bajo
45 - 55	Medio
55 - 65	Alto
>65	Muy alta

Fuente: Clairo (1995).

Atterberg encontró que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, denominado índice de plasticidad (*IP*) representa la capacidad de un suelo para cambiar de forma sin agrietarse o romperse cuando se le aplica una fuerza. La plasticidad de un suelo se atribuye a la deformación de la capa de agua adsorbida alrededor de los minerales; desplazándose como sustancia viscosa a lo largo de la superficie mineral, controlada por la atracción iónica. Los índices altamente plásticos presentados en las parcelas No. 3A y No. 4 (*Tabla No. 27*) tienen una alta capacidad para deformarse sin romperse, lo que los hace muy cohesivos y moldeables, propia característica de los suelos arcillosos; mientras que, en la parcela No. 3B (*Tabla No. 27*) son suelos menos cohesivos, pero más estables. (Duque, 2005)

**Tabla No. 27 - Clasificación de la densidad real de los suelos**

<i>IP</i>	Clasificación
$IP < 1$	Suelos desmenuzables
$1 < IP < 7$	Suelos débilmente plásticos
$7 < IP < 15$	Suelos medianamente plásticos
$IP > 15$	Suelos altamente plásticos

Fuente: Atterberg (1911).

**Tabla No. 28 - Propiedades químicas, Parcelas**

Parcela	pH	Acidez Al <sup>3+</sup>		M. O	N	Ca	Mg	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	P	CE
		meq H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> /100g	meq/ 100g												
		(%)	(%)				meq/100g					ppm			dS/m
No. 3A	7.48	0.17	0.00	4.55	0.35	144.07	12.38	0.25	0.38	113.21	1.46	79.55	1.98	64.53	0.20
No. 3B	5.73	0.20	0.00	1.88	0.23	58.58	7.91	0.10	0.20	278.13	2.42	158.48	0.91	4.25	0.06
No. 4	7.03	0.10	0.00	3.77	0.27	160.08	15.28	0.23	0.27	252.36	1.15	143.3	1.60	21.88	0.12

*Nota.* meq/100g: miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo seco, ppm: partes por millón,

dS/m: deciSiemens por metro.

Los valores del pH en las parcelas oscilaron entre 5.73 y 7.48, indicando un pH moderadamente ácido en la parcela No. 3B, neutro en la parcela No. 4 y alcalino en la parcela No. 3A (*Tabla No. 4*). En un pH moderadamente ácido no se espera la toxicidad por Al, pero si una mayor disponibilidad de bases (Osorio, 2012); un pH neutro hace referencia sobre altos niveles de Ca, Mg y deficiencias en la disponibilidad de P, además de otros nutrientes, etc; Estos resultados pueden variar dado que, en climas templados, el pH tiende a bajar en verano y a subir en invierno, por efecto de las lluvias, como producto de las fluctuaciones por la dilución de los iones  $H^+$  de la disolución del suelo (Moreno et al., 2002) y los pH alcalinos o calcáreos, en este caso, son conocidos principalmente por la deficiencia algunos micronutrientes (Richards, 1982).

Las muestras de acidez analizadas fueron bajas en cada una de las parcelas, indicando valores menores de 1 meq/100g (*Tabla No. 5*), indicando una equidad en la cantidad de iones  $H^+$  y los cationes minerales.

Los resultados de los análisis de materia orgánica dentro de las parcelas generalmente fueron altos (*Tabla No. 6*), con un 3.77% en la parcela No. 4 y un 4.55% dentro de la parcela No. 3A; mientras que en la parcela N. 3B se obtuvieron rangos bajos de 1.88%. Las cuales tiene origen en restos vegetales y animales que fueron depositados sobre los suelos y luego de varios procesos se incorporaron en él.

