

**REMEDIACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR SOBREPASTOREO, POR MEDIO
DE PLANTACIÓN DE LEUCAENA (*Leucaena leucocephala*), MATARRATÓN
(*Gliricidia sepium*) Y FERTILIZANTE NITROGENADO SÓLIDO (Urea) EN LA FINCA
LA FORTUNA EN EL CORREGIMIENTO LAS RAICES, VALLEDUPAR/CESAR**

AUTOR (ES):

ACUÑA SIERRA ANDRES CAMILO

MANJARRES MARTINEZ ALEJANDRA

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2026

**REMEDIACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR SOBREPASTOREO, POR
MEDIO DE PLANTACIÓN DE LEUCAENA (*Leucaena leucocephala*),
MATARRATÓN (*Gliricidia sepium*) FERTILIZANTE NITROGENADO SÓLIDO
(Urea) EN LA FINCA LA FORTUNA EN EL CORREGIMIENTO LAS RAICES,
VALLEDUPAR/CESAR**

AUTORES:

ACUÑA SIERRA ANDRES CAMILO

MANJARRES MARTINEZ ALEJANDRA

DIRECTOR (A)

CARABALI HURTADO DIEGO ARMANDO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2026

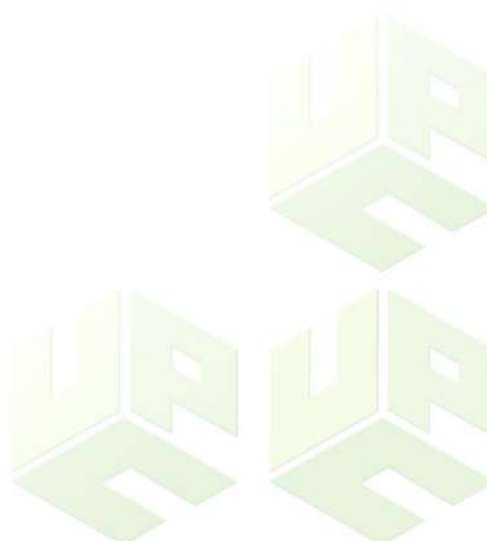
DEDICATORIA

Primeramente, Dios quien ha estado en todo momento con sus bendiciones y para aquellas personas que con su tiempo, sacrificio, amor y paciencia hicieron que todo esto fuera posible; que son mis padres Emiro Acuña y Miladis Sierra, el cual, fueron mi guía para seguir en este largo y maravilloso camino que es el conocimiento. A Alejandra Manjarres, mi novia quien ha estado en cada fase de este camino al éxito, quien me ha dado el ánimo y el amor para que hoy este sueño sea una realidad, más aún, cuando llegue a dudar si sería capaz de superar cada obstáculo y desafío presentado que hoy me han hecho un hombre fuerte y bueno. Además, para continuar siendo un hombre perseverante y ser un ejemplo para la sociedad.

Acuña Sierra Andrés Camilo

Primero que todo darle gracias a Dios, porque ha permitido que este proyecto se diera, gracias a sus bendiciones y aquellas cosas que ha permitido que hiciéramos este proyecto. Este esfuerzo se lo debo a mis padres Alejandro Antonio Manjarres Mendoza y Clementina Martínez Uriza, que con su apoyo y confianza se logró culminar este otro escalón y de muchos que me esperan, brindándome consejos para no rendirme en mis metas. También a mi novio Andres Camilo Acuña Sierra, que con su paciencia, dedicación, inteligencia, apoyo y amor ha logrado que sigamos esforzándonos en nuestros sueños juntos y superar esos pequeños obstáculos, demostrándome que con su amor somos capaces de ser el mejor equipo para lograr todo lo que nos propongamos en la vida.

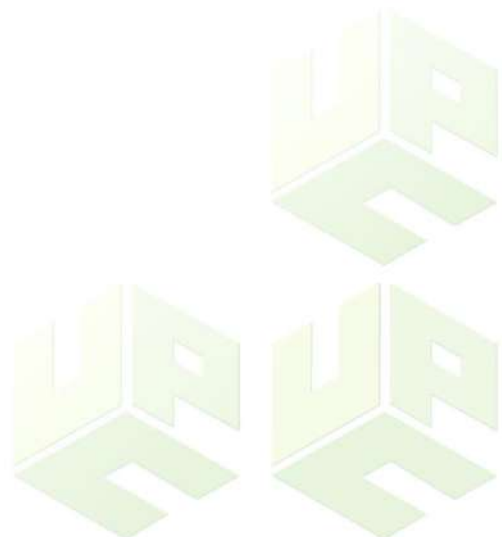
Manjarres Martínez Alejandra



AGRADECIMIENTOS

Enhorabuena y gracias a Dios, por todas las personas que puso en mi camino como lo son todos mis familiares, mis padres que fue gracias a ellos que todo es un éxito y Paola Acuña mi hermana que también hizo este proceso sea victorioso, amigos que estuvieron presentes en las malas y buenas brindándome su ayuda para que hoy lograra esta meta; especialmente a Ronny Guillen por su incondicional tiempo y espacio, profesores que con sus conocimientos compartidos formaron a un hombre de bien e intelectual, Director de proyecto que con su sabiduría me guio a que este proyecto sea excelente y conocidos que con su ayuda logramos sacar adelante este grandioso trabajo y de mucha experiencia.

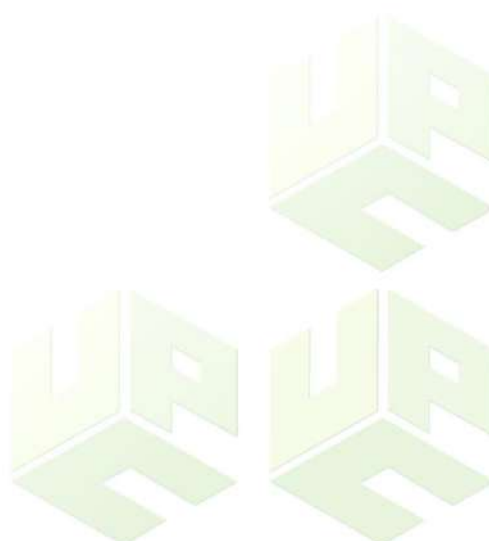
Acuña Sierra Andrés Camilo



AGRADECIMIENTOS

Agradecerle a Dios primeramente porque sin él no seríamos nada, luego a mis padres porque son los únicos que me han sabido comprender y apoyar en todas mis metas, que no me han detenido para poder hacer realidad mis sueños, han sido ese motor que me permite hacer las cosas, por solo el simple hecho de haber criado a una buena mujer, dedicada y no se rinde sin haber terminado lo que ha empezado, gracias a mi hermana Alba Lucia Manjarres Martínez, que con solo aportarme su interés hacia mis logros es una gran motivación, gracias Ronny Guillen que sin él no se habría podido ejecutar este proyecto, por aportarnos su tiempo cuando ha tenido miles de responsabilidades, y ultimo pero no menos importante, profesores y director de proyecto que han sido una guía de conocimiento y dedicación.

Manjarres Martínez Alejandra



RESUMEN

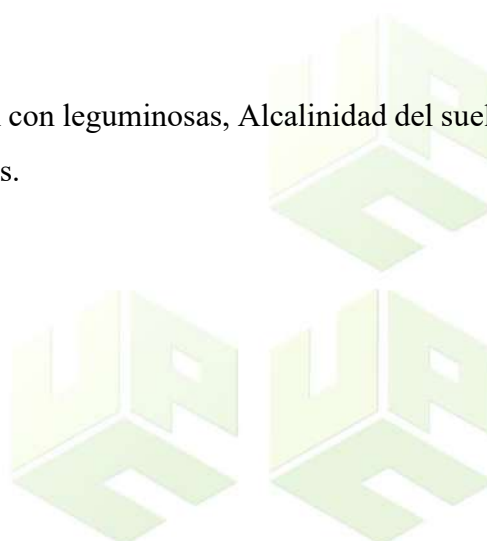
En síntesis, el sobrepastoreo por ganadería extensiva en el Departamento del Cesar genero suelos degradados, compactados y pobres en nutrientes. Este estudio tuvo como objeto remediar dichos suelos mediante la plantación de Leucaena (*Leucaena leucocephala*) y Matarratón (*Gliricidia sepium*), reconocidas por su capacidad para fijar nitrógeno, aportar biomasa y mejorar la estructura del suelo, combinada con dosis crecientes de fertilizante nitrogenado (Urea), en la Finca La Fortuna del corregimiento de Las Raíces, Valledupar.

Se diseñaron cuatro parcelas de 7m x 7m (49 m² cada una), sembradas con las especies de leguminosas y fertilizadas con Urea en dosis de 600 gr, 750 gr, 900 gr y 1050 gr por parcela. Se realizaron análisis físicos y químicos del suelo para evaluar los cambios.

El resultado más relevante indico que la alcalinidad severa del suelo (pH entre 7,56 y 8,67) constituyo la principal limitante, restringiendo la disponibilidad de micronutrientes como Boro, Hierro, Manganeseo, Cobre y Zinc; y además se encontraron deficiencias y aumentos generalizadas en macronutrientes clave como: Fosforo, Azufre, Potasio, Calcio. Aunque las parcelas presentaron buena textura y porosidad, los fertilizantes nitrogenados no lograron corregir el pH ni mejorar sustancialmente la nutrición. La parcela 4 (Matarratón con 1050 gr de Urea) mostro el mejor desempeño, mientras que las Parcela 1 y 2 presentaron las deficiencias más graves.

Se infiere que el aumento de dosis de Urea resulto insuficiente para remediar los suelos degradados sin una corrección previa de la alcalinidad. Un manejo integral que incluya enmiendas acidificantes resulta indispensable para potenciar el efecto benéfico de las leguminosas.

Palabras Clave: Sobrepastoreo, Remediación con leguminosas, Alcalinidad del suelo, Fertilización nitrogenada, Disponibilidad de nutrientes.



ABSTRACT

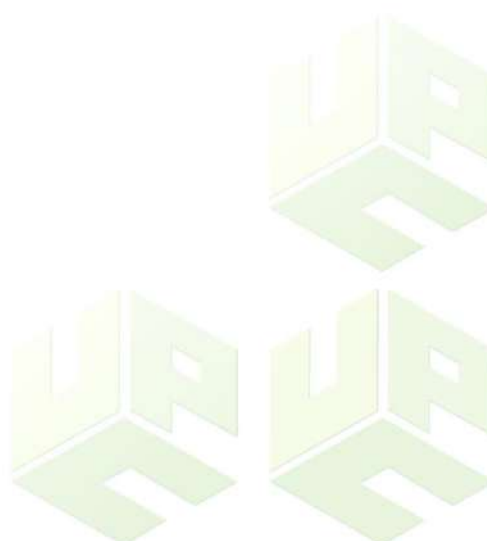
In short, overgrazing by extensive livestock in the Cesar Department causes degraded, compacted and nutrient-poor soils. This study aimed to remediate these soils by planting *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) and *Matarraton* (*Gliricidia sepium*), known for their ability to fix nitrogen, provide biomass and improve soil structure, combined with increasing doses of nitrogen fertilizer (Urea), at the Finca La Fortuna of the suburb of Las Raices, Valledupar.

Four plots of 7m x 7m (49m² each) were designed, sown with the leguminous species and fertilized with Urea in doses of 600 gr, 750 gr, 900 gr and 1050 gr per plot. Physical and chemical analyses of the soil were carried out to assess changes.

The most relevant result indicated that the severe alkalinity of the soil (pH between 7,56 and 8,67) constituted the main limiting factor, restricting the availability of micronutrients such as boron, iron, manganese, copper and zinc; and also, were found deficiencies and widespread increases in key macronutrients such as: Phosphorus, Sulfur, Potassium, Calcium. Although the plots showed good texture and porosity, nitrogen fertilizers failed to correct pH or substantially improve nutrition. Plot 4 (*Matarraton* with 1050 gr of Urea) showed the best performance, while Plots 1 and 2 presented the most serious deficiencies.

It follows that the increase in doses of Urea was insufficient to remedy degraded soils without a prior correction of alkalinity. Comprehensive management, including acidifying amendments, is essential to enhance the beneficial effect of legumes.

Keywords: Overgrazing, Remediation with legumes, Soil alkalinity, Nitrogen fertilization, Nutrient availability.



Contenido

LISTA DE ECUACIONES	18
INTRODUCCIÓN	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
<u>1.1.</u>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS.....	22
3.1. OBJETIVO GENERAL	22
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4 MARCO REFERENCIAL.....	23
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
4.2. MARCO TEÓRICO	27
<i>4.2.1. Formación Del Suelo.....</i>	<i>28</i>
<i>4.2.2. Composición Del Suelo.....</i>	<i>28</i>
<i>4.2.3. Propiedades Del Suelo.....</i>	<i>29</i>
<i>4.2.4. Fertilidad.....</i>	<i>30</i>
<i>4.2.5. LEUCAENA (Leucaena leucocephala)</i>	<i>30</i>
<i>4.2.6. Fertilización De La Leucaena</i>	<i>31</i>
<i>4.2.7. Calidad Nutricional De La Leucaena</i>	<i>31</i>
<i>4.2.8. Leucaena Como Remediadora Del Suelo</i>	<i>32</i>
<i>4.2.9. Matarratón (Gliricidia sepium)</i>	<i>33</i>
<i>4.2.10. Matarratón Como Remediadora Del Suelo.....</i>	<i>34</i>
<i>4.2.11. Calidad Nutricional Del Matarratón</i>	<i>34</i>
4.3. MARCO CONCEPTUAL	35
4.4. MARCO CONTEXTUAL.....	37
<i>4.4.1. Promedios Climáticos De Todo El Año</i>	<i>38</i>
<i>4.4.2. Recorrido.....</i>	<i>38</i>

4.5. MARCO LEGAL	38
5. MARCO METODOLÓGICO	40
5.1. LÍNEA Y SUB-LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	40
5.2. ENFOQUE Y ALCANCE DE INVESTIGACIÓN.....	41
5.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	41
5.4. MUESTRA POBLACIONAL.....	42
5.5. DESARROLLO DE FASES METODOLÓGICAS.....	44
5.5.1. FASE 1: Comparar la parte física y química del suelo teniendo en cuenta el análisis inicial con el análisis final, después de haber realizado los tratamientos en cada parcela.	44
5.5.2 FASE 2: Programar los diseños de las parcelas en los suelos degradados de la finca la fortuna con distancias de siembra y dosis de los tratamientos a utilizar.	44
5.5.3. FASE 3: Evaluar los efectos de los diferentes establecimientos Leucaena, matarratón y tratamiento de Nitrógeno en las parcelas programadas para determinar conclusiones y las recomendaciones.....	49
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	50
6.1. FASE 1: Comparar la parte física y química del suelo teniendo en cuenta el análisis inicial con el análisis final, después de haber realizado los tratamientos en cada parcela.....	50
6.1.1 Análisis completo inicial de las partes físicas (Textura, Temperatura, Densidad aparente, densidad real, y porcentaje de porosidad) y químicas	50
6.1.2 Elaborar el análisis completo final después de aplicar los tratamientos en cada parcela.	65
6.1.3. Caracterizar los resultados de los análisis completos iniciales y finales de las partes físicas y químicas.....	117
6.2. FASE 3: Evaluar los efectos de los diferentes establecimientos Leucaena, matarratón y tratamiento de Nitrógeno en las parcelas programadas para determinar conclusiones y las recomendaciones.....	142
7. CONCLUSIONES.....	150
8. RECOMENDACIONES	151

ANEXOS.....	158
-------------	-----



LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 DA 40sg (°C)	128
Gráfica 2 DA 40sg (cm).....	128
Gráfica 3 DA 2 he (Lc)	129
Gráfica 4 DA 2 hr (cm).....	129
Gráfica 5 Densidad Real	129
Gráfica 6 Densidad Aparente.....	130
Gráfica 7 POROSIDAD.....	130
Gráfica 8 pH.....	131
Gráfica 9 Conductividad eléctrica (C.E).....	131
Gráfica 10 Materia orgánica (MO)	132
Gráfica 11 Carbono Total	132
Gráfica 12 Nitrógeno Total.....	133
Gráfica 13 Relación C/N.....	133
Gráfica 14 Fosforo (P)	134
Gráfica 15 Azufre (S)	134
Gráfica 16 Capacidad de Intercambio Cationico Efectivo (C.I.C.E).....	135
Gráfica 17 Boro (B)	135
Gráfica 18 Calcio (Ca).....	136
Gráfica 19 Saturación Calcio (Ca).....	137
Gráfica 20 Magnesio (Mg)	137
Gráfica 21 Saturación Magnesio (Mg)	137
Gráfica 22 Potasio (K)	138
Gráfica 23 Saturación Potasio (K).....	138
Gráfica 24 Sodio (Na).....	139
Gráfica 25 Saturación Sodio (Na).....	139
Gráfica 26 Hierro (Fe)	140
Gráfica 27 Cobre (Cu)	140
Gráfica 28 Manganeseo (Mn).....	141
Gráfica 29 Zinc (Zn).....	141
Gráfica 30 Resultados de Laboratorios Físicos.	144
Gráfica 31 Testigo	145

Gráfica 32 Parcela 1	146
Gráfica 33 Parcela 2	147
Gráfica 34 Parcela 3	148
Gráfica 35 Parcela 4	149



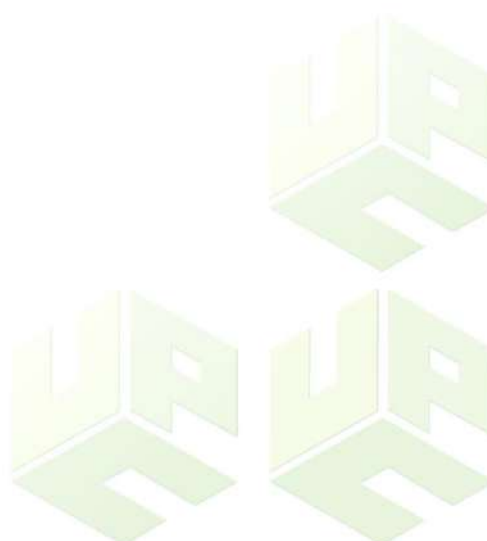
LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Valores generales que describen la composición nutritiva (%) de 53 accesiones de Leucaena.	32
Tabla 2 Contenido de aminoácidos de Matarratón comparado con la Leucaena y Alfalfa.	34
Tabla 3 Normativa Correspondiente	38
Tabla 4 Parámetros Físicos y Químicos que permiten hacer el análisis de la caracterización básica del suelo.	43
Tabla 5 Datos de la parcela testigo, suelo húmedo y suelo seco.	52
Tabla 6 Dato de la parcela testigo, el volumen del cilindro de la parcela testigo.....	52
Tabla 7 Datos de la parcela testigo, densidades.....	53
Tabla 8 Interpretación de la Densidad Aparente.....	53
Tabla 9 Interpretación de la Densidad Real	53
Tabla 10 Datos de la parcela testigo, % porosidad.	54
Tabla 11 Interpretación del suelo según su % de porosidad.	54
Tabla 12 Datos obtenidos en el laboratorio de suelo.	55
Tabla 13 Datos de la parcela testigo para la determinación de la textura.	56
Tabla 14 Datos para determinar la textura de la parcela testigo.	57
Tabla 15 Interpretacion De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm).....	59
Tabla 16 Estimativo de materia orgánica en los suelos	59
Tabla 17 Estimativo Conceptual Del Nitrogeno En Los Suelos.....	60
Tabla 18 RELACION C/N.....	60
Tabla 19 Calibracion De Fosforo Aprovechable En Suelos (+)	61
Tabla 20 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.).....	62
Tabla 21 Boro Disponible	62
Tabla 22 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	63
Tabla 23 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	63
Tabla 24 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	64
Tabla 25 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	64
Tabla 26 Datos suelo seco parcela 1.	66
Tabla 27 Datos volumen del suelo parcela 1.	66
Tabla 28 Datos de las densidades de la parcela 1.	66
Tabla 29 Interpretación de la Densidad Aparente.....	67