En los macronutrientes primarios (N, P, K), los %N dentro de las parcelas fue alto, con porcentajes mayores a 0.20% lo cual está ligado directamente a los niveles de M.O, actividad biológica, etc y contribuye a la buena absorción de otros

nutrientes como fósforo y potasio dentro del suelo. El fosforo del suelo vario en rangos bajos en la parcela No. 3B con 4.25 ppm, por efectos de un pH moderadamente acido establecido en la parcela, debido a que bajo estas circunstancias el P del suelo se encuentra químicamente combinado con Fe y Al; medios dentro de la parcela No. 4 con 21.88 ppm y alto con 64.53 ppm en la parcela No. 3A, donde igualmente se registraron los valores más altos de M.O y %N. Los valores de potasio se obtuvieron dentro del rango medios (0.23, 0.25) y bajos (0.10) variando significativamente conforme a los índices de pH, M.O y los altos contenidos de calcio, los cuales influyen mayormente en la deficiencia de K. Los macronutrientes secundarios (Ca, Mg), mostraron preponderancia general dentro de todas las parcelas. En los micronutrientes del suelo (Fe, Cu, Mn, Zn) de las parcelas el hierro y el manganeso resaltaron por su alta concentración en los valores de los análisis realizados, debido a su estrecha relación con las arcillas, mientras que, la presencia del Mn disponible, Mn (II), depende tanto del pH como del potencial redox, siendo así que las más altas concentraciones de manera disponibles fueron en la parcela No. 3B, donde el pH es más acido en comparación con las otras parcelas. El cobre obtuvo resultados medios dentro de las parcelas en virtud del antagonismo del elemento con otros iones presentes en mayores concentraciones como el Fe y Mn. Los rangos de Zn oscilaron en rangos medios, en las parcelas No. 4 y No. 3A y bajos en parcelas No. 3B.

Los rangos de C.E de las parcelas indicaron que no son salinos (Tabla No. 8), señalando un adecuado potencial osmótico ( $\Psi\pi$ ) de la solución del suelo y de las aguas de riego (Can-Chulim et al., 2014).

## 5. Conclusiones

1. Según la clasificación de ordenes de suelo Soil Taxonomy y bajo los análisis realizados a las propiedades físicas y químicas del suelo del área de estudio, se puede concluir que el orden del suelo corresponde a los Ultisoles; Mientras que para el sistema de clasificación de ordenes de suelo de la FAO, corresponde a los Acrisoles.
2. Destacando las características de las propiedades físicas y químicas edáficas de las parcelas No.3A-B y No. 4 analizadas, es posible realizarlas labores agrícolas, siempre y cuando se realicen las correcciones necesarias, como el uso de enmiendas y encalado para lograr su máximo aprovechamiento en la actividad agropecuaria, ya que existen retos encaminados para mejoras hacia usos futuros, donde de manera conjunta la composición de las variables estudiadas optimiza las relaciones de beneficios uso-suelo.
3. Es necesario el monitoreo periódico de las propiedades estudiadas, debido a que el estado de las propiedades físicas y químicas varían y son fundamentales para establecer los usos y prácticas de conservación de suelos en él.
4. En las propiedades físicas, la composición de sus agregados, destacan las clasificaciones texturales arcillosas, francas y franco arcillosas y sus estructuras migajosas y en bloques observadas, las cuales condicionan otras propiedades como la densidad aparente, densidad real, porosidad e índice plástico, etc; brindando beneficios como la alta retención de agua y nutrientes

debido a la microporosidad, floculación de los coloides minerales y orgánicos y a su elevada capacidad de intercambio catiónico.