Tabla 30	Interpretación de la Densidad Real	67
Tabla 31	Datos de % de porosidad de la parcela 1.	68
Tabla 32	Datos para determinar la textura de la parcela 1.....	69
Tabla 33	Datos para saber la textura de la parcela 1.....	69
Tabla 34	Interpretacion De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm).....	72
Tabla 35	Estimativo de materia orgánica en los suelos	72
Tabla 36	Estimativo Conceptual Del Nitrogeno En Los Suelos	73
Tabla 37	Relacion C/N.....	73
Tabla 38	Fosforo (P)	74
Tabla 39	Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.).....	74
Tabla 40	Boro Disponible	75
Tabla 41	Estimativo conceptual de las bases en el suelo	76
Tabla 42	Estimativo conceptual de las bases en el suelo	76
Tabla 43	Estimativo conceptual de las bases en el suelo	77
Tabla 44	Estimativo conceptual de las bases en el suelo	77
Tabla 45	Datos suelo seco parcela 2	78
Tabla 46	Datos Volumen del Cilindro parcela 2.....	79
Tabla 47	Datos de las densidades de la parcela 2.	79
Tabla 48	Interpretación de la Densidad Aparente.....	79
Tabla 49	Interpretación de la Densidad Real	80
Tabla 50	Datos de % de porosidad de la parcela 2	80
Tabla 51	Interpretación del suelo según su % de porosidad.	80
Tabla 52	Datos obtenidos en el laboratorio de suelo.	81
Tabla 53	Datos para determinar la textura de la parcela 2.....	81
Tabla 54	Datos para saber la textura de la parcela 2.....	82
Tabla 55	Interpretacion De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm).....	85
Tabla 56	Estimativo de materia orgánica en los suelos	85
Tabla 57	Estimativo Conceptual Del Nitrogeno En Los Suelos	86
Tabla 58	Relación C/N.....	86
Tabla 59	Fósforo (P)	87
Tabla 60	Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.).....	88
Tabla 61	Boro Disponible	88

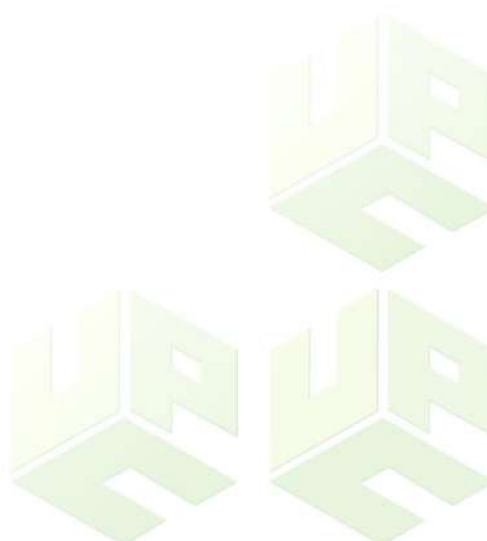
Tabla 62 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	89
Tabla 63 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	89
Tabla 64 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	90
Tabla 65 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	90
Tabla 66 Datos suelo seco parcela 3	91
Tabla 67 Datos volumen del suelo parcela 3	92
Tabla 68 Interpretación de la Densidad Aparente.....	92
Tabla 69 Interpretación de la Densidad Real	93
Tabla 70 Datos de % de porosidad de la parcela 3	93
Tabla 71 Interpretación del suelo según su % de porosidad.	93
Tabla 72 Datos obtenidos en el laboratorio de suelo.	94
Tabla 73 Datos para determinar la textura de la parcela 3	94
Tabla 74 Datos para saber la textura de la parcela 3	95
Tabla 75 Interpretacion De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm).....	98
Tabla 76 Estimativo de materia orgánica en los suelos	98
Tabla 77 Estimativo Conceptual Del Nitrogeno En Los Suelos	99
Tabla 78 Relación C/N.....	99
Tabla 79 Fósforo (P)	100
Tabla 80 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.).....	101
Tabla 81 Boro Disponible	101
Tabla 82 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	102
Tabla 83 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	102
Tabla 84 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	103
Tabla 85 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	103
Tabla 86 Datos suelo seco parcela 4	104
Tabla 87 Datos volumen del suelo parcela 4	105
Tabla 88 Datos de las densidades de la parcela 4	105
Tabla 89 Interpretación de la Densidad Aparente.....	105
Tabla 90 Interpretación de la Densidad Real	106
Tabla 91 Datos de % de porosidad de la parcela 4	106
Tabla 92 Interpretación del suelo según su % de porosidad.	106
Tabla 93 Datos obtenidos en el laboratorio de suelo.	107

Tabla 94 Datos para determinar la textura de la parcela 4.....	107
Tabla 95 Datos para saber la textura de la parcela 4.....	108
Tabla 96 Interpretacion De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm).....	111
Tabla 97 Estimativo de materia orgánica en los suelos	111
Tabla 98 Estimativo Conceptual Del Nitrogeno En Los Suelos	112
Tabla 99 RelaciónC/N.....	112
Tabla 100 Fósforo (P)	113
Tabla 101 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.).....	113
Tabla 102 Boro Disponible.....	114
Tabla 103 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	115
Tabla 104 Estimativo conceptual de las bases en el suelo.....	115
Tabla 105 Estimativo conceptual de las bases en el suelo	116
Tabla 106 Estimativo conceptual de las bases en el suelo.....	116
Tabla 107 Caracterización de los resultados de los análisis completos iniciales y finales de las partes físicas y químicas	¡Error! Marcador no definido.



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación geográfica de la Finca La Fortuna	37
Ilustración 2 Determinación de la textura del suelo por el método de hidrómetro de Bouyoucos.....	51
Ilustración 3 Tabla de corrección de temperatura	55
Ilustración 4 Textura del suelo de la parcela testigo.	57
Ilustración 5 Resultados de las pruebas Químicas Iniciales.....	58
Ilustración 6 Textura de suelo de la parcela 1.	70
Ilustración 7 Resultados de las pruebas Químicas	71
Ilustración 8 Textura de suelo de la parcela 2	83
Ilustración 9 Resultados de las pruebas Químicas	84
Ilustración 10 Textura de suelo de la parcela 3	96
Ilustración 11 Resultados de las pruebas Químicas	97
Ilustración 12 Textura de suelo de la parcela 4	108
Ilustración 13 Resultados de las pruebas Químicas	110
Ilustración 14 Anexo 1. Finca La Fortuna.....	158
Ilustración 15 Anexo 2. Reconocimiento del Terreno.	158
Ilustración 16 Anexo 3. Semillas de Leucaena (izquierda) y Matarratón (derecha).	158
Ilustración 17 Siembra y crecimiento de las plantas.	158
Ilustración 18 Toma de muestras para los análisis químico y físico	160
Ilustración 19 Toma de muestras para determinar las densidades.	161
Ilustración 20 Análisis de laboratorio para las partes físicas del suelo.	162



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Pasar de suelo húmedo a suelo seco.....	52
Ecuación 2 Hallar el volumen del cilindro.....	52
Ecuación 3 Hallar la Densidad real y Densidad aparente.	52
Ecuación 4 Hallar el % de porosidad del suelo.....	54
Ecuación 5 Determinar la textura corregida de la parcela testigo.....	56
Ecuación 6 Hallar los porcentajes de Arena, Arcilla y Limo.....	56
Ecuación 7 Determinar el Carbon Total.	59
Ecuación 8 Determinar el Nitrógeno Total.	60
Ecuación 9 Determinar la Relación Carbono/Nitrógeno.	61



INTRODUCCIÓN

Actualmente, el departamento del Cesar ubicado al Norte de Colombia se ha presentado la degradación de los suelos por sobrepastoreo, el cual es un ecosistema ambiental crítico para el país; está siendo afectado por una de las actividades significativas de la región que es la ganadería extensiva que da como resultado el sobrepastoreo, así mismo ha estado principalmente de generación en generación como una de muchas fuentes económicas en las poblaciones rurales del departamento. Además, en el mundo la contaminación del suelo por las diferentes actividades económicas es perjudicial para los seres vivos, cabe destacar que es un recurso natural importante para los ecosistemas y la salud humana.

Por consiguiente, el Sobrepastoreo en el departamento del Cesar ha tenido pocas o casi nulas precauciones en la práctica, en consecuencia, por falta de conocimiento en estas zonas del país. La región caracterizada por sus grandes producciones de carne y leche ha hecho que los suelos sean degradados por el continuo pisoteo del ganado y dejando expuesto a la erosión.

Finalmente, este proyecto propone la remediación del suelo degradados mediante la plantación de especies arbóreas leguminosas, *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*, reconocidas por su capacidad para fijar nitrógeno, mejorar la estructura del suelo y aportar biomasa de alto valor nutricional. Estas especies han demostrado eficacia en sistemas Silvopastoriles, incrementando la materia orgánica, reduciendo la erosión y promoviendo la biodiversidad, lo que se convierte en una alternativa viable para la región. Este estudio se llevará a cabo en la finca La Fortuna, ubicada en el corregimiento de Las Raíces (Valledupar), donde se evaluará su impacto en parámetros físicoquímicos y biológicos del suelo.



1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

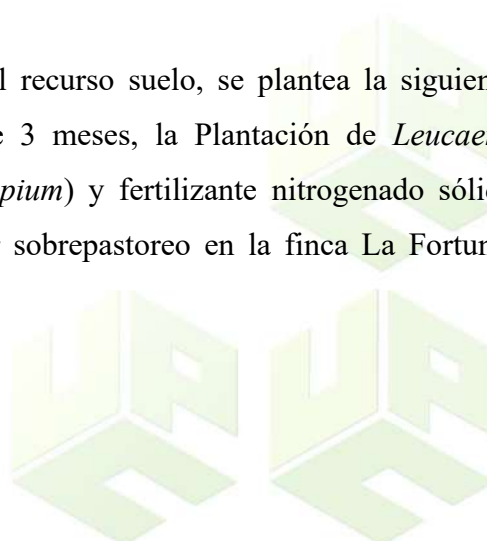
La agricultura intensiva ocupa 11% de la superficie terrestre y consume 70% del agua extraída de fuentes naturales, según la Comisión Europea. Como resultado, cada año se pierde 12 millones de hectáreas por desertificación y sequía (ONU), lo que no solo reduce la productividad, sino que también amenaza la biodiversidad (Santander et al., 2023).

La Finca de estudio ubicada en el corregimiento Las Raíces de la ciudad de Valledupar, ubicada al Norte de Colombia; enfrenta problemas de degradación de suelos debido al sobrepastoreo. Esta práctica ganadera intensiva ha provocado pérdida de la capa vegetal, dejando el suelo expuesto a la erosión por el viento y las lluvias. La compactación generada por el sobrepastoreo reduce la infiltración del agua, aumentando la escorrentía superficial y disminuyendo la disponibilidad de nutrientes.

También, la falta de rotación adecuada de pastoreo ha llevado a una disminución en la biodiversidad de los pastos, agotando la materia orgánica del suelo y reduciendo su fertilidad. Estos generan un círculo vicioso: los pastos se vuelven menos productivos, obligando a los animales a consumir las raíces y las plantas jóvenes, los que impide su regeneración natural (Santander et al., 2023). Como consecuencia, el suelo puede ir perdiendo su estructura, el suelo se vuelve árido y va perdiendo la capacidad de retener agua, afectando no solo la producción ganadera sino también la biodiversidad de la zona (de Villalobos, 2013).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A partir de la descripción del impacto en el recurso suelo, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo influye, durante 3 meses, la Plantación de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*), Matarratón (*Gliricidia sepium*) y fertilizante nitrogenado sólido (Urea) en la remediación de suelos degradados por sobrepastoreo en la finca La Fortuna, ubicada en el corregimiento Las Raíces?



2 JUSTIFICACIÓN

La degradación de suelos causada por el sobrepastoreo en la finca la Fortuna que se encuentra ubicada en el corregimiento Las Raíces (Cesar, Colombia), es un problema urgente que impacta negativamente la productividad agropecuaria. La ganadería extensiva, practicada sin técnicas sostenibles, ha generado pérdida de la capa vegetal, compactación del suelo, erosión y reducción de nutrientes, creando un ciclo de degradación. Este proyecto se justifica por su relevancia ambiental, socioeconómica y científica.

Desde un punto de vista ambiental, la implementación de la *Leucaena leucocephala*, Matarratón (*Gliricidia sepium*) y fertilizante nitrogenado sólido (Urea) demostrará ser una estrategia efectiva, ya que estas especies han demostrado su capacidad para fijar nitrógeno 75 – 200 kg/ha/año y 31-38 kg/ha/año, mejorar la estructura del suelo y aumentar la materia orgánica, según estudios en sistemas silvopastoriles. Además, contribuirán a la captura de carbono (hasta 204 t/ha) y a la reducción de procesos erosión (DALZELL, 2016).

En el ámbito socioeconómico, la implementación de estas leguminosas beneficiará directamente a los productores locales. Por un lado, incrementará la productividad ganadera al proporcionar forraje de alta calidad (con un 20-27% de proteínas cruda en el caso de la *Leucaena*), lo que se traduce en mayores ingresos para las familias rurales. Por otro lado, reducirá la dependencia de fertilizante químicos, disminuyendo costos y minimizando la contaminación del suelo (Pinto, 2019).

Desde la perspectiva científica, esta iniciativa aportará información valiosa sobre el comportamiento de estas especies en condiciones BST, llenando vacíos de investigación identificados en estudios previos. Además, validará técnicas agroforestales replicables en otras zonas tropicales con problemas similares de degradación de suelos.

Esta intervención no solo permitirá remediar suelos degradados, sino que también fortalecerá la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico local, sustentado en evidencia científica y enmarcado en las políticas de conservación a nivel nacional e internacional. Su ejecución representará un avance significativo hacia la resiliencia ecológica y el desarrollo sostenible de la región.

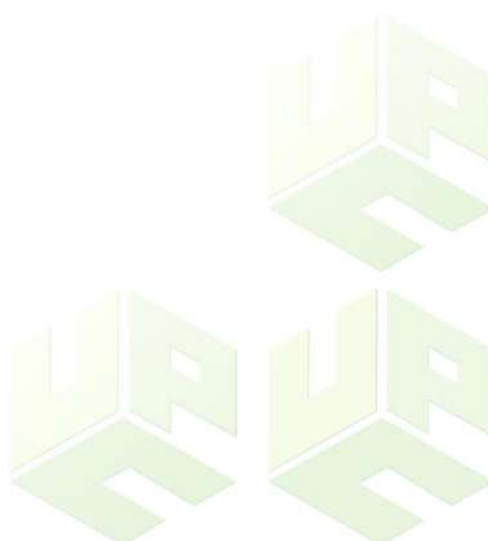
3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Remediar por medio de plantación de Leucaena (Leucaena leucocephala), Matarratón (Gliricidia sepium) y fertilizante nitrogenado sólido (Urea) en suelos degradados por sobrepastoreo en la finca La Fortuna en el corregimiento Las Raíces, Valledupar/Cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar la parte física y química del suelo teniendo en cuenta el análisis inicial con el análisis final, después de haber realizado los tratamientos en cada parcela.
- Programar los diseños de las parcelas en los suelos degradados de la finca la fortuna con distancias de siembra y dosis de los tratamientos a utilizar.
- Evaluar los efectos de los diferentes establecimientos Leucaena, Matarratón y tratamiento de Nitrógeno en las parcelas programadas para determinar conclusiones y las recomendaciones.



4 MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En primer lugar, Figueiredo et al., (2023) desarrollaron la investigación titulada eficiencia en el uso del nitrógeno en un sistema agrisilvícola con *Gliricidia sepium* en la región del Cerrado. publicada en la revista científica Plants, con la finalidad de evaluar la influencia de diferentes densidades de *Gliricidia sepium* sobre el ciclo del nitrógeno y la eficiencia en el aprovechamiento del fertilizante nitrogenado En sistemas agrícolas integrados. la investigación se desarrolló en 3 etapas: en la primera se estableció el área experimental en el Cerrado brasileño mediante la implementación de un sistema agrisilvícola compuesto por *Gliricidia sepium*, maíz y *panicum máximum*, utilizando 3 densidades de siembra: 667, 1000 y 1333 plantas por hectárea; en la segunda etapa se realizaron muestreos de suelo y cultivos, además del análisis del comportamiento del nitrógeno mediante el uso de isótopos (^{15}N), con el fin de determinar la absorción y recuperación de la fertilizante aplicado; y en la tercera etapa se efectuó el análisis estadístico de los resultados obtenidos respecto a la eficiencia del uso del nitrógeno, disponibilidad del nutriente en el suelo y productividad de los cultivos. los resultados demostraron que la densidad de las plantas por hectárea presentó mayor eficiencia en la recuperación del nitrógeno fertilizante, alcanzando valores de hasta 89%, además de favorecer una mayor absorción de nutrientes y mejorar la disponibilidad del nitrógeno dentro del sistema productivo. los autores concluyeron que *Gliricidia Sepium* constituye una alternativa eficiente para mejorar la fertilidad Del suelo y fortalecer sistemas agrícolas sostenibles en regiones tropicales. cómo aporta el presente estudio, esta investigación aporta bases técnicas y científicas relevantes para la remediación de suelos degradados por sobrepastoreo, debido a que evidencia la capacidad de especies leguminosas como el Matarratón *Gliricidia sepium*, Para mejorar la disponibilidad del nitrógeno en el suelo, favorecer el reciclaje de nutrientes y contribuir en procesos de recuperación de la fertilidad. Asimismo, respalda el uso complementario de fertilizante nitrogenado sólido y fortalece planteamiento del establecimiento de especies como *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* como estrategia de Restauración productiva y ambiental en áreas afectadas por degradación del suelo.

Asimismo, Contreras et al., (2023) realizó la investigación titulada: Índice de Calidad del Suelo Bajo Sistemas Agropecuarios en el Bosque Seco Tropical-Colombia. El estudio se

desarrolló en la región Caribe colombiana, abarcando los departamentos de Atlántico, Córdoba, Bolívar, sucre, Cesar y Magdalena, donde se evaluaron 242 parcelas bajo cuatro sistemas de uso de suelo: forestal comercial, panadería tradicional, sistemas agroforestales de con cacao, y sistemas silvopastoriles. Las condiciones climáticas correspondieron al bosque seco tropical, con precipitaciones anuales entre 1000 y 1500 mm, humedad relativa del 70-80% y temperaturas de 20-a 35 °C. Se analizaron propiedades fisicoquímicas como materia orgánica, densidad aparente, resistencia a la penetración, textura, nutrientes y biológicas como macro artrópodos, índice de diversidad, del suelo en profundidades de 0-20 cm. Mediante análisis de componentes principales, se selecciona un conjunto mínimo de datos para construir un índice de calidad del suelo, integrando indicadores clave como capacidad de intercambio catiónico, resistencia mecánica a la penetración y diversidad de Shannon. Los resultados mostraron que los sistemas agroforestales y silbo pastoriles presentaron los mayores valores de índice de calidad del suelo (0.77), asociado a mejor estructura, mayor acumulación de carbono orgánico y actividad biológica, mientras que los sistemas forestales y de ganadería tradicional mostraron menos calidad de suelo. Se concluyó que los sistemas implementados mejoran la salud del suelo frente a los monocultivos, destacando su papel en la conservación y sostenibilidad agropecuaria.

Se debe agregar que, Oladeji et al., (2023) realizaron la investigación llamada: Aplicaciones de *Gliricidia Sepium* (JACQ.) WALP para mejorar la fertilidad del suelo y las cualidades nutricionales de los cultivos: una revisión. El estudio buscaba mejorar la fertilidad del suelo demostrando las cualidades nutricionales de los cultivos, evaluando los diferentes impactos que genera en sus distintos componentes, se documentó su rápido crecimiento, proporcionando servicios ecosistémicos como la generación de biomasa, el ciclo de nutrientes, la capacidad de fijar nitrógeno y la captura de carbono, *Gliricidia sepium*, ya sea empleada como cobertura vegetal, biocarbono en sistemas de cultivos intercalado, ha demostrado ser efectiva en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y en el incremento del rendimiento del maíz. Su uso en sistemas agroforestales favorece la fijación de nitrógeno, aumenta el carbono almacenado en el suelo, mitigando los efectos adversos de los metales pesados y, en consecuencia, promueve el mejor desarrollo de los cultivos.