5. En las propiedades químicas, el pH tuvo variaciones moderadamente acidas, neutras y alcalinas, las cuales varían en el transcurso del año por efecto de las lluvias, con una mayor disponibilidad de bases, como mayores concentraciones de Ca y Mg, pero deficiencias en la disponibilidad de P, además de otros micronutrientes, etc. Las muestras de acidez analizadas fueron bajas en todas las parcelas, indicando una equidad en la cantidad de iones  $H^+$  y los cationes minerales. Los resultados de los análisis de materia orgánica generalmente fueron altos, provenientes de los depósitos de restos vegetales y animales; y bajos donde el pH tiende a ser más ácido. En los macronutrientes primarios los %N dentro de las parcelas fue alto, con porcentajes ligado directamente a los niveles de M.O, actividad biológica, etc. El fósforo del suelo varió en rangos altos y bajos, que disminuyen acorde aumenta moderadamente la acidez. Los valores de potasio variaron significativamente de manera inversamente proporcional conforme a los índices de pH, M.O y los altos contenidos de calcio. Los macronutrientes secundarios (Ca, Mg), mostraron preponderancia general, que puede deberse a la posibilidad de una característica común en suelos de arcilla montmorillonita. En los micronutrientes del suelo (Fe, Cu, Mn, Zn) de las parcelas el hierro y el manganeso resaltaron por su alta concentración, debido a su estrecha relación con las arcillas, mientras que, la presencia del Mn disponible, Mn (II), depende tanto del pH como del potencial redox, siendo así

que las más altas concentraciones de manera disponibles fueron en la parcela No. 3B, donde el pH es más ácido en comparación con las otras parcelas. El cobre obtuvo resultados medios dentro de las parcelas en virtud del antagonismo del elemento con otros iones presentes en mayores concentraciones como el Fe y Mn. Los rangos de Zn oscilaron en rangos medios. Los suelos de las parcelas manifestaron rangos de conductividad eléctrica, menores a 2 dS/m, lo cual indica que no son salinos, destacando un buen potencial osmótico ( $\Psi\pi$ ) de la solución del suelo.

6. En las calicatas realizadas en las áreas planas dentro de las parcelas, el escurrimiento superficial del agua es lento o no se presenta y el suelo es sometido a encharcamientos y a largos períodos de saturación con agua, dichas circunstancias son las responsables de las características observadas como colores grises, moteados, concreciones, pH ácidos, contenidos altos de bases, etc. que también pueden presentar problemas de toxicidad, con algunos elementos que se tornan muy solubles en condiciones reductoras, como el Fe y el Mn, donde se observaron altas concentraciones en cada uno de los horizontes de las calicatas realizadas.
7. La acidez del suelo registrada en los horizontes más profundos dentro de los perfiles realizados se debe a la presencia de arcilla saturada de  $H^+$ , producto del reemplazo de los iones de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  de los sitios de intercambio, por los cationes de  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  y  $Fe^{3+}$  y en algunos casos no necesariamente son liberados y se produce una reserva de acidez, por medio de coloides arcillosos.

## 6. Recomendaciones

La conservación del suelo no debe limitarse a prácticas cuyo único objetivo, sea el de combatir la erosión. El concepto de conservación debe considerarse como un medio para conseguir una mayor producción agrícola, y que ésta sea constante a través del tiempo, o de lo contrario los pequeños agricultores no estarán interesados en ellas (Carrasco, 2009).

Las Parcela No. 3A y No. 4 son aptas para cultivos de mediana a alta demanda nutricional, mientras que la parcela No. 3B en virtud de los contenidos de acidez en su pH se recomienda priorizar cultivos tolerantes a ello o realizar encalados y de manera conjunta dentro de las parcelas mejorar el contenido de materia orgánica, que facilitaría y aportaría una fertilidad adecuada bajo el uso de abonos y fertilizantes nitrogenados y fosfatados antes de establecer cultivos.