Por otro lado, Carabalí y Mejía (2020), realizaron la investigación titulada: Restauración de suelos degradados por monocultivo y sobrepastoreo, por medio de plantación

de Guandú (*Cajanus Cajan*) y Ajonjolí (*Sesamum Alatum*) en la Granja Piloto-Universidad Popular Del Cesar. El proyecto se desarrolló en 3 fases metodológicas principales, cada una tiene objetivos y actividades específicas, en la fase 1 encontramos la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del suelo. Donde su objetivo era evaluar las condiciones iniciales del suelo afectado por monocultivos y sobrepastoreo en la granja piloto de la Universidad popular del César, las actividades que llevaron a cabo es la identificación de la zona con degradación evidente por monocultivo de algodón y sobrepastoreo, en la granja piloto dónde en ella se delimitaron cuatro parcelas de 16 m³ cada uno, dónde se definieron que la primera parcela está sin tratamiento, la segunda parcela siembra de Guandú, la tercera parcela siembra de ajonjolí, y una 4 parcela combinando las dos siembras, a estas parcelas se le recolectaron muestras de suelo para análisis físico-químicos, estas muestras se enviaron al laboratorio del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para determinar parámetros como textura, pH, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico (CIC), y otros elementos. De acuerdo con los resultados en esta fase el suelo presentó textura arcillosa, con un pH neutro de 7,28, bajo contenido de carbono orgánico de 0,91%, y niveles altos de fósforos (P) pero bajos de potasio (K) y nitrógeno (N).

En la fase dos encontramos la implementación de las especies vegetales el objetivo de esta es restaurar el suelo mediante la siembra de Guandú y Ajonjolí, especies seleccionadas por su capacidad para fijar nutrientes y mejorar la estructura del suelo, las actividades que se realizaron en esta fase es cercar las parcelas para protegerlas del ganado y otros animales, dónde se diseñaron las pilas de siembras con distancias específicas, teniendo en cuenta la siembra y el cultivo estas semillas se germinaron en vivero, aunque el Ajonjolí presentó dificultades debido al ataque de insectos como el comején, por lo que se sembró directamente en el terreno, monitorearon el crecimiento de las plantas durante 6 meses, asegurando riego y cuidados necesarios, en el monitoreo previamente realizado también notaron que el guandú mostró mejor atención al suelo degradado, mientras que el ajonjolí requirió más atención debido a su sensibilidad inicial.

Y en la tercera y última fase que es donde evaluaron el porcentaje de restauración, el objetivo de este era comparar los parámetros fisicoquímicos del suelo después de la implementación de los tratamientos para medir su efectividad. Las actividades que realizaron es la toma de una segunda muestra donde la tomaron de cada parcela teniendo en cuenta la

finalización del ciclo de crecimiento de las plantas estas muestras también fueron analizadas en el IGAC bajo los mismos parámetros de la fase 1, los resultados obtenidos en el tratamiento del suelo aplicando la siembra de Guandú se dieron cuenta el aumento del carbono total en un 2,95% y el nitrógeno total en 0,29%, también mejoró la capacidad de intercambio catiónico en 21,08 Meq/100g), reduciendo la textura arcillosa y favoreciendo una estructura más equilibrada a Franco-arcillosa, en el tratamiento de la siembra de ajonjolí mostró mejorías en el fósforo disponible en un 88,05 mg/kg pero menor eficiencia en retención de nutrientes, y finalmente en el tratamiento combinando las dos especies obtuvieron resultados intermedios, con menor impacto que el Guandú solo, también se identificó una correlación positiva entre el aumento del carbono y del nitrógeno total dónde en conclusión se demostró que el Guandú es la especie más efectiva para la restauración, mejorando la fertilidad y estructura del suelo.

Asimismo, Seutra et al., (2018) desarrollaron un estudio llamado: Fijación de Nitrógeno atmosférico por árboles de Gliricidia (*Gliricidia sepium* (jacq.) kunth ex walp.) intercalados con cacao (*Theobroma cacao* L.) tuvieron como objetivo estimar la fijación de nitrógeno atmosférico por arboles de leguminosas (*Gliricidia sepium*) en provecho de los árboles de cacao (*theobroma cacao*) en sistemas agroforestales.

En las regiones cacaoteras de Ghana (Ashanti y oriental), se seleccionaron cinco sitios, el cultivo fue intercalado entre cacao y Gliricidia con diferente manejo, sus suelos eran franco-arenoso con pH entre 5.0 y 5.8 contenido de nitrógeno total entre 0.8 y 1.1 g kg⁻¹. La fijación del nitrógeno en las hojas de Gliricidia vario entre 22% y 50% con un promedio de 48% en ejes de brotes, los brotes anuales de Gliricidia aportaron entre 31.4 y 38.0 kg N ha⁻¹provenientes de la atmosfera, solo se encontraron nódulos en temporada humedad, con 62-92 nódulos por gramos de raíz, estos mostraron color rojo (leghemoglobina), indicando fijación activa de N₂. La Gliricidia demostró ser una alternativa viable para mejorar la disponibilidad de N en suelos tropicales degradados.

Por otro lado, Shelton y Scott (2016), desarrollaron un estudio titulado: Beneficios productivos, económicos y ambientales de las pasturas de *Leucaena*. El desarrollo de este proyecto se ha centrado en evaluar los beneficios productivos, económicos y ambientales de las pasturas de *Leucaena leucocephala* en el norte de Australia, específicamente en Queensland. La investigación destacó que la adopción de esta leguminosa tropical aumentó

rápido debido a su capacidad para mejorar la producción ganadera, la rentabilidad y la sostenibilidad ambiental, las pasturas de *Leucaena* demostraron ser altamente eficientes, permitiendo hasta cuatro veces más ganancia de peso vivo en el ganado en comparación con pasturas tradicionales. Esto se logró gracias a su alto contenido proteico (20% de proteína cruda) y su capacidad para fijar nitrógeno en el suelo (más de 75 kg/ha/año). Además, su supervivencia (30-40 años) y resistencia a la sequía la convirtieron en una opción atractiva para los ganaderos. Se destacó que la *Leucaena* redujo el riesgo de salinidad al imitar el uso del agua de la vegetación nativa, mejoró la calidad del agua y disminuyó la erosión del suelo. Además, contribuyó a la captura de carbono, almacenando aproximadamente 4,13 millones de toneladas de CO₂ equivalente, redujo las emisiones de metano del ganado gracias a la mayor digestibilidad de su forraje.

Finalmente, Fernández et al., (2015), realizaron su investigación titulada: Restauración de la productividad de pastizales degradados en la Amazonía mediante prácticas agroforestales. Este proyecto busca rehabilitar los pastizales degradados mediante sistemas agroforestales biodiversos, combinando especies maderables valiosas (como la caoba), leguminosas (*Commo inga spp*) y pastos mejorados, inspirados en conocimientos indígenas y prácticas científicas.

Debido a que la amazonia brasilera pedio millones de hectáreas de bosques primarios debido a la conversión a pastizales para ganadería. Sin embargo, muchos de estos pastizales se han degradado por el manejo inadecuado, agotamiento de nutrientes del suelo, compactación y baja regeneración forestal, se identificaron pastizales degradados cerca de Manaus (Brasil), con suelos ácidos, bajos en fósforo y nitrógeno, y alta compactación. Se evaluaron las condiciones iniciales de biomasa, nutrientes y biodiversidad. Los sistemas con cal y NPK aumentaron la biomasa de pastos en un 65% y la producción de cultivos, la caoba protegida con inga mostro un 70% menos de ataques de plagas y un crecimiento más rápido.

4.2 MARCO TEÓRICO

El suelo constituye la capa más superficial de la corteza terrestre, formado por una mezcla compleja de minerales procedentes de la erosión de las rocas y materia orgánica generada por la descomposición de seres vivos. Esta delgada pero vital capa es el producto de procesos físicos (como la acción del agua y el viento), químicos (transformación de minerales)

y biológicos (actividad de microorganismos y raíces) que actúan durante siglos. En su interior alberga un ecosistema único donde conviven bacterias, hongos y pequeños animales que transforman continuamente los nutrientes, determinando su fertilidad. Su estructura en capas u horizontes -similares a las de un pastel- revela su historia de formación, mostrando cómo los materiales se han ido depositando y transformando con el tiempo. Esta superficie dinámica no solo es escenario de fenómenos climáticos, sino también de complejas interacciones químicas y biológicas que hacen posible la vida vegetal y en consecuencia toda la cadena alimentaria terrestre (Valera y Ramírez, 2025).

4.2.1 Formación Del Suelo

El suelo tarda cientos de años en formarse hasta alcanzar el grosor necesario para cultivos. El proceso comienza cuando las rocas se fracturan por los cambios de temperatura: el calor diurno las expande y el frío nocturno las contrae. El agua que se filtra en las grietas se congela y, al expandirse, rompe la roca en fragmentos que son arrastrados por la lluvia y el viento. Posteriormente, aparecen plantas pioneras como musgos, cuyas raíces profundizan las grietas. Al morir, su materia orgánica ácida ayuda a descomponer las rocas. Las lombrices, insecto, hongos y bacterias transforman estos restos en nutrientes, mejorando la estructura del suelo. Este suelo enriquecido permite el crecimiento de planta más grandes, que a su vez albergan más vida, acelerando el proceso de formación del suelo en un ciclo continuo de mejora (FAO, 1996).

4.2.2 Composición Del Suelo

El suelo es un sistema complejo que integra componentes en los 3 estados de la materia: sólidos, líquidos y gaseosos. La fracción sólida constituye su estructura fundamental, compuesta por minerales inorgánicos como silicatos (cuarzo, feldespatos, micas), óxidos metálicos (de hierro y aluminio), sales minerales (carbonatos, sulfatos, cloruros) y componentes orgánicos como el humus en sus diversas formas. La fase líquida está dominada por el agua, que rara vez se encuentra pura, sino más bien como solución acuosa cargada de iones, nutrientes y compuestos orgánicos disueltos, la cual circula a través de los poros del suelo mediante procesos de capilaridad y percolación, actuando como vehículo de transporte para sustancia entre los distintos horizontes edáficos (Santander et al., 2023). La porción gaseosa, Por su parte, contiene los gases atmosféricos comunes (oxígeno y dióxido de carbono)

junto con otros compuestos volátiles como metano y óxido nitroso, cuya presencia y proporción varían según las características específicas de cada tipo de suelo. Esta combinación de elementos en sus 3 estados interactúa continuamente, dando lugar a un medio dinámico donde ocurren procesos físicos, químicos y biológicos esenciales para el desarrollo de la vida vegetal y el mantenimiento de los ecosistemas terrestres (Valera y Ramírez, 2025).

4.2.3 Propiedades Del Suelo

Propiedades Físicas: El suelo presenta características físicas fundamentales que determinan su comportamiento e influyen en la distribución vegetal. La textura se refiere a la proporción relativa de partículas minerales de diferente tamaño (arena, limo y arcilla) presentes en el suelo. La estructura describe cómo estas partículas se agrupan formando agregados con formas y tamaños específicos. La densidad del suelo, que varía según su composición, afecta directamente a la capacidad de soportar vegetación, siendo los suelos más densos generalmente más aptos para sustentar una mayor biomasa vegetal (Santander et al., 2023). La temperatura, particularmente en zonas de montaña, ejerce un control importante sobre los patrones de distribución de las plantas según la altitud. Por último, el color del suelo, determinado por sus componentes minerales y orgánicos, presenta variaciones según el grado de humedad, sirviendo como indicador visual de sus propiedades. Estas características físicas interrelacionadas condicionan en conjunto la productividad y el tipo de ecosistema que pueden desarrollarse en un solo territorio (Buitrago et al., 2024).

Propiedades Químicas: El suelo posee importantes características químicas que determinan su productividad. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se refiere a la habilidad del suelo -particularmente de sus componentes arcillosos y orgánicos como el humus- para retener y liberar nutrientes esenciales que las plantas pueden absorber. La fertilidad del suelo está directamente vinculada a esta propiedad, ya que representa la disponibilidad real de nutrientes asimilables para la vegetación. Otra propiedad fundamental es el pH, que indica el grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, afectando directamente la solubilidad y disponibilidad de los nutrientes (Valera y Ramírez, 2025). Más adelante se analizarán métodos prácticos para modificar este parámetro cuando sea necesario, ya que un pH equilibrado es crucial para optimizar la fertilidad natural del suelo y promover el desarrollo vegetal (Buitrago et al., 2024).

Propiedades Biológicas: El suelo alberga una extraordinaria diversidad de organismos que conforman un ecosistema complejo y vital. Esta comunidad biológica incluye desde microorganismos como bacterias y hongos hasta fauna de mayor tamaño como ácaros, lombrices, hormigas y pequeños mamíferos. Cada grupo desempeña funciones específicas según sus características: los microorganismos (bacterias y hongos) son responsables de procesos bioquímicos fundamentales como la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes; mientras que los organismos más grandes (lombrices, artrópodos y pequeños mamíferos) modifican la estructura física del suelo mediante su actividad de excavación y alimentación (Valera y Ramírez, 2025). La acción combinada de estos organismos -que varían según su tamaño, hábitos alimenticios y patrones de actividad- regula procesos esenciales como la formación de agregados del suelo, el ciclo de nutrientes y la aireación del sustrato, manteniendo así la salud y productividad del ecosistema edáfico (Rivero, 2024).

4.2.4 Fertilidad

El suelo constituye el fundamento del crecimiento vegetal al proporcionar agua y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que las plantas absorben mediante sus raíces. Su fertilidad depende de factores físicos (estructura que permite el desarrollo radicular), químicos (disponibilidad de nutrientes) y biológicos (actividad microbiana) (Valera y Ramírez, 2025). En ecosistemas naturales como bosques y praderas, este equilibrio se mantiene mediante ciclo cerrado donde la hojarasca y restos orgánicos se transforman en humus por acción de microorganismos y fauna edáfica, mejorando la retención hídrica y la porosidad del suelo. Sin embargo, en suelos agrícolas, la remoción continua de cosechas y la exposición a agentes erosivos provocan pérdida progresiva de fertilidad (Santander et al., 2023).

4.2.5 LEUCAENA (*Leucaena leucocephala*)

La Leucaena es una leguminosa arbórea o arbustiva que alcanza alturas de 3 a 6 metros (hasta 12 metros en condiciones óptimas), nativa de las regiones tropicales de América, específicamente Sur de México. Es resistente al pastoreo, altamente apetecible para el ganado y posee un excelente valor nutricional, con niveles de proteína bruta entre el 20% y 27%, así como una digestibilidad al 60% al 70% (Pinto, 2019). También es nativa de países específicos como Nicaragua, Honduras y El Salvador. Su dispersión comenzó en el siglo XVII, cuando los

colonizadores españoles lo transportaron hasta Filipinas, convirtiéndose en el punto de partida para su posterior introducción en zonas como Indonesia, Malasia, Papua Nueva Guinea y suroeste de Asia (Pinto, 2019).

Clasificación taxonómica de la Leucaena:

Reino: Plantae.

División: Magnoliophyta.

Clase: Magnoliopsida.

Orden: Fabales.

Familia: Fabaceae.

Subfamilia: Mimosoideae.

Género: Leucaena

Especie: L. leucocephala.

(Martinez, Ficha Técnica Leucaena (Leucaena leucocephala), 2020)

4.2.6 Fertilización De La Leucaena

Esta especie requiere una fertilización reducida gracias a su habilidad natural para fijar nitrógeno atmosférico. Sin embargo, para optimizar su desarrollo, se sugiere aplicar los siguientes nutrientes por hectárea: 57,25 kg de fósforo (P205), 24 kg de potasio (K20), 33 kg de magnesio (MgO) y 59 kg de azufre (SO4). Estas cantidades están calculadas para complementar los nutrientes que el sistema radicular no puede obtener naturalmente en cantidades suficientes, manteniendo así un equilibrio nutricional adecuado para el cultivo sin interferir con su capacidad de fijación biológica de nitrógeno (Martínez, 2020).

4.2.7 Calidad Nutricional De La Leucaena

Esta especie se caracteriza por su excelente perfil nutricional, mostrando un contenido proteico significativo que oscila entre el 12% y 25% en base a materia seca. Presenta una proporción de materia seca del 30% y una elevada digestibilidad que varía del 65% al 85%, lo

que indica una alta disponibilidad de nutrientes para los animales. Adicionalmente, su follaje contiene concentraciones importantes de minerales esenciales, particularmente calcio y fósforo, junto con un valioso aporte de vitaminas, lo que la convierte en un recurso forrajero nutricionalmente completo (Valera y Ramírez, 2025).

4.2.8 *Leucaena Como Remediadora Del Suelo*

Esta especie establece una relación simbiótica con bacterias como *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, formando nódulos en sus raíces que fijan nitrógeno, con una capacidad de 75 a 200 kilos por hectárea anuales. Además, se asocia fácilmente con los rizobios nativos del suelo, mediante el cual permite adaptarse bien incluso en zonas con deficiencias nutricionales y escasa humedad. Su hojarasca se descompone rápidamente, enriqueciendo el suelo con nitrógeno. También, desde el punto de vista ecológico, esta planta es muy valiosa debido a que florece durante gran parte del año, el cual atrae abejas y sirve de alimento para herbívoros silvestre. Hay que mencionar que la *Leucaena* proporciona sombra y refugio a la fauna, favoreciendo la conectividad del ecosistema (González, 2018).

Tabla 1 *Valores generales que describen la composición nutritiva (%) de 53 accesiones de Leucaena.*

Variable	Media	Desviación estándar
Materia seca	23,71	3,06
Proteína cruda	25,71	3,94
Proteína verdadera	18,96	3,47
FDN	46,91	6,9
FDA	26,35	4,8
FC	18,48	3,5
LDA	10,44	2,21
Celulosa	11,46	2,54
Calcio	1,89	0,38

Fósforo	0,20	0,03
Potasio	2,19	0,37
Cenizas	7,48	0,96
Polifenoles totales	4,20	1,26
Taninos precipitantes	2,67	1,27
Taninos condensados	3,78	1,68
P. fítico	0,07	0,05
Mimosina	2,89	1,30
DMS	60,24	19,90
DPC	57,83	5,26
DFDN	44,67	6,65

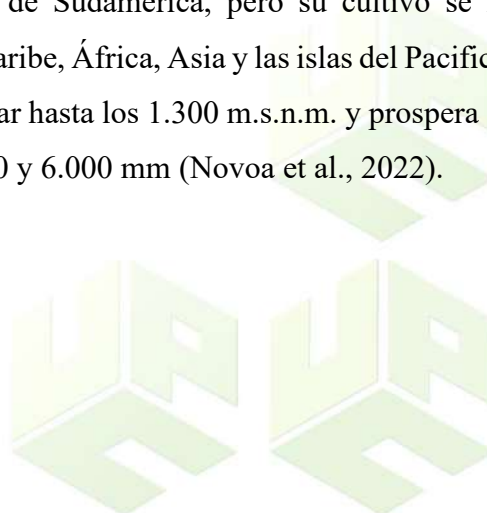
Nota: Tomado de la Ficha Técnica de la Leucaena ((*Leucaena leucocephala*) de Martinez, 2020.

4.2.9 Matarratón (*Gliricidia sepium*)

La especie *Gliricidia sepium*, llamada “matarratón” en Colombia, también conocida en otras regiones como madero negro, piñón de Cuba o rabo de ratón y madre cacao (Pincay et al., 2025). Es nativa de Centroamérica y el Norte de Sudamérica, pero su cultivo se ha extendido a diversas zonas tropicales, incluyendo el Caribe, África, Asia y las islas del Pacífico. Esta especie se adapta a altitudes desde el nivel del mar hasta los 1.300 m.s.n.m. y prospera en áreas con precipitaciones anuales que varían entre 600 y 6.000 mm (Novoa et al., 2022).