## 7. Bibliografía (Referencias Bibliográficas)

1. Aguilar, A., Garcíá, A., Salan, A., Ibáñez, R., Reyes, A., & Sánchez, J. (2023.). Prácticas de densidad de sólidos.
2. Alfaro, M., Monzón, C., Píril, V., & Pérez, E. (2019). Evaluación de metodologías de extracción, para el análisis químico de suelos de los departamentos de Zacapa y Chiquimula en el Laboratorio de Suelos y Plantas de ICTA.
3. Bienes, R. (2009). El perfil del suelo: formación y clasificación.
4. Bowen, M. W. (1991). Principles of Soil Science Exercise.
5. Buol, S. W.; F. D. Hole; R. J. Mccracken. And R. J. Southard. (1997). Soil Genesis and Classification. 4<sup>a</sup>. Ed. Iowa State University Press. Iowa U. S. A.
6. Burbano, H. (2010). El suelo al servicio de la sociedad y su rol en el contexto de los cambios globales: Vol. XI.
7. Burbano, H. (2012). La ciencia del suelo al servicio de la sociedad y del ambiente. En: XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, Riohacha, La Guajira. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá.
8. Burbano, H. (2013a). La sociedad depende del todo y las partes: naturaleza y suelo.

9. Burbano, H. (2013b). El suelo y su importancia para la sociedad. Ciencia del Suelo. Principios Básicos. Segunda Edición. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá.
10. Cairo P. (1995). La fertilidad física de suelo y la agricultura orgánica en el trópico. UNA - Managua, Nicaragua.
11. Cakmak, A. S., International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (3rd:1987): Princeton, N. (1987). Soil dynamics and liquefaction. Amsterdam: Elsevier.
12. Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta.
13. Cantú MP, Becker A, Bedano JC, Schiavo HF. (2007). Evaluación de la Calidad de Suelos mediante el uso de Indicadores e Índices. Ciencia del Suelo.
14. Carrasco, J. (2009). Prácticas de conservación de suelos.
15. Carrillo P., I. F. (1985). Método potenciométrico para determinar el pH.
16. Castellanos, J. Z. (2014). Acidez del Suelo y su Corrección. Hojas Técnicas de Fertilab, México.
17. Castillo C., C. (2005). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá El Tuma - La Dalia Matagalpa.

18. Cisneros, R. (2003). Apuntes de la Materia de Riego y Drenaje. Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado y Área Agrogeodésica. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
19. Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público.
20. Cram, S.; Cotler, H.; Morales, L.; Sommer, I.; Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.
21. Domínguez Soto, M., María, J., Gutiérrez, R., Delia, A., García, P., & Sandoval, A. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123192010>
22. Duque, G. (2005). Consistencia y plasticidad.
23. Enrich-Prast, A., Gaxiola, A., Lúcia, A., Durán, J., Rodríguez, A., & Marotta, H. (2018). Ciclos biogeoquímicos y cambios globales.
24. Espinosa, J., & Molina, E. (1999). ACIDEZ Y ENCALADO DE LOS SUELOS.
25. FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (n.d.). Definiciones <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

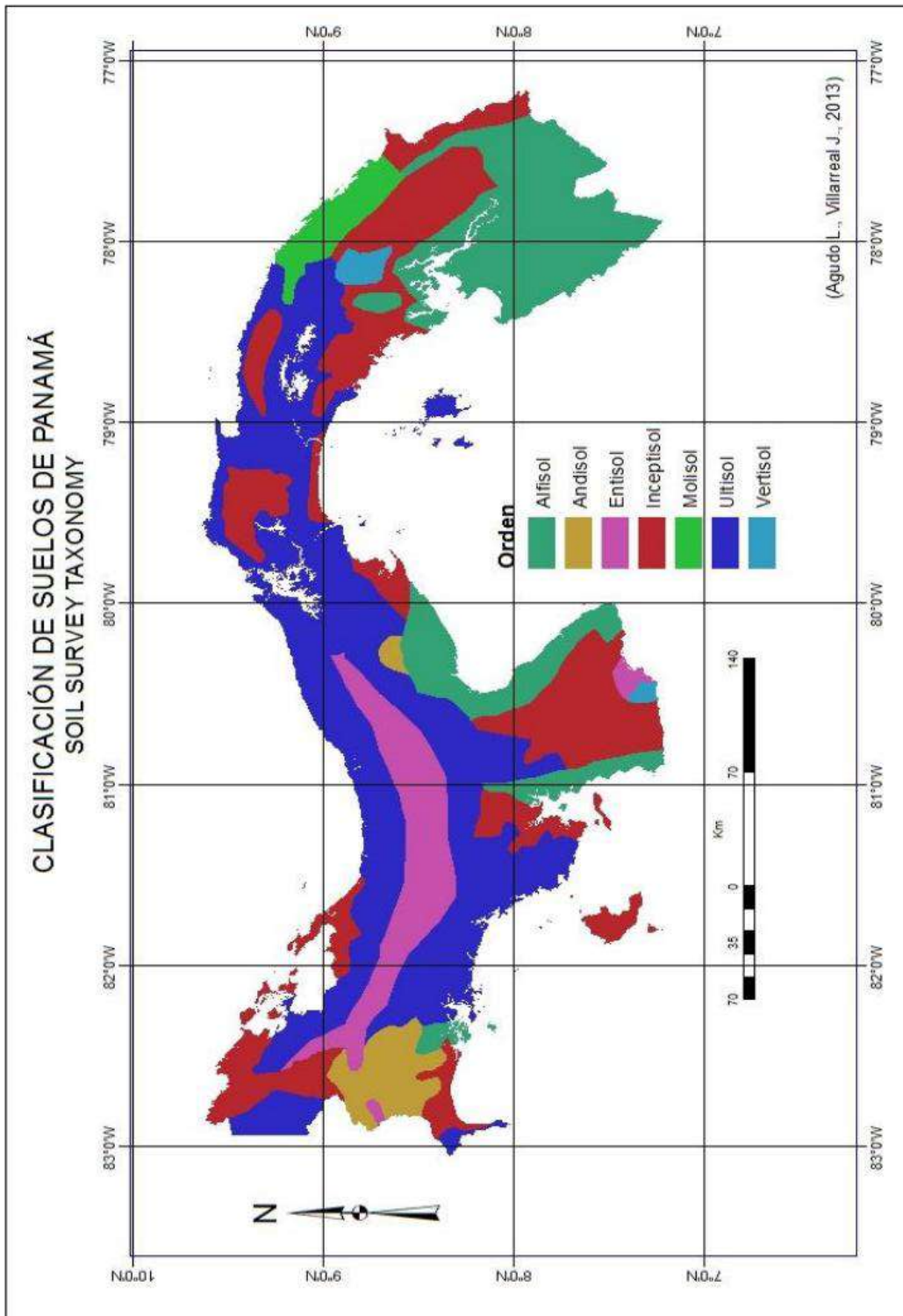
26. FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (n.d.). Los nutrientes minerales en el suelo. <https://www.fao.org/4/ah645s/AH645S05.htm>
27. FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (n.d.). Propiedades Físicas <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
28. Fassbender, H. W. (1994). Química de suelos: con énfasis en América Latina.
29. Gallegos, A., Mahecha, J. D., & Ramos, S. (2023). Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo: el papel de los suelos en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad.
30. Gil, R. (2010). Agua del suelo.
31. González Andrea Celeste, R. (2011). Determinación de la fijación de fósforo y potasio en un suelo joven y un suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras.
32. González, A. de J. (1936). Importancia del Estudio de los Suelos.
33. Guadalquivir, L. L. Y. S. A., & Guadalquivir, L. L. Y. S. A. (2024). Conductividad eléctrica del Suelo. Labiser.
34. Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (8<sup>a</sup> ed.). Pearson.
35. Hillel, D. (1998). Environmental soil physics. Academic Press. San Diego. U.S.A.