Clasificación taxonómica del Matarratón:

- **Reino:** Plantae.
- **Clase:** Magnoliopsida.
- **Subclase:** Rosidae



- **Orden:** Fabales.
- **Familia:** Fabaceae.
- **Subfamilia:** Faboideae
- **Tribu:** Robinieae
- **Género:** Gliricidia
- **Especie:** G. Sepium

4.2.10 Matarratón Como Remediadora Del Suelo

Esta especie destaca por su versatilidad como recurso agroecológico para la remediación de suelos degradados con su capacidad para fijar nitrógeno y producir abundante biomasa la convierte en un excelente fertilizante natural que mejora la fertilidad del suelo, además, resulta particularmente útil para recuperar terrenos erosionados o pobres nutrientes, ya que su vigoroso sistema radicular ayudó a estabilizar el suelo y su rápida colonización permite revegetar áreas desprovistas de cobertura. La planta contribuye significativamente al mejoramiento edáfico mediante el incremento de materia orgánica, la estimulación de la actividad microbiana beneficiosa y la restauración de la estructura del suelo, lo que hace una aliada clave en programas de recuperación tierra (Martínez, 2020).

4.2.11 Calidad Nutricional Del Matarratón

Tabla 2. *Contenido de aminoácidos de Matarratón comparado con la Leucaena y Alfalfa.*

Aminoácidos	Contenido en Mg/g de N		
	Matarratón	Alfalfa	Leucaena
Arginina	399	357	294
Cistina	99	77	88
Histidina	127	139	125
Isoleucina	300	290	563
Leusina	603	494	469

Usina	282	386	313
Metionina	105	96	110
Metionina Cistina	204	173	188
Fenilalanina	386	307	294
Treonina	300	290	231
Tirosina	280	232	263
Valina	401	356	338

Nota: Tomado de la Ficha Técnica de la Leucaena (*Leucaena leucocephala*) de Martinez, 2020.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Conservación: Se refiere a la protección, cuidado, gestión o recuperación de los ecosistemas naturales y las especies que los habitan. Implica regular el aprovechamiento humano de los recursos para garantizar su uso sostenible, equilibrando el beneficio colectivo con la preservación ambiental a largo plazo (Narváez et al., 2023).

Gestión medioambiental: Es un proceso estratégico e integral orientado a la planificación, ejecución y evaluación de acciones destinadas a prevenir, mitigar y controlar los impactos ambientales derivados de las actividades humanas, promoviendo el uso sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2023), la gestión ambiental busca integrar criterios ambientales en la toma de decisiones institucionales, económicas y sociales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Plantación: Es la acción y efecto de plantar especies vegetales en un terreno determinado con fines productivos, ecológicos o de restauración. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) define las plantaciones como áreas establecidas mediante la siembra o plantación deliberada de árboles o cultivos para generar beneficios ambientales, económicos o sociales.

Recuperación: Es el proceso mediante el cual un ecosistema, recurso natural o área degradada retorna parcial o totalmente a condiciones funcionales similares a las originales, restableciendo sus propiedades ecológicas y productivas. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021), la recuperación ambiental implica restaurar las capacidades ecológicas y sociales de los territorios afectados por degradación o contaminación.

Remediación: Es el conjunto de técnicas y acciones implementadas para eliminar, reducir o controlar contaminantes presentes en el ambiente, con el propósito de disminuir riesgos para la salud humana y los ecosistemas. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2024) señala que la remediación ambiental comprende procesos físicos, químicos y biológicos destinados a restaurar sitios contaminados.

Resiliencia del suelo: Es la capacidad del suelo para resistir, adaptarse y recuperarse frente a perturbaciones naturales o antrópicas, restaurando sus funciones físicas, químicas y biológicas esenciales. Según la FAO (2023), la resiliencia del suelo es fundamental para mantener la productividad agrícola, la biodiversidad y la seguridad alimentaria frente al cambio climático y la degradación ambiental.

Suelo: Constituye a la capa superficial que recubre la corteza terrestre, siendo el fundamento esencial para el desarrollo de vida y las actividades humanas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2019).

Sobrepastoreo: EL sobrepastoreo es una práctica ganadera inadecuada que ocurre cuando los animales consumen la vegetación de un pastizal de forma intensiva y continua, son permitir el tiempo necesario para su recuperación natural (Narvaez et al., 2023).

Suelos degradados: Son aquellos suelos que han perdido parcial o totalmente sus propiedades físicas, químicas y biológicas debido a procesos como erosión, contaminación, compactación, salinización o deforestación, reduciendo su capacidad para sostener la vida y cumplir funciones ecológicas. La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, 2022) indica que la degradación del suelo afecta la productividad, la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad.

Viabilidad: Es la posibilidad de que un proyecto, acción o iniciativa pueda desarrollarse exitosamente considerando factores técnicos, económicos, ambientales, sociales y operativos.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2023) establece que la viabilidad de un proyecto se determina mediante el análisis de las condiciones necesarias para garantizar su ejecución sostenible y el cumplimiento de sus objetivos.

4.4 MARCO CONTEXTUAL

La finca La Fortuna está situada en la vía hacia el corregimiento Las Raíces, a unos 17,83 km de la salida de Valledupar. Perteneciente a este corregimiento, ubicado en el municipio de Valledupar, Departamento del Cesar, Colombia. En las Raíces viven alrededor de 275 habitantes, quienes mantienen una relación cercana con la granja. El acceso desde la ciudad de Valledupar es posible en vehículos, con un tiempo aproximado de 18 minutos de recorrido.

Ilustración 1. Ubicación geográfica de la Finca La Fortuna, autores 2026



Fuente: Google Earth Pro. Elaboración propia

Teniendo en cuenta que los bosques secos tropicales se desarrollan en regiones donde se alteran épocas de lluvias con periodos de sequía generalmente, después de una temporada de precipitación, sigue una fase prolongada de escasez de agua.

El BST es uno de los ecosistemas más amenazados de Colombia, pero su conservación es vital para la biodiversidad y las comunidades locales (Bosque, 2022).

El ecosistema se clasifica como formación xerofítica tropical, caracterizada por especies con adaptaciones evolutivas a condiciones de sequía severa y estrés térmico. Esta

resiliencia ecológica favorece la presencia de endemismos y estrategias biológicas diversas, (Bosque, 2022).

Las condiciones climáticas en Las Raíces, Valledupar, suelen caracterizarse por un clima cálido y seco, propio de la región de la Costa Caribe colombiana. La temperatura promedio anual varía alrededor de los 28°C. Durante la temporada seca, Las Raíces experimenta días soleados y temperaturas elevadas, con una humedad relativamente baja. Por otro lado, la temporada de lluvias trae consigo precipitaciones abundantes que pueden influir en la vegetación y la actividad agrícola de la zona.

4.4.1 Promedios Climáticos De Todo El Año

- Día: La temperatura media diurna está entre 27°C y 28°C durante el día.
- Noche: La temperatura media nocturna está entre 18°C y 19°C.
- Lluvia: Llueve 247 días y hay un total aproximado de 850 mm precipitaciones.
- Horas de sol: A lo largo del año hay 3752 horas de Sol.

4.4.2 Recorrido

Se programo una visita al área de estudio, la cual incluye un trayecto de 13km por carretera desde Valledupar en dirección al corregimiento Las Raíces. Durante el recorrido, se tomó un desvío que conduce a la finca de investigación. El último tramo de 3,57km hacia la Finca de estudio presenta deterioro en la vía, con presencia de numerosos hoyos y superficies desiguales en la carretera.

4.5 MARCO LEGAL

La remediación, protección, preservación y conservación de los suelos están regidas por varias normativas que tienen como objetivo evitar su degradación, fomentar su uso sostenible y asegurar la rehabilitación de zonas perjudicadas.

Tabla 3 *Normativa Correspondiente*

Normativa	Descripción	Aplicación
------------------	--------------------	-------------------

Constitución

**Política de
Colombia (Art.
58).**

Función social y ecológica del suelo.

Limitar el uso del suelo para garantizar su conservación y protección ambiental.

Constitución

**Política de
Colombia (Art.
8, 79-80).**

Art. 8: Protección integral de las riquezas culturales y naturales de la Nación.

Art. 79: Derecho a un ambiente sano

Art. 80: Planificación el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.

Establecer el derecho a un ambiente sano y la función ecológica de la propiedad.

**Convenio de
Diversidad
Biológica 1994**

Importancia y uso sustentable de la biodiversidad.

Dar el debido uso importante al suelo.

Ley 09 de 1979

Enfoque a los usos y conservación del recurso natural.

Prevenir riesgos en el uso del suelo.

Ley 2 de 1959

Reserva forestal y protección del suelo y agua.

Normatividad sobre bosques y flora silvestre.

Priorizar el suelo, para prevenir la contaminación y controlar su uso, mediante un manejo sostenible.

Ley 23 de 1973

Su función principal es controlar y prevenir la contaminación ambiental, como mejorar y conservar los recursos naturales. Por lo que se establece medidas para la protección y manejo

Priorizar el suelo, para prevenir la contaminación y controlar su uso, mediante un manejo sostenible.

	sostenible del suelo, el cual es un bien susceptible a la contaminación.
Ley 99 de 1993	Crea el SINA y regula suelos en áreas de reserva. También estructura el Monitorear la degradación marco institucional para la gestión del suelo. ambiental (MADS, CARs, ANLA)
Ley 461 de 1998	"Convención de las Naciones Unidas de Promover estrategias de lucha contra la desertificación en los manejo sostenible de suelos países afectados por sequía grave o y remediación de tierras desertificación" degradadas.
Decreto 2811 de 1974 (Art. 71-72)	Prohíbe prácticas que causen erosión, Remediar y prevenir la pérdida de fertilidad o contaminación, y perdida de fertilidad y exige su recuperación. nutrientes del suelo.
Decreto 1479 de 1977	Disposiciones de conservación y Conservar la fauna terrestre protección de bosques, agua, fauna mediante la protección del terrestre y acuática. suelo.

Nota: Tomado de la Constitución Política de Colombia, Convenio de Diversidad Biológica 1994, Decreto 1479 de 1977. Elaboración propia

5 MARCO METODOLÓGICO

5.1 LÍNEA Y SUB-LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Según el acuerdo N° 003, 08 de julio del 2021 adoptado por el Consejo de Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Universidad Popular del Cesar se adoptan la línea de investigación de Sostenibilidad y Gestión Ambiental, y la sublínea Gestión Integral Ambiental del Suelo.

5.2 ENFOQUE Y ALCANCE DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se presenta tiene un Enfoque Cuantitativo y un Alcance Exploratorio y Descriptivo.

5.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO

En este trabajo, las áreas del suelo, es decir, las parcelas que son sometidas al tratamiento son consideradas la población beneficiada, ya que el proceso favorece su remediación. El Pílon el 17 de junio de 2022 (Día Mundial de lucha contra la Desertificación y la Sequía), publicó: “Colombia ocupa el cuarto lugar de 9 países con desertificación en América Latina, por lo que los activistas ambientales piden a las autoridades competentes implementar estrategias para mitigar estas afectaciones”.

Además, el director general de la Corporación Autónoma Regional del Cesar, Jorge Luis Fernández, menciona lo siguiente: Aprovechamos la conmemoración del Día Mundial contra la Desertificación y la Sequía para promover un consumo sostenible de los recursos naturales. La acción conjunta es clave para minimizar los efectos perjudiciales de nuestras acciones diarias en el medioambiente. Tanto la degradación de la tierra cultivable como la escasez hídrica son desafíos en aumento que nos perjudican globalmente. También el ambientalista de Valledupar Eudis de León, destaca lo siguiente: “En el marco del Día Mundial contra la Desertificación y la Sequía, cabe destacar la degradación de suelos es uno de los mayores desafíos ambientales en el Cesar. Según su informe el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015), aproximadamente el 80% del territorio departamental sufre este impacto. Adicionalmente, señalo que los principales factores de esta degradación son antropogénicos, incluyendo deforestación, sobrepastoreo y manejo agrícola inadecuado”, (Gutierrez, 2022).

El departamento del Cesar a través de los años ha sido víctima de la erosión o salinización de sus suelos. Según CORPOCESAR (2018), los estudios revelan que el 81,92% del territorio departamental presenta afectación por erosión en distintos niveles: 25,92% muestra erosión leve, 43,96% moderada y 11,77% severa.

5.4 MUESTRA POBLACIONAL

Las muestras se tomarán en la zona afectada por Sobrepastoreo, se diseñan y planifican cuatro (4) parcelas cuadradas de 7 m x 7 m, el cual da un área total de 49 m². Fueron realizados por el Laboratorio de Química de Suelos del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSABIA, acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC bajo la norma ISO/IEC 17025:2017.

Las técnicas analíticas aplicadas corresponden a los métodos oficiales descritos en el Manual de Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos del IGAC, 2006, de este modo se tienen instructivos que son: Pagar el análisis en Servientrega- Efecty, se tomara la muestra para cada parcela según el procedimiento indicado y se enviara con el comprobante a Agrosavia (Tibaitatá). Luego viene el procedimiento indicado según AGROSAVIA (2022):

- Se seleccionó la zona afectada dentro de la finca teniendo en cuenta: relieve, cultivo, aplicación de enmiendas o fertilizantes, color y textura del suelo.
- Se escogió un recorrido en el campo que cubra todo el terreno; los recorridos comúnmente utilizados son diagonales, tipo zeta o zig zag, y tome varias muestras durante el recorrido. Se recomienda tomar entre 20 a 30 submuestras de suelo.
- Luego en los sitios donde tome las submuestras, se limpió la capa vegetal para evitar contaminación de las muestras de suelo.
- Se realizaron hoyos con pala a una profundidad de 20 a 30 cm para cultivos anuales, y de 40 a 60, para frutales, arbóreos y otros cultivos de raíz profunda.
- Se tomará la muestra de la pared del hoyo.
- Con un bisturí, o cuchillo limpio, se retiraron los bordes de la submuestra de suelo para evitar contaminación de la muestra.
- Se colocó la muestra dentro de un balde limpio.
- Después de tomar todas las submuestras en el área homogénea, se mezcló con las manos limpias hasta homogeneizar todo el suelo.
- En la bolsa que reclamó en Servientrega, coloque aproximadamente 1 kg de suelo y cierre muy bien la bolsa, tal como se indica en esta.
- Se diligenció la información que aparece en la bolsa, no olvide firmarla.

Luego, se realizó un laboratorio físico del suelo para cada una de las parcelas con el fin de determinar la parte física del suelo (textura, temperatura, densidad real, densidad aparente y % de porosidad), en el laboratorio de Suelos de la Universidad Popular del Cesar – UPC. Se aplicó el procedimiento de laboratorio desarrollado en la asignatura Suelos del programa de Ingeniería Ambiental y sanitaria, para esto se realizará el método del hidrómetro de Bouyoucos.

Tabla 4. *Parámetros Físicos y Químicos que permiten hacer el análisis de la caracterización básica del suelo.*

Físicos	Químicos
Textura	pH
Densidad aparente	Conductividad eléctrica
Densidad real	Materia Orgánica
Temperatura	Bases Intercambiables (Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio)
	Fósforo disponible
	Microelementos (Cobre, Manganeso, hierro, Carbono y zinc)
	Potasio disponible
Porcentaje de porosidad	Relación carbono/nitrógeno
	Carbono Total
	Nitrógeno Total
	Saturación de bases

Determinación de capacidad de
intercambio catiónico efectiva
(CICE)

Aluminio intercambiable

Fuente: Elaboración propia

5.5 DESARROLLO DE FASES METODOLÓGICAS

5.5.1 FASE 1: Comparar la parte física y química del suelo teniendo en cuenta el análisis inicial con el análisis final, después de haber realizado los tratamientos en cada parcela.

1. Análisis completo inicial de las partes físicas (textura, temperatura, densidad aparente, real y % de porosidad) y químicas (pH, Conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio catiónico, materia Orgánica, nitrógeno, fosforo, potasio, relación de carbono/nitrógeno, bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio), aluminio intercambiable, nitrógeno y carbono total, algunos micronutrientes (carbono, hierro, manganeso, cobre y zinc).
2. Elaborar el análisis completo final después de aplicar los tratamientos en cada parcela.
3. Caracterizar los resultados de los análisis completos iniciales y finales de las partes físicas y químicas.

5.5.2 FASE 2: Programar los diseños de las parcelas en los suelos degradados de la finca la fortuna con distancias de siembra y dosis de los tratamientos a utilizar.

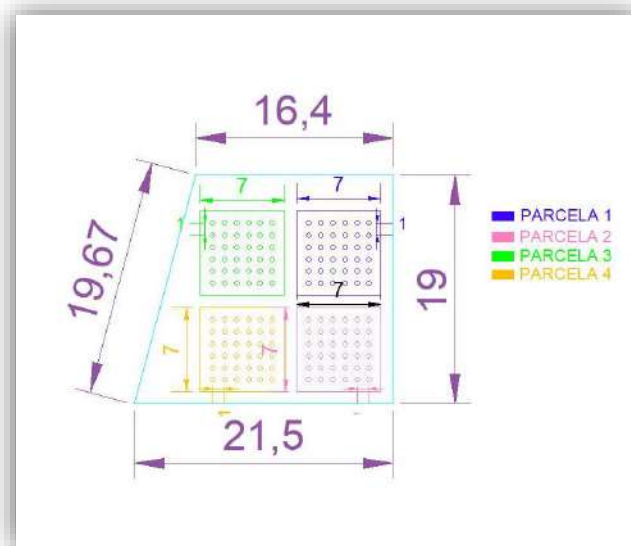
1. Diseño y planificación para establecer los cultivos de Leucaena, matarratón y tratamiento de Urea.

Las semillas de las especies de Leucaena (*Leucaena leucocephala*) y Matarratón (*Gliricidia sepium*), se adquirieron por compra directa y donaciones. Al obtener las semillas, se diseñó y planifiqué cuatro (4) parcelas cuadradas de 7 m x 7 m, el cual da un área total de 49

m^2 . Cada parcela tiene un diseño y planificación de 700 cm x 700 cm, con una separación desde la cerca, hasta la primera semilla de 100 cm, con el fin de evitar afectaciones por distintas especies en sus alrededores, interrumpieran el crecimiento de estas plantas. Las semillas se obtuvieron por medio de compras o donaciones, de tal forma se ejecutó la siembra para dar inicio al tratamiento en remediar las áreas seleccionadas del suelo de la Finca La Fortuna, dando los diferentes cuidados y el desarrollo a estas especies, el cual, se le agrego cierta cantidad diferente de Kg de NITROGENO (N) a todas las parcela que se hará el estudio, en la 1 parcela se le agregaron 0,600kg a la 2 parcela 0,750kg que es el aumento a un 25% de la anterior dosis, en la 3 parcela se aumentó un 50% de la dosis aplicada en la 1 parcela (0,900kg) y en la 4 parcela será el aumento del 75% de la 1 parcela (1.05kg).

El diseño cada parcela se presenta a continuación:

Figura 1 *Diseño de las parcelas en AutoCAD.*

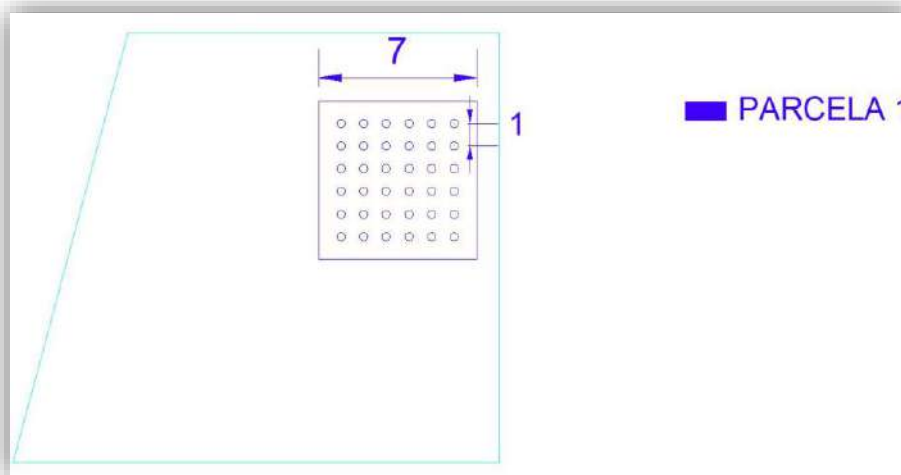


Fuente: Elaborado por los autores en AutoCAD, 2026.