36. Huang, S. W; Jin J, Y. (1996). Potassium fixation in different soils from north China. *Plant Nutr Fert Sci.* 2(2)
37. INTAGRI. (2020). El Cobre en la Nutrición Vegetal.
38. Iwasa J & Marshall W (2019). *Karp Biología celular y molecular: Conceptos y experimentos.* McGraw Hill México.
39. Jackson, M.L. (1982). *Análisis Químico de Suelos.* Ed. Omega. Barcelona.
40. Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo.*
41. Jaramillo, D. F. (2011), *El suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad.* Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
42. Jordán López, A. (2005). *Manual de edafología.*
43. Jordán, A. (n.d.). Manganese and iron covering carbonate concretion. <https://imagedio.egu.eu/view/1603/>
44. Laban, P., Metternicht, G., & Davies, J. (2018). Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas. In *Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas.* IUCN, International Union for Conservation of Nature.
45. Lapuente A., R. (2008). *Arcillas, Suelos y Técnicas de Análisis.*
46. López, R., Murillo, B., Benson, M., López, E., & Valle, G. (2017). *Manual de análisis químicos de suelos.*
47. Lopez-Sangil, L., Rovira, P., Casals, P., (2013). Decay and vertical reallocation of organic C, and its incorporation into carbonates, in agricultural soil horizons at two different depths and rewetting frequencies. *Soil Biology & Biochemistry*