**5.5.2.1 *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) y *Matarratón* (*Gliricidia sepium*) con
Fertilizante nitrogenado solido (urea) (N) y sus hojas.**

Figura 2. Parcela N° 1 (*Leucaena* y *Matarratón*).



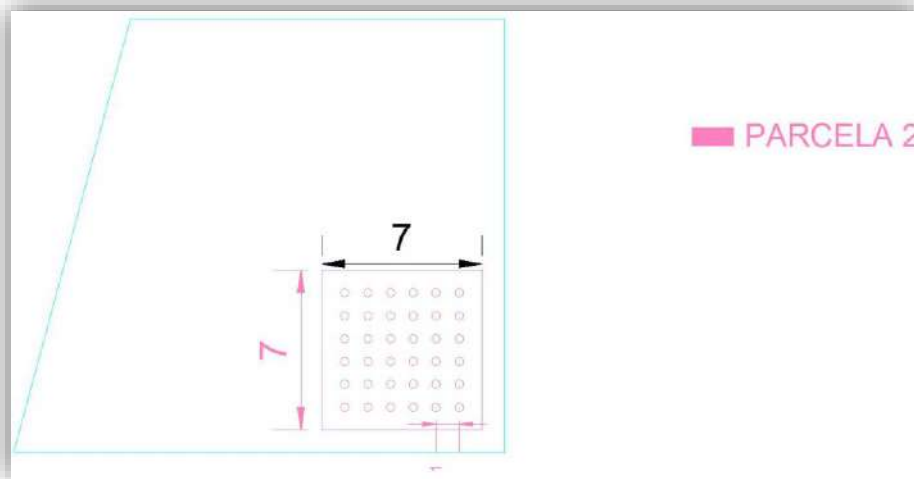
Fuente: Elaborado por los autores en AutoCAD, 2026.

Se sembraron 18 especies de *Leucaena* y 18 especies de *Matarratón*, dando un total de 36 especies. La separación entre cada siembra de *Leucaena* y *Matarratón*, son de 1 m entre surcos de cada especie y 1 metro entre la misma especie, es decir, cada surco tiene 6 especies de *Leucaena* y 1 metro entre plantas, el mismo método para el *Matarratón*. La distancia de la cerca de las primeras semillas es de 1 m. Se debe tener en cuenta que la especie de *Leucaena* tiene una mayor germinación mediante la reproducción sexual (Semillas) y el *Matarratón* por la reproducción asexual (Estacas), (leucocephala, 1987) y (Cuervo-Jiménez, s.f.). La cantidad de Nitrógeno que se suministró a esta parcela se determinó teniendo en cuenta el análisis de suelo, para calcular la cantidad de fertilizante nitrogenado solido (urea) que se aplicó, se realizó una regla de tres simple utilizando los datos conocidos.

La parcela tiene un área de 49m^2 , y se sabe que para un área de 10.000m^2 se aplican 120kg de fertilizante nitrogenada solida (urea). A partir de esta relación, se calculó la cantidad correspondiente para la parcela en estudio, se obtuvo como resultado una dosis de 0,600kg de urea, esta dosis se aplica 2 veces, la primera a los 8 días de la siembra y la segunda dosis se aplicó a los 22 días de la primera dosis.

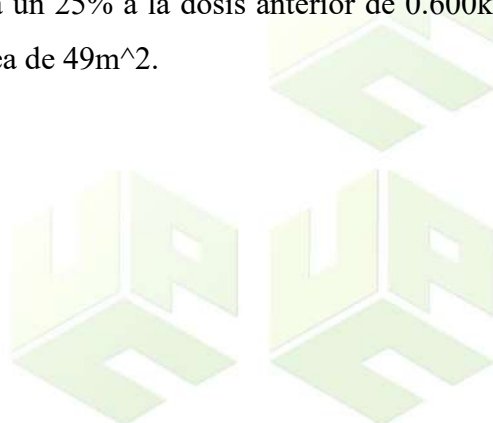
5.5.2.2 *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) y *Matarratón* (*Gliricidia sepium*) con fertilizante Nitrogenado Sólido (urea) (N) y sus hojas.

Figura 3. Parcela N° 2 (*Leucaena* y *Matarratón*).



Fuente: Elaborado por los autores en AutoCAD, 2026.

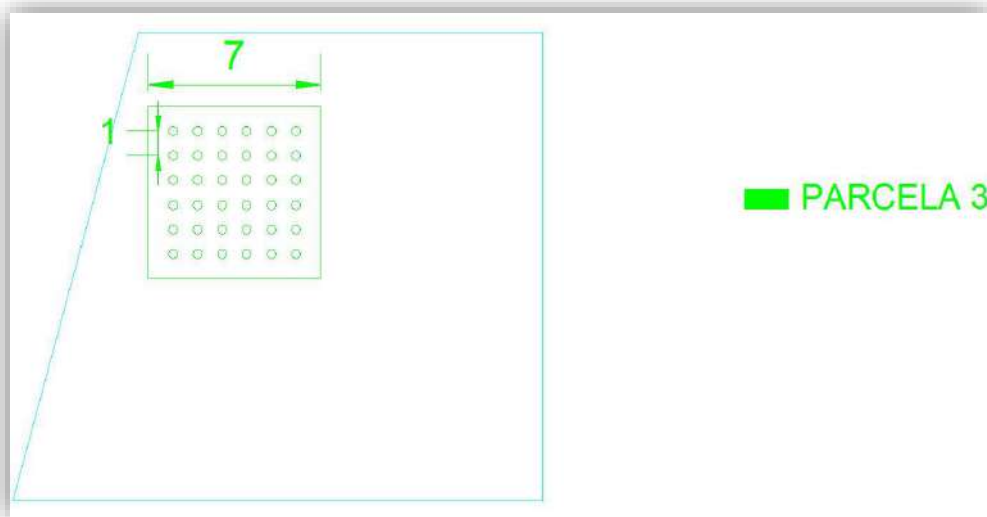
Se sembraron 18 especies de *Leucaena* y 18 especies de *Matarratón*, dando un total de 36 especies. La separación entre cada siembra de *Leucaena* y *Matarratón*, son de 1 m entre surcos de cada especie y 1 metro entre la misma especie, es decir, cada surco tiene 6 especies de *Leucaena* y 1 metro entre plantas, el mismo método para el *Matarratón*. La distancia de la cerca de las primeras semillas es de 1 m. Se debe tener en cuenta que la especie de *Leucaena* tiene una mayor germinación mediante la reproducción sexual (Semillas) y el *Matarratón* por la reproducción asexual (Estacas), (leucocephala, 1987) y (Cuervo-Jiménez, s.f.). La cantidad de Nitrógeno suministrado a la parcela depende del análisis del suelo inicial y también se tomó en cuenta la aplicación del fertilizante nitrogenado sólido (urea) de la parcela anterior para aumentar a criterio de los investigadores, se aumenta un 25% a la dosis anterior de 0.600kg, está parcela se le aplicó una dosis de 0.750kg a un área de 49m².



5.5.2.3 *Leucaena (Leucaena leucocephala)* con fertilizante Nitrogenado Sólido

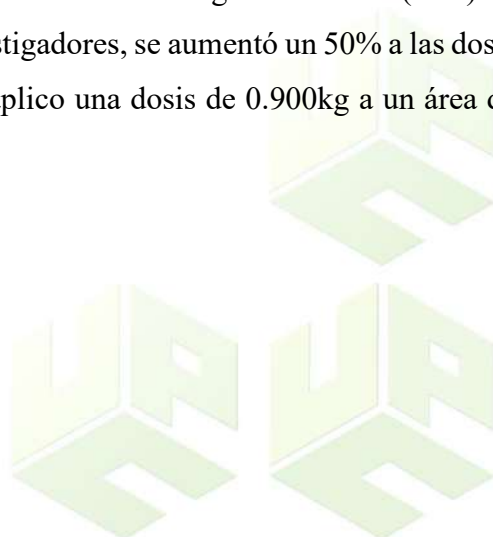
(Urea) y sus hojas.

Figura 4. Parcela N° 3 (*Leucaena*).



Fuente: Elaborado por los autores en AutoCAD, 2026.

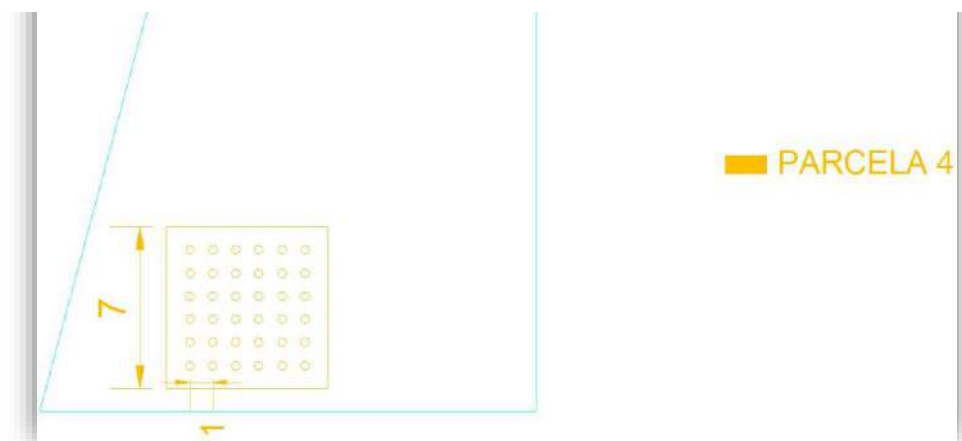
Se sembraron 36 especies de *Leucaena*. La separación entre cada siembra de *Leucaena*, son de 1 m entre surcos de la especie y 1 metro entre la misma especie, es decir, cada surco tiene 6 especies de *Leucaena* y 1 metro entre plantas. La distancia de la cerca de las primeras semillas es de 1 m. Se debe tener en cuenta que la especie de *Leucaena* tiene una mayor germinación mediante la reproducción sexual (Semillas), (*leucocephala*, 1987) y (Cuervo-Jiménez, s.f.). La cantidad de Nitrógeno suministrado a la parcela depende del análisis del suelo inicial y también se toma en cuenta la aplicación del fertilizante nitrogenado solido (urea) de la parcela anterior para aumentar a criterio de los investigadores, se aumentó un 50% a las dosis de la primera parcela de 0.600kg, esta parcela se le aplico una dosis de 0.900kg a un área de $49m^2$.



5.5.2.4 Matarratón (*Gliricidia sepium*) con fertilizante Nitrogenado Sólido (urea)

(N) y sus hojas.

Figura 5. Parcela N° 4 (Matarratón).



Fuente: Elaborado por los autores en AutoCAD, 2026.

Se sembraron 36 especies de Matarratón. La separación entre cada siembra de Matarratón, son de 1 m entre surcos de la especie y 1 metro entre la misma especie, es decir, cada surco tiene 6 especies de Matarratón y 1 metro entre plantas. La distancia de la cerca a las primeras semillas es de 1 m. Se debe tener en cuenta que la especie de Matarratón tiene una mayor germinación mediante la reproducción sexual (Semillas), (leucocephala, 1987) y (Cuervo-Jiménez, s.f.). La cantidad de Nitrógeno suministrado a la parcela depende del análisis del suelo inicial y también se toma en cuenta la aplicación del fertilizante nitrogenado sólido (urea) de la parcela anterior para aumentar a criterio de los investigadores, se aumentó un 75% a las dosis de la primera parcela de 0.600kg, esta parcela se le aplicó una dosis de 1.05kg a un área de 49m².

2. Mantenimiento (deshierbes, aplicación de tratamientos y deshojes) para incorporar al suelo cuando se encuentren los cultivos en maduración

5.5.3 FASE 3: Evaluar los efectos de los diferentes establecimientos *Leucaena*, matarratón y tratamiento de Nitrógeno en las parcelas programadas para determinar conclusiones y las recomendaciones.

1. Evaluación de los resultados esperados.

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 FASE 1: Comparar la parte física y química del suelo teniendo en cuenta el análisis inicial con el análisis final, después de haber realizado los tratamientos en cada parcela.

En esta fase metodológica se realizó un análisis comparativo de las propiedades físicas y químicas del suelo, considerando los resultados iniciales y finales tras la aplicación de los tratamientos de cada parcela. Con el objetivo de evaluar los cambios generados y su influencia en el comportamiento del suelo. Se estudian variables físicas como textura, color, densidad y porosidad. Asimismo, se analizan parámetros químicos asociados a la fertilidad, incluyendo pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica. También se consideran macronutrientes, micronutrientes y bases intercambiables. La comparación de estos indicadores permite identificar mejoras o posibles desequilibrios. Esto proporciona una base técnica para interpretar la respuesta del suelo. Finalmente, se logra una caracterización integral antes y después del manejo experimental

6.1.1 *Análisis completo inicial de las partes físicas* (Textura, Temperatura, Densidad aparente, densidad real, y porcentaje de porosidad) y químicas (pH, Conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio catiónico, materia Orgánica, nitrógeno, fosforo, potasio, relación de carbono/nitrógeno, bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio), aluminio intercambiable, nitrógeno y carbono total, algunos micronutrientes (carbono, hierro, manganeso, cobre y zinc).

A continuación, se presentan los resultados del análisis inicial del suelo, de sus propiedades químicas, las físicas se determinaron mediante el método de hidrómetro de Bouyoucos. Esta información sirve como base para la interpretación técnica y el manejo agronómico del suelo.

6.1.1.1 Analisis y resultados de la parte fisica del laboratorio

6.1.1.1.1 MATERIALES

- Pala
- Palín
- Machete

- Balde
- Bolsas Plásticas
- Cilindro
- Probeta de 1000ml
- Beacker
- Espátula
- Batidora
- Gramera
- Agitador
- Rotulador

6.1.1.1.1 Reactivos

- Polifosfato de sodio

6.1.1.1.2 Método del hidrómetro de Bouyoucos

Primero se pesó 40g de polifosfato de sodio y 50g de muestra de suelo, Después se usó un Beacker y se le adiciono 50ml de agua destilada y se disolvieron los 40gr de polifosfato de sodio, esta solución se pasa al baso agitador y se agrega los 50g de suelo más 400ml de agua destilada, esta mezcla se pasa a la agitadora por 5min. Posteriormente se envasa en una probeta y se llena hasta 1000ml completando con agua destilada, teniendo en cuenta que para las arenas se hace la lectura a los 40 segundos y a las 2 horas para la arcilla.

Ilustración 2 *Determinación de la textura del suelo por el método de hidrómetro de Bouyoucos.*



6.1.1.1.2.1 *Determinación de la densidad real y aparente*

Para hallar la densidad real y aparente, primeramente, se separó la humedad del suelo, utilizando la fórmula para secar el suelo:

Ecuación 1 Pasar de suelo húmedo a suelo seco.

$$\text{peso gr} \times \frac{12.845}{100}$$

Tabla 5 Datos de la parcela testigo, suelo húmedo y suelo seco.

SUELO SECO				
PARCELAS	PESO DR gr	SUELO SECO DR	PESO DA gr	SUELO SECO DA
TESTIGO	1950	1699,523	952	829,716

Fuente: Elaboración propia

Luego se procede a medir el volumen del suelo, mediante el cilindro donde se obtuvo el siguiente resultado:

Ecuación 2 Hallar el volumen del cilindro.

$$V_c = \pi \times r^2 \times h$$

Tabla 6 Dato de la parcela testigo, el volumen del cilindro de la parcela testigo.

VOLUMEN DEL SUELO CM ³		1274,230
r CM	h CM	FUNCION PI
5,2	15	3,141592654

Fuente: Elaboración propia

Después, se aplica la fórmula de densidad real y densidad aparente, esta se presenta en gramos por centímetro cúbico.

Ecuación 3 Hallar la Densidad real y Densidad aparente.

$$Dr = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{volumen del suelo}} ; Da = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{volumen del suelo}}$$

Tabla 7 Datos de la parcela testigo, densidades.

DENSIDADES		
PARCELAS	DR gr/cm³	DA gr/cm³
TESTIGO	1,334	0,651

Fuente: Elaboración propia

La densidad aparente (0,651), está en el rango de < 1.1 de acuerdo con (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016) y (FAO, 2006), se interpreta que este suelo es muy suelto, con materia orgánica moderada.

Tabla 8. Interpretación de la Densidad Aparente.

Densidad Aparente (g/cm³)	Interpretación	Condición del suelo
< 1.1	Muy baja	Suelo muy suelto, alto contenido de materia orgánica.
1.1 - 1.3	Baja	buena estructura, ideal para cultivos.
1.3 - 1.5	Media	normal, aceptable.
1.5 - 1.7	Alta	compactación Moderada.
> 1.7	Muy alta	Suelo compactado, limita raíces.

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2026.

La densidad real (1,334) esta densidad está en el rango de $< 2,5$ esto indica que tiene materia orgánica, no en grandes cantidades, pero si se presenta en el suelo, Aunque es anormal ya que esta siempre se encuentra cerca de 2,65 g/cm³.

Tabla 9 Interpretación de la Densidad Real

Densidad Real (g/cm³)	Interpretación
2.5 - 2.7	Normal (Suelo Minerales)
< 2.5	Alto contenido de materia orgánica
> 2.7	Presencia de minerales pesados

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2025.

6.1.1.1.2.2 Determinación del % de porosidad

El porcentaje de porosidad se determina para saber que cantidad de espacio (poros) hay en el suelo, ya que estos son los que almacenan agua y aire, esto es fundamental para las plantas.

El % de porosidad se determina con los cálculos de la densidad real y densidad aparente, con la siguiente formula:

Ecuación 4 Hallar el % de porosidad del suelo.

$$\%P = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100$$

Tabla 10 Datos de la parcela testigo, % porosidad.

POROSIDAD	
PARCELAS	% POROSIDAD
TESTIGO	51,17948718

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Interpretación del suelo según su % de porosidad.

Clasificación Según su Porosidad	
Porosidad Total	Clasificación
>70	Excesiva
55 a 70	Excelente
50 a 55	Satisfactoria
40 a 50	Baja
<40	Muy Baja

Fuente: AGROSAVIA, 2022

De acuerdo con el porcentaje de porosidad (51%), esto nos indica que el suelo tiene una buena retención de agua y es ideal para muchos cultivos.

6.1.1.1.2.3 *Determinación de la textura del suelo*

Teniendo en cuenta lo resultados obtenidos en el laboratorio a las 40s y 2h.

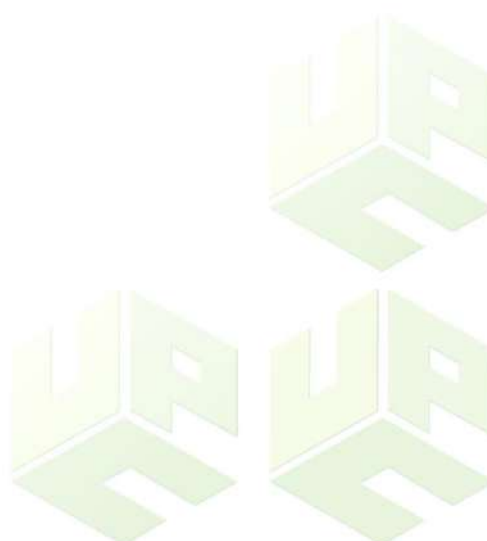
Tabla 12 *Datos obtenidos en el laboratorio de suelo.*

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA				
PARCELAS	40s		2h	
	°C	cm	°C	cm
TESTIGO	28,6	11	27,1	10

Para determinar la textura debemos tener en cuenta el factor de corrección de temperatura tanto para la muestra que se tomó a los 40s y la muestra a las 2h.

Ilustración 3 *Tabla de corrección de temperatura*

Temperatura (°C)	Factor de corrección
14	-1.46
16	-0.98
18	-0.44
19.44 (67 °F)	0.00
20	+0.18
21	+0.52
22	+0.86
23	+1.23
24	+1.61
25	+2.00
26	+2.41
27	+2.85



28	+3.28
29	+3.74
30	+4.20

ahora se allá la lectura corregida del hidrómetro de Bouyoucos a los 40s y 2h, utilizando la siguiente formula:

Ecuación 5 *Determinar la textura corregida de la parcela testigo.*

$$L_c = \text{Lectura real del hidrómetro de Bouyoucos} - \text{lectura del agua} \\ \pm \text{Factor de corrección de la temperatura}$$

Tabla 13 *Datos de la parcela testigo para la determinación de la textura.*

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA								
PARCEL AS	SIGNO	FACTOR DE CORRECI ON 40s	Dr 40s cm	LECTURA CORREGI DA cm	SIGNO	FACTOR DE CORRECI ON 2h	Dr 2h cm	LECTURA CORREGI DA cm
TESTIG O	+	3,74	11	14,74	+	2,85	10	12,85

Fuente: *Elaboración propia*

Ahora tomando en cuenta el resultado del suelo seco se saca los porcentajes de arena total, arcilla y limo totales del suelo, La masa de suelo seco que debemos usar es el peso de suelo que se utilizó en el método de Bouyoucos (40g), a este peso se le saca el peso de suelo seco

Ecuación 6 Hallar los porcentajes de Arena, Arcilla y Limo.

$$\% \text{Arena total} = 100 - [\text{lectura corregida 40s} \times 100/\text{g masa suelo seco}]$$

$$\% \text{Arcilla total} = [\text{lectura corregida 2h} \times 100/\text{g masa suelo seco}]$$

$$\% \text{Limo total} = 100 - [\% \text{Arena total} - \% \text{Arcilla total}]$$

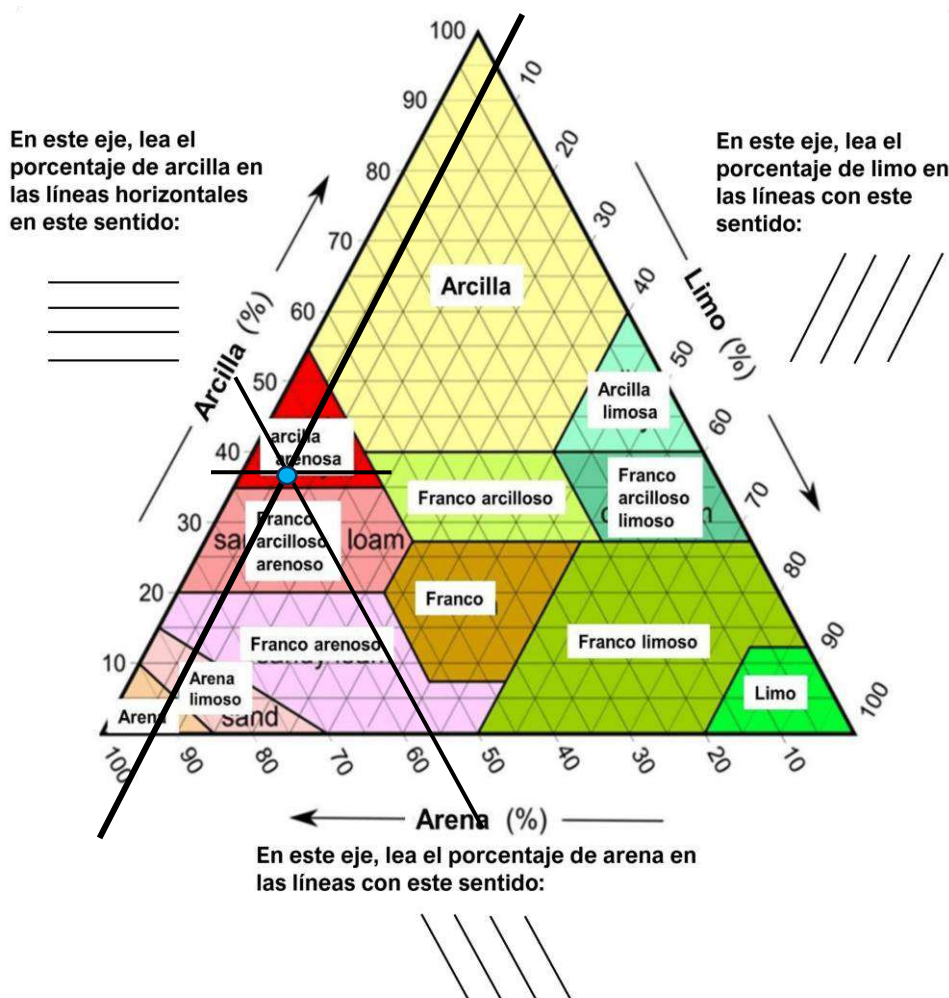
Tabla 14 Datos para determinar la textura de la parcela testigo.

TEXTURA Dr				
PARCELAS	%ARENA TOTAL	%ARCILLA TOTAL	%LIMO	TEXTURA
TESTIGO	57,7	36,9	5,4	ARCILLA ARENOSA

Fuente: Elaboración propia

Se le denomina la textura según el triángulo textural, como lo indica el punto Azul.

Ilustración 4 Textura del suelo de la parcela testigo.



Fuente: Elaboración propia.

La textura del suelo Arcilla Arenosa, tienes una textura mixta donde domina la arena con una proporción significativa de arcilla, este suelo tiende a retener tanto agua como nutrientes.

6.1.1.2 Analisis y resultados de la parte química del laboratorio.

Ilustración 5 Resultados de las pruebas Químicas Iniciales

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Determinación de pH (1:2,5)	Unidades de pH	Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.	8.67	Muy alcalino
Determinación de Conductividad eléctrica	dS/m	NTC 5596:2008 Método B.	0.45	No salino
Determinación de Carbono Orgánico	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 5, 2024-07-17	0.28	No Aplica
(*)Materia orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkley & Black	0.48	Bajo
Determinación de Fósforo (P) disponible	mg/kg	Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 07, 2021-10-25.	2.24	Bajo
(*)Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio	7.10	Bajo
(*)Capacidad Interc. Catiónica Efect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	12.31	Media
(*) Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio	0.23	Medio
(*)Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl	ND	No Indica
(*)Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	ND	Sin restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-007-24	8.58	Alto
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-007-24	2.66	Alto
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-007-24	0.30	Medio

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-007-24	0.77	Normal
Hierro (Fe) Olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007 Método D.	16.86	Bajo
Cobre (Cu) Olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007 Método D.	1.15	Medio
Manganeso (Mn) Olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007 Método D.	1.78	Bajo
Zinc (Zn) Olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007 Método D.	<1.00	Bajo
(*)Saturación de Calcio	%	Cálculo	70	Alto
(*)Saturación de Magnesio	%	Cálculo	22	Medio
(*)Saturación de Potasio	%	Cálculo	2	Medio
(*)Saturación de Sodio	%	Cálculo	6	Normal
(*)Saturación de Aluminio	%	Cálculo	0	Normal

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR
(*)Nitrógeno total (NT)	g/100g	Kjeldahl	0.18

Fuente: Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA), 2025

pH

Según (Ortega) (pág. 11) y (Baquero) (pág. 9), tenemos un pH de 8.67 (>8.0) es Muy Alcalino. Posible exceso de sodio intercambiable. Se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos.

Conductividad Eléctrica (C.E)

Tenemos una C.E. de 0.45 Milimhos/cm (dS/m = Milimhos/cm), basado en la Tabla 15 (Ortega) pág. 16): 0-2 Milimhos/cm = No salino. Es decir, sin problemas de sales.

Tabla 15 interpretación de la C.E. del extracto del suelo (Milimhos/cm)

Tabla 1 INTERPRETACION DE LA C.E. DEL EXTRACTO DEL SUELO (milimhos/cm)				
0-2	0-4	4-8	8-16	16
No salino	Muy ligeramente salino	Moderadamente salino	Fuertemente salino	Muy fuertemente salino

Materia Orgánica (MO)

En la Tabla 16 (Baquero), pág. 10: Para clima cálido, <2% es Bajo, debido a que nuestro análisis nos indica que es de (0.48%). La MO es fuente de N, P, S y Micronutrientes. Cada 1% de MO aporta ~2 Meq/100gr a la CIC.

Tabla 16 Estimativo de materia orgánica en los suelos

Tabla 2. Estimativo de materia orgánica en los suelos			
CLIMA	INTERPRETACION DEL % DE MATERIA ORGANICA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Frio	Menor de 5	5.10	Mayor de 10
Templado	Menor de 3	3.5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2.3	Mayor de 3

Carbono Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 0.48%, el cual sería mediante la siguiente formula:

Ecuación 7 Determinar el Carbono Total.

$$CT = \frac{MO}{1,724}$$

$$CT = \frac{0.48\%}{1,724} \times 100 = 0,28\%$$

Nitrógeno Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 0.48%, el cual sería mediante la siguiente formula:

Ecuación 8 *Determinar el Nitrógeno Total.*

$$NT = \frac{MO}{20}$$

$$NT = \frac{0.48\%}{20} \times 100 = 0,024\%$$

Mediante la Tabla 17 (Ortega), pág. 11, nos indica que en Clima Cálido nuestro NT es Bajo, porque nuestra cantidad fue de 0,024%, el cual nos da a entender que es <0,10% la interpretación.

Tabla 17 *Estimativo Conceptual Del Nitrógeno En Los Suelos*

Tabla 3. ESTIMATIVO CONCEPTUAL DEL NITRÓGENO EN LOS SUELOS			
C L I M A	Interpretación del % de N. Total		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	Menor de 0,25	0,25 - 0,50	Mayor de 0,50
Medio	Menor de 0,15	0,15 - 0,25	Mayor de 0,25
Cálido	Menor de 0,10	0,10 - 0,20	Mayor de 0,20

Relación C/N

Según (Ortega), esta relación da una idea de los procesos que están regulando el estado del nitrógeno en el suelo, el cual se hace mediante una calificación para determinar su nivel, mediante la Tabla 18:

Tabla 18 *RELACION C/N*

Relación C/N		
Calificación	Valor analítico	Interpretación
<10	Baja	Alta mineralización

10-12	Media	Mineralización “normal”
>12	Alta	Mineralización lenta

Fuente: Elaboración propia

Entonces aplicando la siguiente formula:

Ecuación 9 *Determinar la Relación Carbono/Nitrógeno.*

$$R = \frac{C}{N}$$

$$R = \frac{0,28\%}{0,024} = 11,7$$

Entonces esto nos da a entender que nuestra Relación C/N se encuentra en un Nivel Media, con una “Mineralización Normal” con respecto al cálculo y formula anterior.

Fosforo (P)

En la Tabla 19 (Ortega) pág. 13-14 nos muestran los niveles críticos para Fosforo por tres métodos, se utiliza el siguiente: método Bray II, nos indica que <20 ppm = ALTA probabilidad de respuesta (>80%). En donde tenemos un 2.24 ppm (ppm = mg/kg), el cual se da a entender que la cantidad es BAJA.

Tabla 19 *Calibración De Fosforo Aprovechable En Suelos (+)*

Tabla 5 CALIBRACION DE FOSFORO APROVECHABLE EN SUELOS (+)		
M E T O D O	Nivel para alta respuesta (ppm)	Nivel para baja respuesta (ppm)
Bray I	Menor que 10	Mayor que 25
Bray II	Menor que 20	Mayor que 40
Olsen	Menor que 12	Mayor que 35
(+) Frye, 1972 .		

Azufre (S)

Según los resultados obtenidos de AGROSAVIA la cantidad de 7.10 ppm (ppm = mg/kg), nos da a entender que <10 ppm es considerado BAJO la cantidad de Azufre, el cual, es un elemento secundario esencial.

Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)

En la Tabla 20 según (Ortega) pág., 14, de 10-20 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg) es una cantidad MEDIA, dado que nuestro resultado es de 12.31 meq/100gr. En donde, lo podremos ver en los siguientes rangos:

Tabla 20 *Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)*

Menor que 10 meq / 100 g	: Baja
10 - 20 meq / 100 g	: Media
Mayor que 20 meq / 100 g	: Alta.

Boro (B)

Con la siguiente tabla 21 basada en el ICA, tenemos la cantidad e interpretación:

Tabla 21 *Boro Disponible*

Boro disponible	
<0.20	Bajo
0.20 - 0.40	Medio
>0.40	Alto

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla anterior, nos da a entender que nuestro Boro se encuentra en una cantidad MEDIA, debido a que nuestros resultados fueron de 0.23 mg/kg.

Acidez (Al+H)

Tenemos que se encuentra Sin Restricción, porque el pH es de 8.67 (Muy Alcalino), es decir, >5.5 que indica ausencia de toxicidad por Aluminio.

Calcio (Ca)

Mediante la Tabla 22 (Baquero), pág. 12: tenemos que nuestro resultado es de 8.58 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es ALTO, el cual, nos indica que es >6 meq/100gr. La Saturación es de 70% que también es ALTO por ser >50%.

Tabla 22 *Estimativo conceptual de las bases en el suelo*

Tabla 3. Estimativo conceptual de las bases en el suelo				
ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Magnesio (Mg)

Mediante la Tabla 23 (Baquero), pág. 12: tenemos que nuestro resultado es de 2.66 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es ALTO, el cual, nos indica que esta se encuentra en >2.5 meq/100gr. La Saturación es de 22% que también es MEDIO, lo cual, es un rango ideal por encontrarse entre 15-25%.

Tabla 23 *Estimativo conceptual de las bases en el suelo*

Tabla 3. Estimativo conceptual de las bases en el suelo				
ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Potasio (K)

Mediante la Tabla 24 (Baquero), pág. 12: tenemos que nuestro resultado es de 0.30 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es BAJO, el cual, nos indica que esta se encuentra 0.20-0.30 meq/100gr. La Saturación es de 2% que es MEDIO, lo cual, está en el límite inferior con alta probabilidad de respuesta a fertilización potásica (>80%).

Tabla 24 *Estimativo conceptual de las bases en el suelo*

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Sodio (Na)

Mediante la Tabla 25 (Baquero), pág. 12: tenemos que nuestro resultado es de 0.77 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que debe ser <1. La Saturación es de 6% nos indica que debe ser <15%, es decir, se encuentra NORMAL sin riesgo de sodicidad.

Tabla 25 *Estimativo conceptual de las bases en el suelo*

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Relación Ca: Mg: K

Mediante la Tabla 22-23-24 (Baquero) pág. 12, nos indican que una relación normal debe ser Ca (3): Mg (1): K (0.25). En comparación con nuestros resultados que fueron: Ca (8.58): Mg (2.66): K (0.30), es decir, se encuentra una relación desbalanceada por exceso de Ca.

Hierro (Fe)

Debido al suelo Muy Alcalino ($\text{pH} > 8.0$) se reduce drásticamente la disponibilidad de micronutrientes como (B, Fe, Cu, Mn y Zn), con una cantidad Baja de 16.86 mg/kg.

Cobre (Cu)

Su cantidad que es 1.15 mg/kg nos indica que su cantidad es Medio, es decir, deficiente y la alcalinidad inhibe su absorción.

Manganeso (Mn)

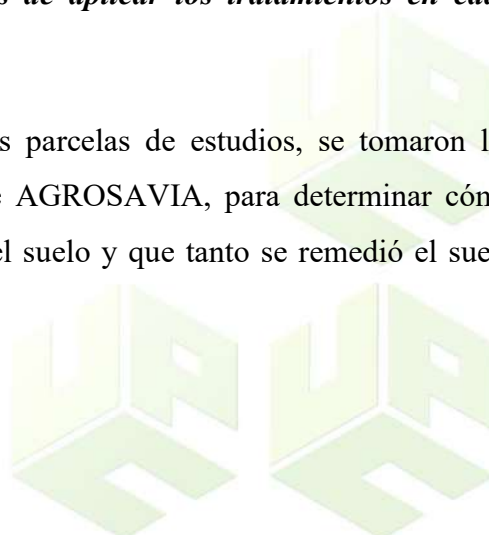
Su cantidad que es 1.78 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente por la alcalinidad y reduce la disponibilidad del Mn.

Zinc (Zn)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es común en suelos alcalinos.

6.1.2 *Elaborar el análisis completo final después de aplicar los tratamientos en cada parcela.*

Después de 3 meses del tratamiento con las parcelas de estudios, se tomaron las muestras de cada parcela siguiendo los métodos de AGROSAVIA, para determinar cómo influye la plantación de Leucaena y Matarraton en el suelo y que tanto se remedió el suelo durante ese periodo.



6.1.2.1 PARCELA 1:

6.1.2.1.1 Análisis y resultados de la parte física de laboratorio

6.1.2.1.1.1 Determinación de la densidad real y aparente

Para hallar la densidad real, primeramente, se separa la humedad del suelo, utilizando la fórmula para secar el suelo (Ecuación 1).

Tabla 26 Datos suelo seco parcela 1.

SUELO SECO				
PARCELAS	PESO DR	SUELO SECO	PESO DA	SUELO SECO
	gr	DR	gr	DA
1	1975	1721,311	968	843,660

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a medir el volumen del suelo, se obtuvo el siguiente resultado Utilizando la (Ecuación 2).

Tabla 27 Datos volumen del suelo parcela 1.

VOLUMEN DEL SUELO		1274,230
CM ³		
r CM	h CM	FUNCION
		PI
5,2	15	3,141592654

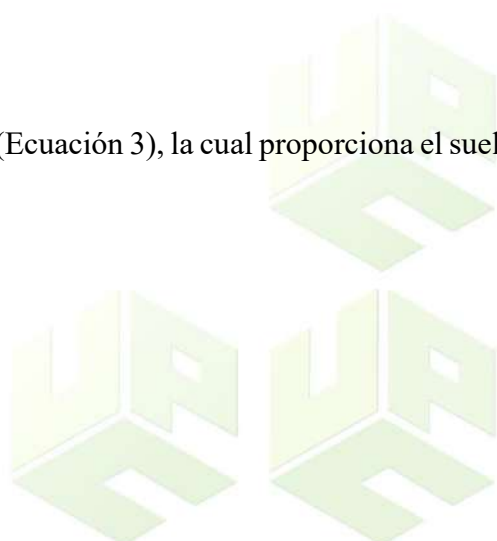
Fuente: Elaboración propia

Después, se aplica la fórmula de densidad real (Ecuación 3), la cual proporciona el suelo en gramos por centímetro cúbico.

Tabla 28 Datos de las densidades de la parcela 1.

DENSIDADES			
PARCELAS	DR	gr/cm ³	DA gr/cm ³
1		1,351	0,662

Fuente: Elaboración propia



La densidad aparente (0,662), está en el rango de < 1.1 de acuerdo con (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016) y (FAO, 2006), se interpreta que este suelo es muy suelto, con materia orgánica moderada.

Tabla 29 Interpretación de la Densidad Aparente.

Densidad Aparente (g/cm ³)	Interpretación	Condición del suelo
< 1.1	Muy baja	Suelo muy suelto, alto contenido de materia orgánica.
1.1 - 1.3	Baja	buena estructura, ideal para cultivos.
1.3 - 1.5	Media	normal, aceptable.
1.5 - 1.7	Alta	compactación Moderada.
> 1.7	Muy alta	Suelo compactado, limita raíces.

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2026.

La densidad real (1,351) esta densidad está en el rango de $< 2,5$ esto indica que tiene materia orgánica, no en grandes cantidades, pero si se presenta en el suelo, Aunque es anormal ya que esta siempre se encuentra cerca de 2,65 g/cm³.

Tabla 30 Interpretación de la Densidad Real

Densidad Real (g/cm ³)	Interpretación
2.5 - 2.7	Normal (Suelo Minerales)
< 2.5	Alto contenido de materia orgánica
> 2.7	Presencia de minerales pesados

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2025.

6.1.2.1.1.2 Determinación del % de porosidad

El porcentaje de porosidad se determina para saber que cantidad de espacio (poros) hay en el suelo, ya que estos son los que almacenan agua y aire, esto es fundamental para las plantas.

El % de porosidad se determina con los cálculos de la densidad real y densidad aparente, (Ecuación 4).

Tabla 31 Datos de % de porosidad de la parcela 1.

POROSIDAD	
PARCELAS	% POROSIDAD
1	50,98734177

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Interpretación del suelo según su % de porosidad.

Clasificación Según su Porosidad	
Porosidad Total	Clasificación
>70	Excesiva
55 a 70	Excelente
50 a 55	Satisfactoria
40 a 50	Baja
<40	Muy Baja

Fuente: AGROSAVIA, 2022

De acuerdo con el porcentaje de porosidad (51%), esto nos indica que el suelo tiene una buena retención de agua y es ideal para muchos cultivos.