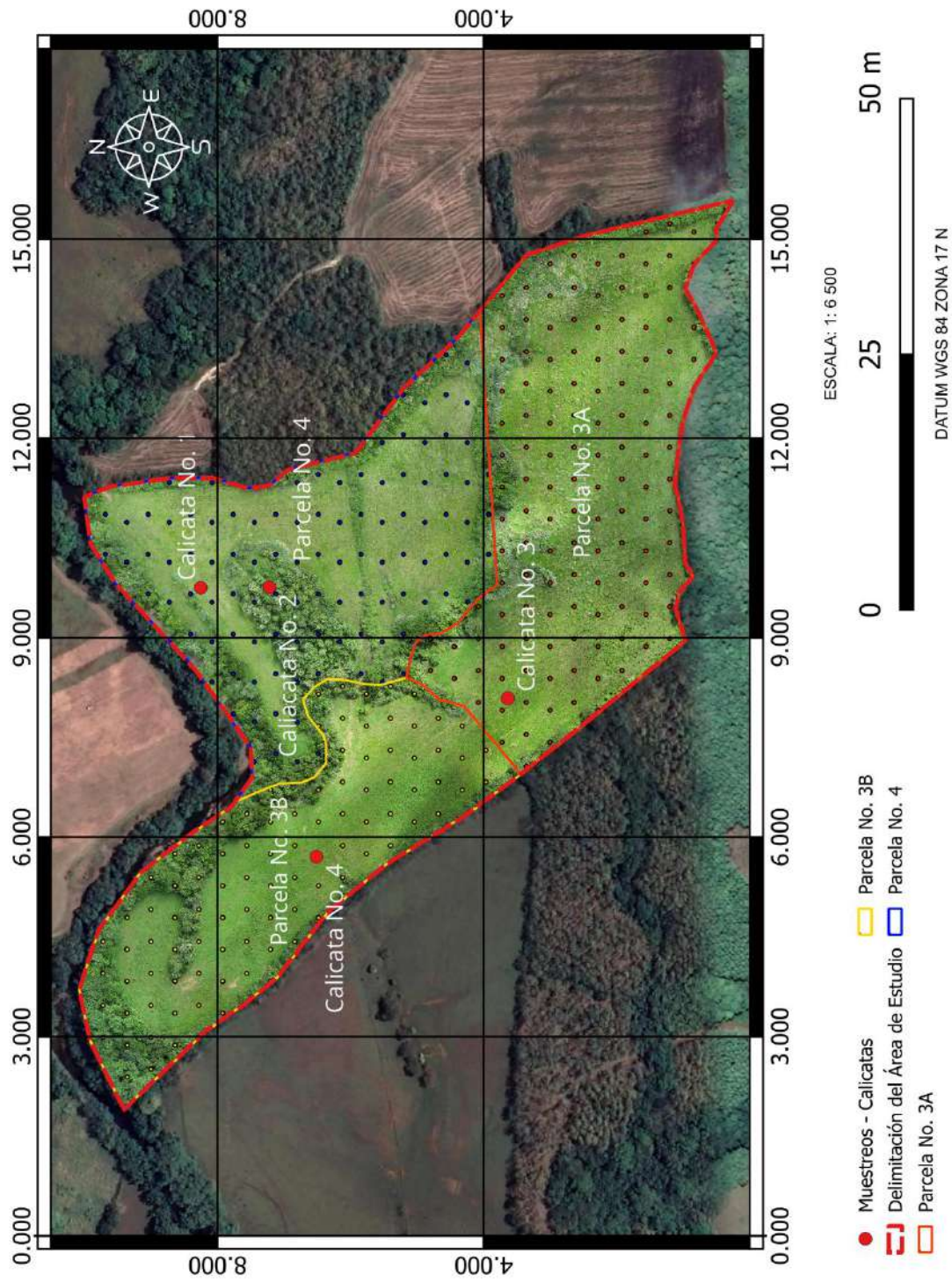
48. Mengel, K; Kirkby, E. A. (2000). Principios de nutrición vegetal. 4 ed. Melgar; Ruiz, M. eds, IPI (International Potash Institute), Basel, Switzerland.
49. Montaña Arias, N. M., Navarro Rangel, M. del C., Patricio López, I. C., Chimal Sánchez, E., & Miguel de la Cruz, J. (2018). El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo? <https://doi.org/10.30878/ces.v25n3a9>
50. Morales, M. (2011). Edafología. [www.espaciograficosa.com](http://www.espaciograficosa.com)
51. Moreno Ramón, H., Gisbert Blanquer, J. M., & Ibáñez Asensio, S. (2010). La estructura de un suelo.
52. Moreno, J. J., Peinado, R. A., & Bueno, J. E. (2002). Análisis fundamentales en edafología.
53. Olmedo P., J. L. (1971). Algunos aspectos de la distribución y formas del hierro en los suelos.
54. Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal.
55. Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, R. M. (2014). Edafología: uso y protección de suelos. Madrid: Mundi-Prensa S. A. de C. V
56. Ramón, M. (2019). Procesos formadores de suelos: Gleyficación.
57. Rivas Maldonado, J., & Loyola, C. (2022). Desarrollo de la región de Ñuble: prospectiva según la permeabilidad de los suelos.
58. Rubio, A. M., & Sevilla, G. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales.

59. Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004a).  
Propiedades Físicas del Suelo.
60. Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004b).  
Propiedades Físicas del Suelo.
61. Scalone, M. A. (2008). Introducción al Análisis Rural.
62. Sela, G. (2019). El manganeso en las plantas.
63. Silva, S.; Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión  
de la normativa y posibilidades de regulación económica. Semestre  
Económico.
64. Soledad Enriquez, A., & Cremona, M. V. (2022). El nitrógeno del suelo y  
sus formas químicas: Ejemplo de su aplicación como indicador de deterioro  
de ecosistemas.
65. Soriano, M. (2018). pH del suelo.
66. Sucuy, C., & Castillo, J. (2021). Evaluación de la granulometría de la  
subcuenca del Río Cebadas: comparación de dos técnicas para la  
determinación.
67. Torres, J., & García, A. (1991). Intercambio catiónico magnesio-sodio en  
algunos suelos del Valle del Cauca. Suelos Ecuatoriales.
68. Zapata Hernández R.D. 2004. Química de la acidez del suelo. Ed.  
Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

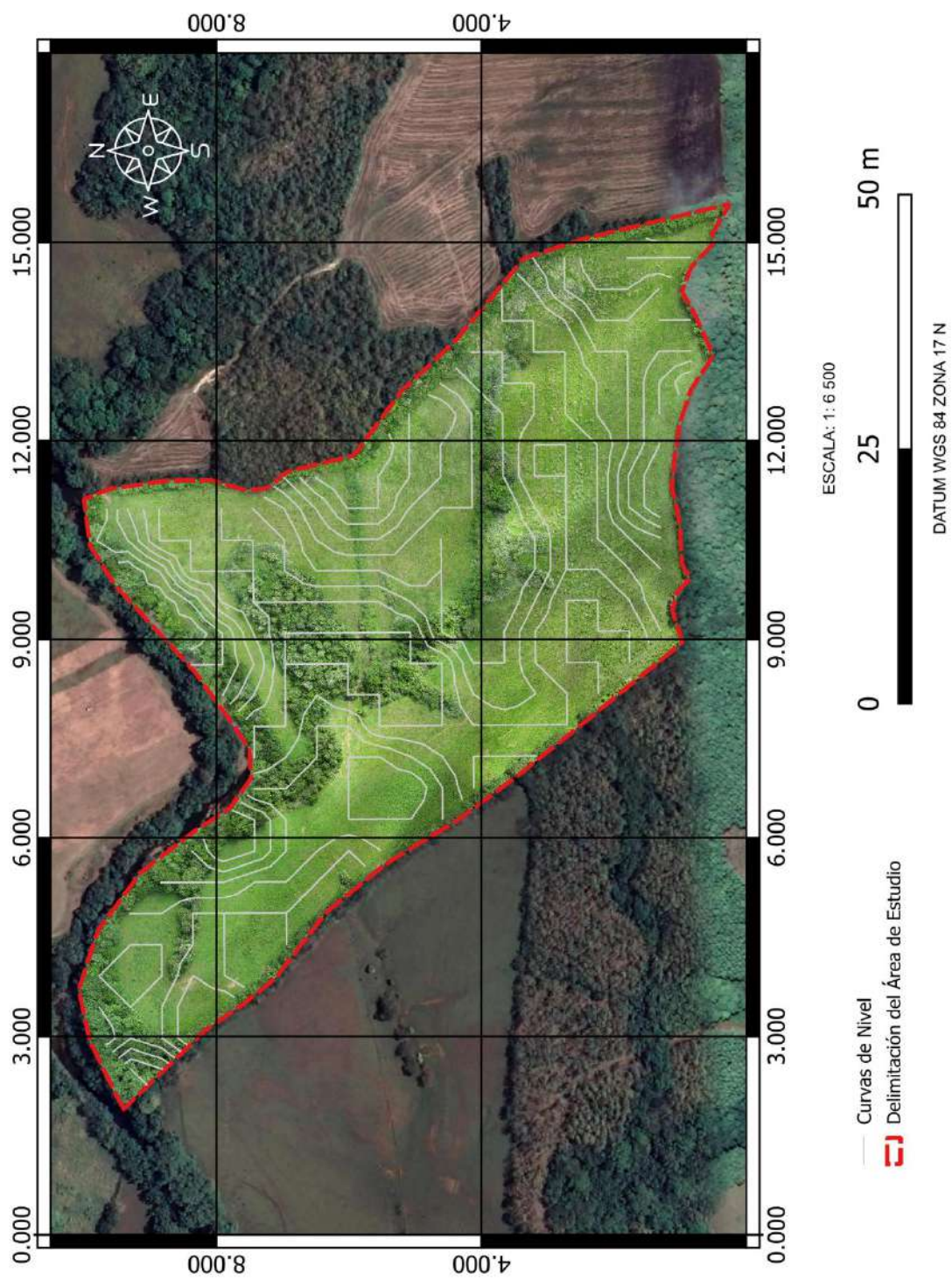
## 8. Anexos



Anexo No. 1 Mapa de clasificación de suelos de Panamá utilizando el sistema Taxonomía de Suelos (Agudo L., Villarreal J., 2013).



Anexo No. 2 Área de estudio del Centro de Enseñanzas e Investigaciones de Panamá Este



Anexo No. 3 Curvas de nivel (1m) del área de estudio del Centro de Enseñanzas e Investigaciones de Panamá Este



*Anexo No. 4 Muestras realizados en campo, CEIAPÉ*



Anexo No. 5 Análisis de propiedades físicas realizados en el laboratorio de suelos y aguas, FCA-UP



*Anexo No. 6 Análisis de propiedades químicas realizados en el laboratorio de suelos y aguas y laboratorio de nutrición, FCA-UP*