6.1.2.1.1.3 Determinación de la textura del suelo

Para determinar la textura debemos tener en cuenta el factor de corrección de temperatura tanto para la muestra que se tomó a los 40s y la muestra a las 2h (ver ilustración 3).

ahora se allá la lectura corregida del hidrómetro de Bouyoucos tanto para 40s y 2h, utilizando la (Ecuación 5).

Tabla 32 Datos para determinar la textura de la parcela 1.

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA								
PARCELAS	SIGNO	FACTOR DE CORRECCION 40s	LECTURA CORREGIDA cm	SIGNO	FACTOR DE CORRECCION 2h	LECTURA CORREGIDA cm		
1	+	3,74	12	+	2,85	11	13,85	

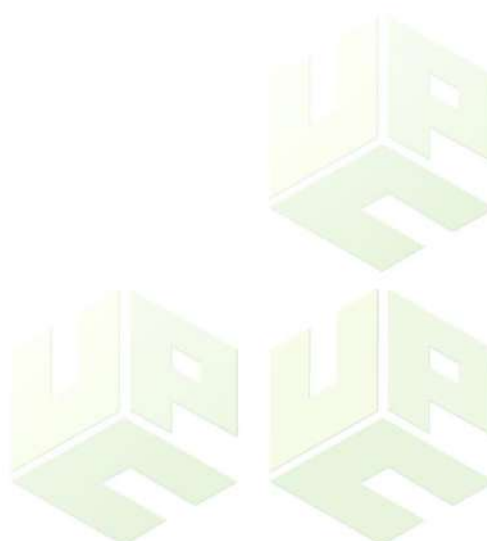
Fuente: Elaboración propia

Ahora tomando en cuenta el resultado del suelo seco se saca los porcentajes de arena total, arcilla y limo totales del suelo (Ecuación 6), La masa de suelo seco que debemos usar es el peso de suelo que se utilizó en el método de Bouyoucos (40g), a este peso se le saca el peso de suelo seco (Ecuación 1).

Tabla 33 Datos para saber la textura de la parcela 1.

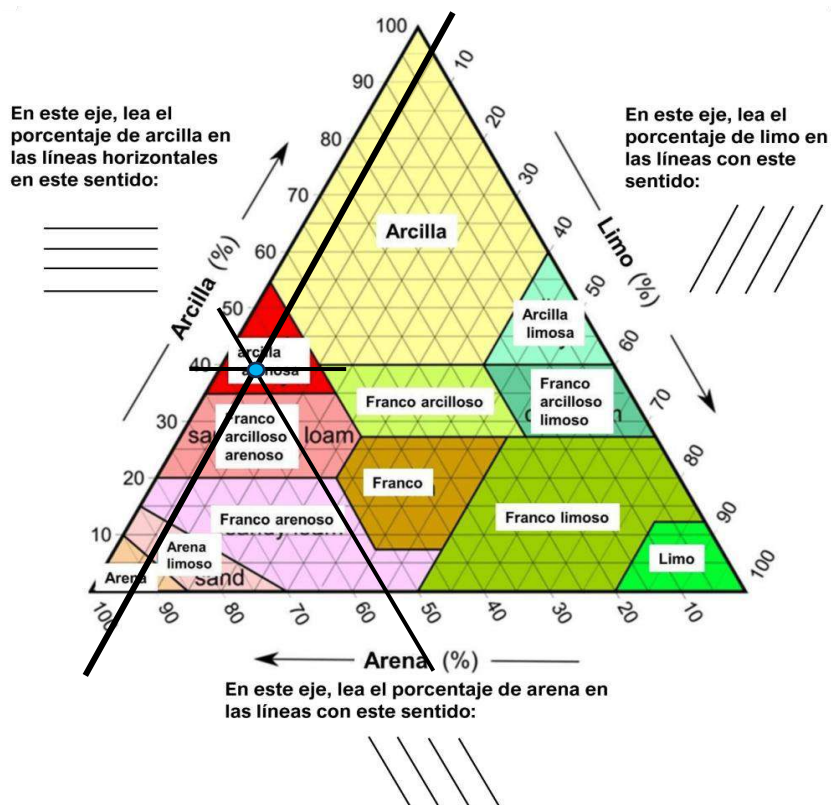
TEXTURA				
PARCELAS	%ARENA TOTAL	%ARCILLA TOTAL	%LIMO	TEXTURA
1	54,9	39,7	5,4	ARCILLA ARENOSA

Fuente: Elaboración propia



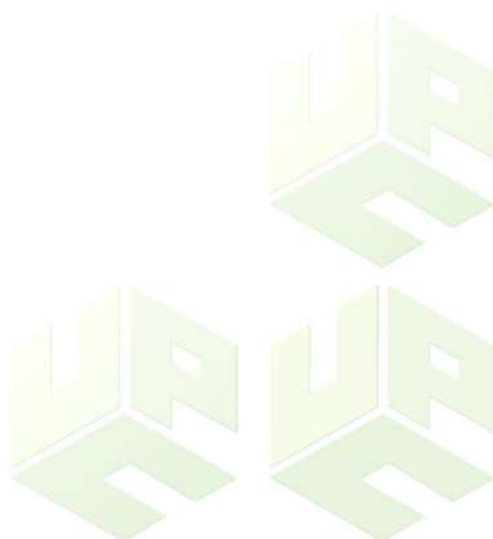
Se le denomina la textura según el triángulo textural, como lo indica el punto azul.

Ilustración 6 *Textura de suelo de la parcela 1.*



Fuente: Elaboración propia

La textura del suelo Arcilla Arenosa, tiene una textura mixta donde domina la arena con una proporción significativa de arcilla, este suelo tiende a retener tanto agua como nutrientes.



6.1.2.1.2 Análisis y resultados de la parte química de laboratorio.

Ilustración 7 Resultados de las pruebas Químicas

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Determinación de pH (1:2,5)	Unidades de pH	Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.	7.77	Alcalino
Determinación de Conductividad eléctrica	dS/m	NTC 5596:2022 Método B.	0.25	No salino
Determinación de Carbono Orgánico	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 5, 2024-07-17	0.90	No Aplica
(*)Materia orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkley & Black	1.55	Bajo
Determinación de Fósforo (P) disponible	mg/kg	Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 08, 2025-04-04.	2.23	Bajo
(*)Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	3.41	Bajo
(*)Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	10.11	Media
(*) Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	0.20	Medio
(*)Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl	ND	No Indica
(*)Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	ND	Sin restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	7.04	Alto
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	2.42	Medio

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	0.17	Bajo
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	0.48	Normal
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	13.34	Bajo
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
(*)Saturación de Calcio	%	Cálculo	70	Alto
(*)Saturación de Magnesio	%	Cálculo	24	Medio
(*)Saturación de Potasio	%	Cálculo	2	Medio
(*)Saturación de Sodio	%	Cálculo	5	Normal
(*)Saturación de Aluminio	%	Cálculo	0	Normal

Fuente: Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA), 2026

pH

Según (Ortega) (pág. 11) y (Baquero) (pág. 9), tenemos un pH de 7.77 (7.4-8.0) es Alcalino. Posible exceso de carbonatos, Ca y Mg. Baja solubilidad del Fosforo y micronutrientes (excepto Molibdeno (Mo)). Se inhibe el crecimiento de varios cultivos.

Conductividad Eléctrica (C.E)

Tenemos una C.E. de 0.25 Milimhos/cm (dS/m = Milimhos/cm), basado en la Tabla 34 ((Ortega), pág. 16): 0-2 Milimhos/cm = No salino. Es decir, sin problemas de sales.

Tabla 34 Interpretación De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm)

Tabla 1 INTERPRETACION DE LA C.E. DEL EXTRACTO DEL SUELO (milimhos/cm)				
0-2	0-4	4-8	8-16	16
No salino	Muy ligera- mente salino	Moderada- mente sa- lino	Fuertemen- te salino	Muy fuerte- mente salino

Materia Orgánica (MO)

En la Tabla 35 ((Baquero), pág. 10): Para clima cálido, <2% es Bajo, debido a que nuestro análisis nos indica que es de (1.55%). La MO es fuente de N, P, S y Micronutrientes. Cada 1% de MO aporta ~2 meq/100gr a la CIC.

Tabla 35 Estimativo de materia orgánica en los suelos

Tabla 2. Estimativo de materia orgánica en los suelos			
CLIMA	INTERPRETACION DEL % DE MATERIA ORGANICA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Frío	Menor de 5	5.10	Mayor de 10
Templado	Menor de 3	3.5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2.3	Mayor de 3

Carbono Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 1,55%, el cual sería mediante la (Ecuación 7):

$$CT = \frac{1,55\%}{1,724} \times 100 = 0,90\%$$

Nitrógeno Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 1,55%, el cual sería mediante la (Ecuación 8):

$$NT = \frac{1,55\%}{20} \times 100 = 0,078\%$$

Mediante la Tabla 36 ((Ortega), pág. 11), nos indica que en Clima Cálido nuestro NT es Bajo, porque nuestra cantidad fue de **0,078%**, el cual nos da a entender que es <0,10% la interpretación.

Tabla 36 *Estimativo Conceptual Del Nitrógeno En Los Suelos*

Tabla 3. ESTIMATIVO CONCEPTUAL DEL NITRÓGENO EN LOS SUELOS			
C L I M A	Interpretación del % de N. Total		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	Menor de 0,25	0,25 - 0,50	Mayor de 0,50
Medio	Menor de 0,15	0,15 - 0,25	Mayor de 0,25
Cálido	Menor de 0,10	0,10 - 0,20	Mayor de 0,20

Relación C/N

Según (Ortega), esta relación da una idea de los procesos que están regulando el estado del nitrógeno en el suelo, el cual se hace mediante una calificación para determinar su nivel, mediante la siguiente Tabla 37:

Tabla 37 *RELACION C/N*

Relación C/N		
Calificación	Valor analítico	Interpretación
<10	Baja	Alta mineralización
10-12	Media	Mineralización “normal”
>12	Alta	Mineralización lenta

Fuente: Elaboración propia

Entonces aplicando la (Ecuación 9):

$$R = \frac{0,90\%}{0,078} = 11,5$$

Entonces esto nos da a entender que nuestra Relación C/N se encuentra en un Nivel Media, con una “Mineralización Normal” con respecto al cálculo y formula anterior.

Fosforo (P)

En la Tabla 38 ((Ortega), pág. 13-14) nos muestran los niveles críticos para Fosforo por tres métodos, se utiliza el siguiente: método Bray II, nos indica que <20 ppm = ALTA probabilidad de respuesta ($>80\%$). En donde tenemos un 2.23 ppm (ppm = mg/kg), el cual se da a entender que la cantidad es BAJA.

Tabla 38 FOSFORO (P)

Tabla 5 CALIBRACION DE FOSFORO APROVECHABLE EN SUELOS (+)		
M E T O D O	Nivel para alta respuesta (ppm)	Nivel para baja respuesta (ppm)
Bray I	Menor que 10	Mayor que 25
Bray II	Menor que 20	Mayor que 40
Olsen	Menor que 12	Mayor que 35
(+) Frye, 1972 .		

Azufre (S)

Según los resultados obtenidos de AGROSAVIA la cantidad de **3,41 ppm** (ppm = mg/kg), nos da a entender que **<10 ppm** es considerado **BAJO** la cantidad de Azufre, el cual, es un elemento secundario esencial.

Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)

Mediante la Tabla 39 según (Ortega) (pág., 14), de 10-20 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg) es una cantidad MEDIA, dado que nuestro resultado es de 10.11 meq/100gr. En donde, lo podremos ver en los siguientes rangos:

Tabla 39 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)

Menor que 10 meq / 100 g	: Baja
10 - 20 meq / 100 g	: Media
Mayor que 20 meq / 100 g	: Alta.

Boro (B)

Con la siguiente Tabla 40 basada en el ICA, tenemos la cantidad e interpretación:

Tabla 40 Boro Disponible

Boro disponible	
<0.20	Bajo
0.20 - 0.40	Medio
>0.40	Alto

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla anterior, nos da a entender que nuestro Boro se encuentra en una cantidad MEDIA, debido a que nuestros resultados fueron de 0.20 mg/kg, pero se encuentra en el límite inferior que es un punto crítico.

Acidez (Al+H)

Tenemos que se encuentra Sin Restricción, porque el pH es de 7.77 (Alcalino), es decir, >5.5 que indica ausencia de toxicidad por Aluminio.

Calcio (Ca)

Mediante la Tabla 41 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 7.04 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es ALTO, el cual, nos indica que es >6 meq/100gr. La Saturación es de 70% que también es ALTO por ser >50%.



Tabla 41 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0,20	0,20 - 0,40	> 0,40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0,25		

Magnesio (Mg)

Mediante la Tabla 42 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 2.42 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es MEDIO, el cual, nos indica que esta se encuentra en 1.5-2.5 meq/100gr. La Saturación es de 24% que también es MEDIO, lo cual, es un rango ideal por encontrarse entre 15-25%.

Tabla 42 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0,20	0,20 - 0,40	> 0,40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0,25		

Potasio (K)

Mediante la Tabla 43 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 0.17 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es BAJO, el cual, nos indica que esta se encuentra <0.20 meq/100gr. La Saturación es de 2% que es MEDIO, lo cual, está en el límite inferior con alta probabilidad de respuesta a fertilización potásica (>80%).

Tabla 43 *Estimativo conceptual de las bases en el suelo*

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Sodio (Na)

Mediante la Tabla 44 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 0.48 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que debe ser <1. La Saturación es de 5% nos indica que debe ser <15%, es decir, se encuentra NORMAL sin riesgo de sodicidad.

Tabla 44 *Estimativo conceptual de las bases en el suelo*

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Relación Ca: Mg: K

Mediante la Tabla 41-42-43 ((Baquero), pág. 12), nos indican que una relación normal debe ser Ca (3): Mg (1): K (0.25). En comparación con nuestros resultados que fueron: Ca (7.04): Mg (2.42): K (0.17), es decir, se encuentra una relación desbalanceada.

Hierro (Fe)

Debido al suelo Alcalino ($\text{pH} > 7.5$) se reduce drásticamente la disponibilidad de micronutrientes como (B, Fe, Cu, Mn y Zn), con una cantidad Baja de 13.34 mg/kg.

Cobre (Cu)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y la alcalinidad inhibe su absorción.

Manganeso (Mn)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es típico de suelos con $\text{pH} > 7.0$.

Zinc (Zn)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es común en suelos alcalinos.

6.1.2.2 PARCELA 2

6.1.2.2.1 Análisis y resultados de la parte física de laboratorio

6.1.2.2.1.1 Determinación de la densidad real y aparente

Para hallar la densidad real, primeramente, se separa la humedad del suelo, utilizando la fórmula para secar el suelo (**Ecuación 1**).

Tabla 45 Datos suelo seco parcela 2

SUELO SECO				
PARCELAS	PESO DR gr	SUELO SECO DR	PESO DA gr	SUELO SECO DA
2	1987	1731,770	980	854,119

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a medir el volumen del suelo, se obtuvo el siguiente resultado Utilizando la (**Ecuación 2**).

Tabla 46 Datos Volumen del Cilindro parcela 2.

VOLUMEN DEL SUELO CM ³		1274,230
r CM	h CM	FUNCION PI
5,2	15	3,141592654

Fuente: Elaboración propia

Después, se aplica la fórmula de densidad real (**Ecuación 3**), la cual proporciona el suelo en gramos por centímetro cúbico.

Tabla 47 Datos de las densidades de la parcela 2.

DENSIDADES		
PARCELAS	DR gr/cm ³	DA gr/cm ³
2	1,359	0,670

Fuente: Elaboración propia

La densidad aparente (0,670), está en el rango de < 1.1 de acuerdo con (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016) y (FAO, 2006), se interpreta que este suelo es muy suelto, con materia orgánica moderada.

Tabla 48 Interpretación de la Densidad Aparente.

Densidad Aparente (g/cm ³)	Interpretación	Condición del suelo
< 1.1	Muy baja	Suelo muy suelto, alto contenido de materia orgánica.
1.1 - 1.3	Baja	buena estructura, ideal para cultivos.
1.3 - 1.5	Media	normal, aceptable.
1.5 - 1.7	Alta	compactación Moderada.
> 1.7	Muy alta	Suelo compactado, limita raíces.

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2026.

La densidad real (1,359) esta densidad está en el rango de < 2,5 esto indica que tiene materia orgánica, no en grandes cantidades, pero si se presenta en el suelo, Aunque es anormal ya que esta siempre se encuentra cerca de 2,65 g/cm³.

Tabla 49 Interpretación de la Densidad Real

Densidad Real (g/cm ³)	Interpretación
2.5 - 2.7	Normal (Suelo Minerales)
< 2.5	Alto contenido de materia orgánica
> 2.7	Presencia de minerales pesados

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2025.

6.1.2.2.1.2 Determinación del % de porosidad

El porcentaje de porosidad se determina para saber que cantidad de espacio (poros) hay en el suelo, ya que estos son los que almacenan agua y aire, esto es fundamental para las plantas.

El % de porosidad se determina con los cálculos de la densidad real y densidad aparente, (Ecuación 4).

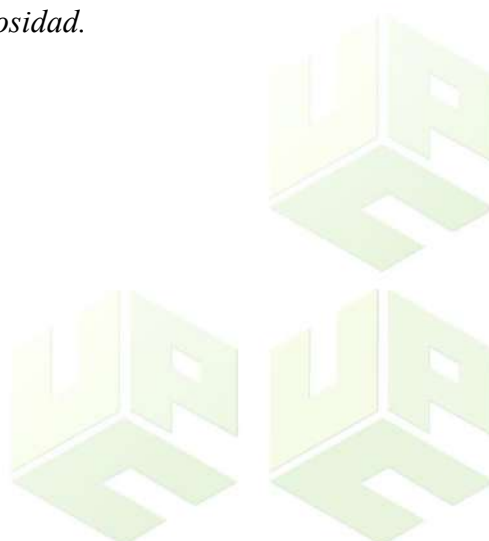
Tabla 50 Datos de % de porosidad de la parcela 2

POROSIDAD	
PARCELAS	% POROSIDAD
2	50,67941621

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51 Interpretación del suelo según su % de porosidad.

Clasificación Según su Porosidad	
Porosidad Total	Clasificación
>70	Excesiva
55 a 70	Excelente
50 a 55	Satisfactoria



40 a 50	Baja
<40	Muy Baja

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el porcentaje de porosidad (51%), esto nos indica que el suelo tiene una buena retención de agua y es ideal para muchos cultivos.

6.1.2.2.1.3 Determinación de la textura del suelo

Teniendo en cuenta lo resultados obtenidos en el laboratorio a las 40s y 2h.

Tabla 52 Datos obtenidos en el laboratorio de suelo.

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA				
PARCELAS	40s		2h	
	°C	cm	°C	cm
2	28,1	13	26,9	12

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la textura debemos tener en cuenta el factor de corrección de temperatura tanto para la muestra que se tomó a los 40s y la muestra a las 2h (ver ilustración 3).

Ahora se allá la lectura corregida del hidrómetro de Bouyoucos tanto para 40s y 2h, utilizando la siguiente formula:

$L_c = \text{Lectura real del hidrómetro de Bouyoucos} - \text{lectura del agua} \pm \text{Factor de corrección de la temperatura}$

Tabla 53 Datos para determinar la textura de la parcela 2

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA Y %POROSIDAD						
PARCELAS	SIGNO	FACTOR DE	LECTURA CORREGIDA	SIGNO	FACTOR DE	LECTURA CORREGIDA
		40s	DA cm		2h	DA cm

CORRECCIÓN 40s			CORRECCIÓN 2h		
2	+	3,28	16,28	+	2,85
		13			12
					14,85

Fuente: Elaboración propia

Ahora tomando en cuenta el resultado del suelo seco se saca los porcentajes de arena total, arcilla y limo totales del suelo (Ecuación 6), La masa de suelo seco que debemos usar es el peso de suelo que se utilizó en el método de Bouyoucos (40g), a este peso se le saca el peso de suelo seco (Ecuación 1).

Tabla 54 Datos para saber la textura de la parcela 2

TEXTURA				
PARCELAS	%ARENA TOTAL	%ARCILLA TOTAL	%LIMO	TEXTURA
2	53,3	42,6	4,1	ARCILLA ARENOSA

Fuente: Elaboración propia

Se le denomina la textura según el triángulo textural, como lo indica el punto azul.

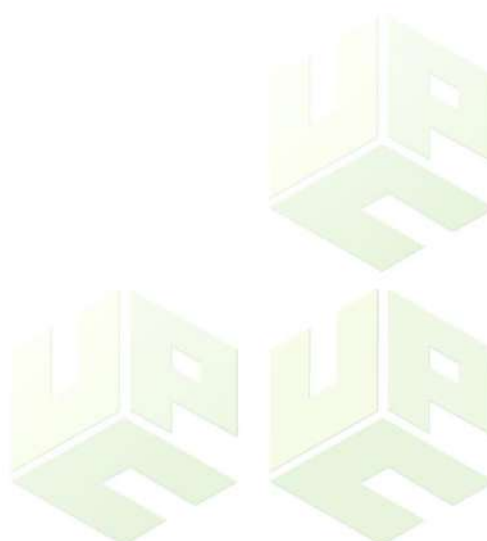
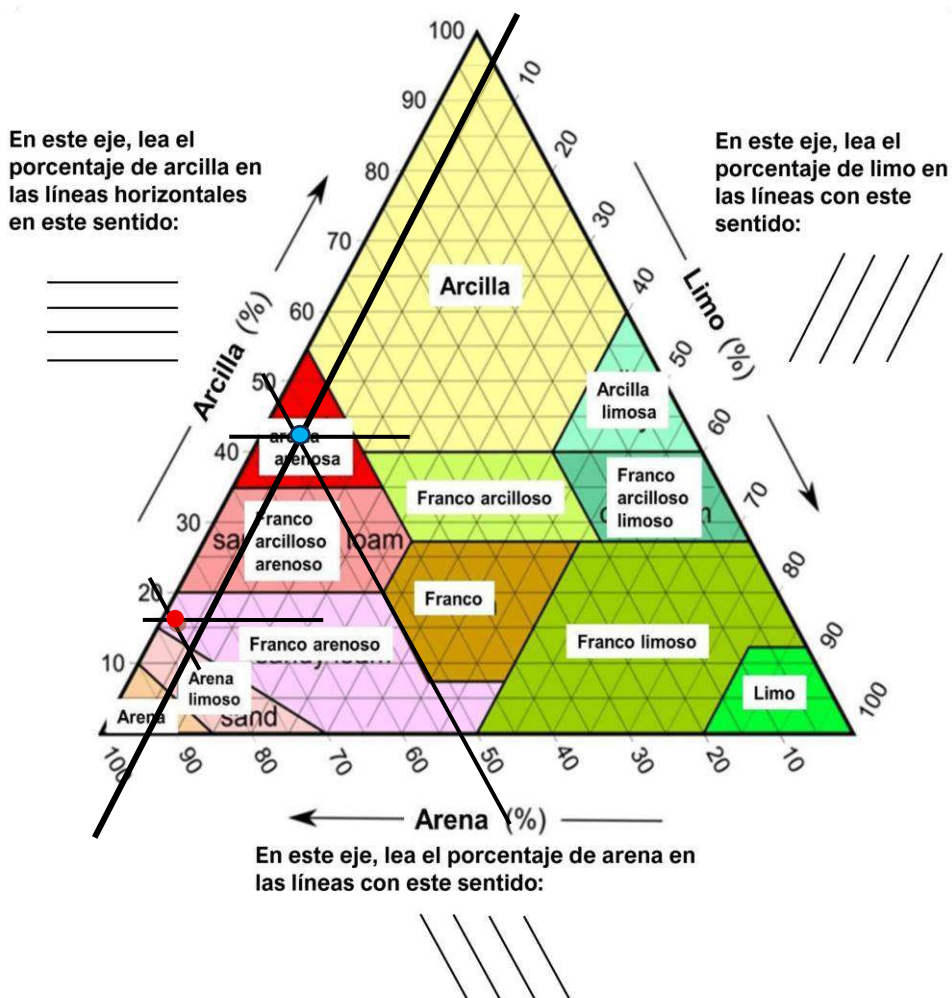


Ilustración 8 *Textura de suelo de la parcela 2*



Fuente: Elaboración propia

La textura del suelo Arcilla Arenosa, tienes una textura mixta donde domina la arena con una proporción significativa de arcilla, este suelo tiende a retener tanto agua como nutrientes.

6.1.2.2.2 Análisis y resultados de la parte química de laboratorio.

Ilustración 9 Resultados de las pruebas Químicas

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Determinación de pH (1:2,5)	Unidades de pH	Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.	7.83	Alcalino
Determinación de Conductividad eléctrica	dS/m	NTC 5596:2022 Método B.	0.17	No salino
Determinación de Carbono Orgánico	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 5, 2024-07-17	0.75	No Aplica
(*)Materia orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkey & Black	1.29	Bajo
Determinación de Fósforo (P) disponible	mg/kg	Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 08, 2025-04-04.	2.33	Bajo
(*)Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	2.93	Bajo
(*)Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	8.10	Baja
(*) Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	0.17	Bajo
(*)Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl	ND	No Indica
(*)Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	ND	Sin restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	5.64	Medio
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	2.03	Medio

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	0.16	Bajo
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	0.27	Normal
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	10.64	Bajo
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	1.91	Bajo
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
(*)Saturación de Calcio	%	Cálculo	70	Alto
(*)Saturación de Magnesio	%	Cálculo	25	Medio
(*)Saturación de Potasio	%	Cálculo	2	Medio
(*)Saturación de Sodio	%	Cálculo	3	Normal
(*)Saturación de Aluminio	%	Cálculo	0	Normal

Fuente: Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA), 2026

pH

Según (Ortega), (pág. 11) y (Baquero), (pág. 9), tenemos un pH de 7.83 (7.4-8.0) es Alcalino. Posible exceso de carbonatos, Ca y Mg. Baja solubilidad del Fosforo y micronutrientes (excepto Molibdeno (Mo)). Se inhibe el crecimiento de varios cultivos.

Conductividad Eléctrica (C.E)

Tenemos una C.E. de 0.17 Milimhos/cm (dS/m = Milimhos/cm), basado en la Tabla 55 ((Ortega), pág. 16): 0-2 Milimhos/cm = No salino. Es decir, sin problemas de sales.

Tabla 55 Interpretación De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm)

Tabla 1 INTERPRETACION DE LA C.E. DEL EXTRACTO DEL SUELO (milimhos/cm)				
0-2	0-4	4-8	8-16	16
No salino	Muy ligera- mente salino	Moderada- mente sa- lino	Puertemen- te salino	Muy fuerte- mente salino

Materia Orgánica (MO)

En la Tabla 56 ((Baquero), pág. 10): Para clima cálido, <2% es Bajo, debido a que nuestro análisis nos indica que es de (1.29%). La MO es fuente de N, P, S y Micronutrientes. Cada 1% de MO aporta ~2 meq/100gr a la CIC.

Tabla 56 Estimativo de materia orgánica en los suelos

Tabla 2. Estimativo de materia orgánica en los suelos			
CLIMA	INTERPRETACION DEL % DE MATERIA ORGANICA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Frío	Menor de 5	5.10	Mayor de 10
Templado	Menor de 3	3.5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2.3	Mayor de 3

Carbono Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 1,55%, el cual sería mediante la (Ecuación 7):

$$CT = \frac{1,29\%}{1,724} \times 100 = 0,75\%$$

Nitrógeno Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 1,29%, el cual sería mediante la (Ecuación 8):

$$NT = \frac{1,29\%}{20} \times 100 = \mathbf{0,065\%}$$

Mediante la Tabla 57 ((Ortega), pág. 11), nos indica que en Clima Cálido nuestro NT es Bajo, porque nuestra cantidad fue de 0,065%, el cual nos da a entender que es <0,10% la interpretación.

Tabla 57 *Estimativo Conceptual Del Nitrógeno En Los Suelos*

Tabla 3. ESTIMATIVO CONCEPTUAL DEL NITRÓGENO EN LOS SUELOS			
C L I M A	Interpretación del % de N. Total		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	Menor de 0,25	0,25 - 0,50	Mayor de 0,50
Medio	Menor de 0,15	0,15 - 0,25	Mayor de 0,25
Cálido	Menor de 0,10	0,10 - 0,20	Mayor de 0,20

Relación C/N

Según (Ortega), esta relación da una idea de los procesos que están regulando el estado del nitrógeno en el suelo, el cual se hace mediante una calificación para determinar su nivel, mediante la siguiente Tabla 58:

Tabla 58 *RELACION C/N*

Relación C/N		
Calificación	Valor analítico	Interpretación
<10	Baja	Alta mineralización
10-12	Media	Mineralización “normal”
>12	Alta	Mineralización lenta

Fuente: Elaboración propia

Entonces aplicando la (Ecuación 9):

$$R = \frac{0,75\%}{0,065} = 11,5$$

Entonces esto nos da a entender que nuestra Relación C/N se encuentra en un Nivel Media, con una “Mineralización Normal” con respecto al cálculo y formula anterior.

Fosforo (P)

En la Tabla 59 (Ortega), pág. 13-14) nos muestran los niveles críticos para Fosforo por tres métodos, se utiliza el siguiente: método Bray II, nos indica que <20 ppm = ALTA probabilidad de respuesta (>80%). En donde tenemos un 2.33 ppm (ppm = mg/kg), el cual se da a entender que la cantidad es BAJA.

Tabla 59 FOSFORO (P)

Tabla 5 CALIBRACION DE FOSFORO APROVECHABLE EN SUELOS (+)		
M E T O D O	Nivel para alta respuesta (ppm)	Nivel para baja respuesta (ppm)
Bray I	Menor que 10	Mayor que 25
Bray II	Menor que 20	Mayor que 40
Olsen	Menor que 12	Mayor que 35
(+) Frye, 1972 .		

Azufre (S)

Según los resultados obtenidos de AGROSAVIA la cantidad de 2.93 ppm (ppm = mg/kg), nos da a entender que <10 ppm es considerado BAJO la cantidad de Azufre, el cual, es un elemento secundario esencial.

Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)

Mediante la Tabla 60 según (Ortega), (pág., 14), de 10-20 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg) es una cantidad MEDIA, dado que nuestro resultado es de 8.10 meq/100gr. En donde, lo podremos ver en los siguientes rangos:

Tabla 60 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)

Menor que 10 meq / 100 g	: Baja
10 - 20 meq / 100 g	: Media
Mayor que 20 meq / 100 g	: Alta.

Boro (B)

Con la siguiente tabla 61 basada en el ICA, tenemos la cantidad e interpretación:

Tabla 61 *Boro Disponible*

Boro disponible	
<0.20	Bajo
0.20 - 0.40	Medio
>0.40	Alto

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla anterior, nos da a entender que nuestro Boro se encuentra en una cantidad BAJO, debido a que nuestros resultados fueron de 0.17 mg/kg.

Acidez (Al+H)

Tenemos que se encuentra Sin Restricción, porque el pH es de 7.83 (Alcalino), es decir, >5.5 que indica ausencia de toxicidad por Aluminio. También cuenta sin problemas de acidez.

Calcio (Ca)

Mediante la Tabla 62 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 5.64 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es MEDIO, el cual, nos indica que está en 3-6 meq/100gr. La Saturación es de 70% que también es ALTO por ser >50%.

Tabla 62 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Magnesio (Mg)

Mediante la Tabla 63 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 2.03 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es MEDIO, el cual, nos indica que esta se encuentra en 1.5-2.5 meq/100gr. La Saturación es de 25% que también es MEDIO, lo cual, es un rango ideal por encontrarse entre 15-25%, pero se encuentra al límite superior.

Tabla 63 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Potasio (K)

Mediante la Tabla 64 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 0.16 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es BAJO, el cual, nos indica que esta se encuentra <0.20 meq/100gr. La Saturación es de 2% que es MEDIO, lo cual, está en el límite inferior con alta probabilidad de respuesta a fertilización potásica (>80%).

Tabla 64 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Sodio (Na)

Mediante la Tabla 65 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 0.27 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que debe ser <1. La Saturación es de 3% nos indica que debe ser <15%, es decir, se encuentra NORMAL sin riesgo de sodicidad.

Tabla 65 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Relación Ca: Mg: K

Mediante la Tabla 62-63-64 ((Baquero), pág. 12), nos indican que una relación normal debe ser Ca (3): Mg (1): K (0.25). En comparación con nuestros resultados que fueron: Ca (5.64): Mg (2.03): K (0.16), es decir, se encuentra una relación desbalanceada. También se puede decir porque hay exceso de Ca y K deficitario.

Hierro (Fe)

Debido al suelo Alcalino ($\text{pH} > 7.83$) se reduce drásticamente la disponibilidad de micronutrientes como (B, Fe, Cu, Mn y Zn), con una cantidad Baja de 10.64 mg/kg.

Cobre (Cu)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y la alcalinidad inhibe su absorción.

Manganeso (Mn)

Su cantidad que es 1.91 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es típico de suelos con ($\text{pH} > 7.0$).

Zinc (Zn)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es común en suelos alcalinos.

6.1.2.3 PARCELA 3

6.1.2.3.1 Análisis y resultados de la parte física de laboratorio

6.1.2.3.1.1 Determinación de la densidad real y aparente

Para hallar la densidad real, primeramente, se separa la humedad del suelo, utilizando la fórmula para secar el suelo (Ecuación 1):

Tabla 66 Datos suelo seco parcela 3

SUELO SECO				
PARCELAS	PESO DR gr	SUELO SECO DR	PESO DA gr	SUELO SECO DA
3	1898	1654,202	955	832,330

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a medir el volumen del suelo, se obtuvo el siguiente resultado (Ecuación 2):

Tabla 67 Datos volumen del suelo parcela 3

VOLUMEN DEL SUELO CM ³		1274,230
r CM	h CM	FUNCION PI
5,2	15	3,141592654

Fuente: Elaboración propia

Después, se aplica la fórmula de densidad real (Ecuación 3), la cual proporciona el suelo en gramos por centímetro cúbico.

DENSIDADES		
PARCELAS	DR gr/cm ³	DA gr/cm ³
3	1,298	0,653

Fuente: Elaboración propia

La densidad aparente (0,653), está en el rango de < 1.1 de acuerdo con (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016) y (FAO, 2006), se interpreta que este suelo es muy suelto, con materia orgánica moderada.

Tabla 68 Interpretación de la Densidad Aparente.

Densidad Aparente (g/cm ³)	Interpretación	Condición del suelo
< 1.1	Muy baja	Suelo muy suelto, alto contenido de materia orgánica.
1.1 - 1.3	Baja	buena estructura, ideal para cultivos.
1.3 - 1.5	Media	normal, aceptable.
1.5 - 1.7	Alta	compactación Moderada.
> 1.7	Muy alta	Suelo compactado, limita raíces.

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2026.

La densidad real (1,298) esta densidad está en el rango de $< 2,5$ esto indica que tiene materia orgánica, no en grandes cantidades, pero si se presenta en el suelo, Aunque es anormal ya que esta siempre se encuentra cerca de $2,65 \text{ g/cm}^3$.

Tabla 69 Interpretación de la Densidad Real

Densidad Real (g/cm ³)	Interpretación
2.5 - 2.7	Normal (Suelo Minerales)
< 2.5	Alto contenido de materia orgánica
> 2.7	Presencia de minerales pesados

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2025.

6.1.2.3.1.2 Determinación del % de porosidad

El porcentaje de porosidad se determina para saber que cantidad de espacio (poros) hay en el suelo, ya que estos son los que almacenan agua y aire, esto es fundamental para las plantas.

El % de porosidad se determina con los cálculos de la densidad real y densidad aparente, con la siguiente formula, (Ecuación 4):

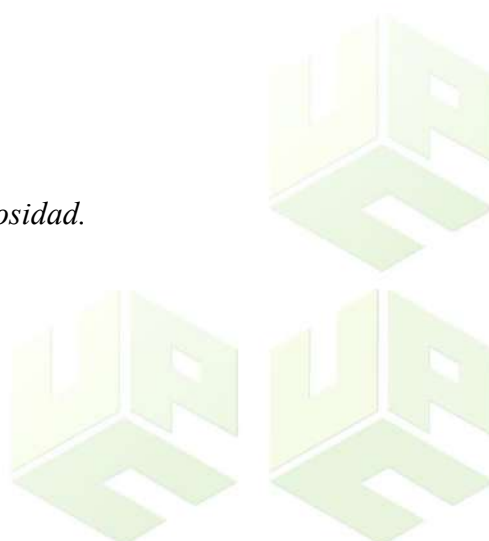
Tabla 70 Datos de % de porosidad de la parcela 3

POROSIDAD	
PARCELAS	% POROSIDAD
3	49,68387777

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71 Interpretación del suelo según su % de porosidad.

Clasificación Según su Porosidad	
Porosidad Total	Clasificación
>70	Excesiva



55 a 70	Excelente
50 a 55	Satisfactoria
40 a 50	Baja
<40	Muy Baja

Fuente: AGROSAVIA, 2022

De acuerdo con el porcentaje de porosidad (50%), esto nos indica que el suelo tiene una buena retención de agua y es ideal para muchos cultivos.

6.1.2.3.1.3 Determinación de la textura del suelo

Teniendo en cuenta lo resultados obtenidos en el laboratorio a las 40s y 2h.

Tabla 72 Datos obtenidos en el laboratorio de suelo.

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA				
PARCELAS	40s		2h	
	°C	cm	°C	cm
3	28,2	13	26,9	11

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la textura debemos tener en cuenta el factor de corrección de temperatura tanto para la muestra que se tomó a los 40s y la muestra a las 2h (ver ilustración 3).

ahora se allá la lectura corregida del hidrómetro de Bouyoucos tanto para 40s y 2h, utilizando la siguiente formula (Ecuación 5).:

$L_c = \text{Lectura real del hidrómetro de Bouyoucos} - \text{lectura del agua} \pm \text{Factor de corrección de la temperatura}$

Tabla 73 Datos para determinar la textura de la parcela 3

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA Y %POROSIDAD

PARCEL		FACTOR		LECTURA		FACTOR		2h	LECTURA	
AS	SIGNO	DE	40	CORREGI	SIGNO	DE	CORREGI		CORREGI	
		CORRECI	s	DA cm		CORRECI		DA cm		
		ON 40s	cm			ON 2h	c			
							m			
3	+	3,28	13	16,28	+	2,85	11		13,85	

Fuente: Autores 2026.

Ahora tomando en cuenta el resultado del suelo seco se saca los porcentajes de arena total, arcilla y limo totales del suelo (Ecuación 6), La masa de suelo seco que debemos usar es el peso de suelo que se utilizó en el método de Bouyoucos (40g), a este peso se le saca el peso de suelo seco (Ecuación 1).

Tabla 74 Datos para saber la textura de la parcela 3

TEXTURA				
PARCELAS	%ARENA TOTAL	%ARCILLA TOTAL	%LIMO	TEXTURA
3	53,3	39,7	7,0	ARCILLA ARENOSA

Fuente: Elaboración propia

Se le denomina la textura según el triángulo textural, como lo indica el punto azul.

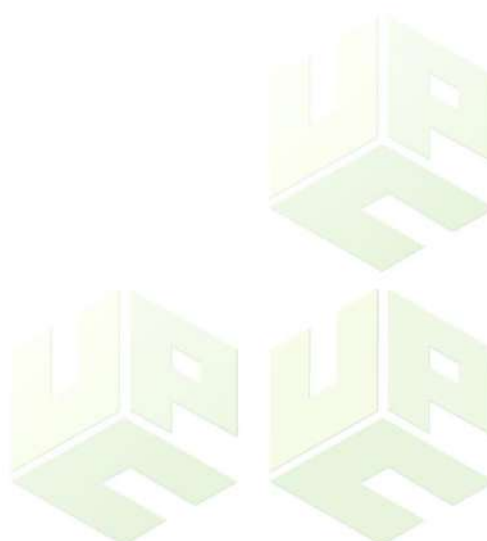
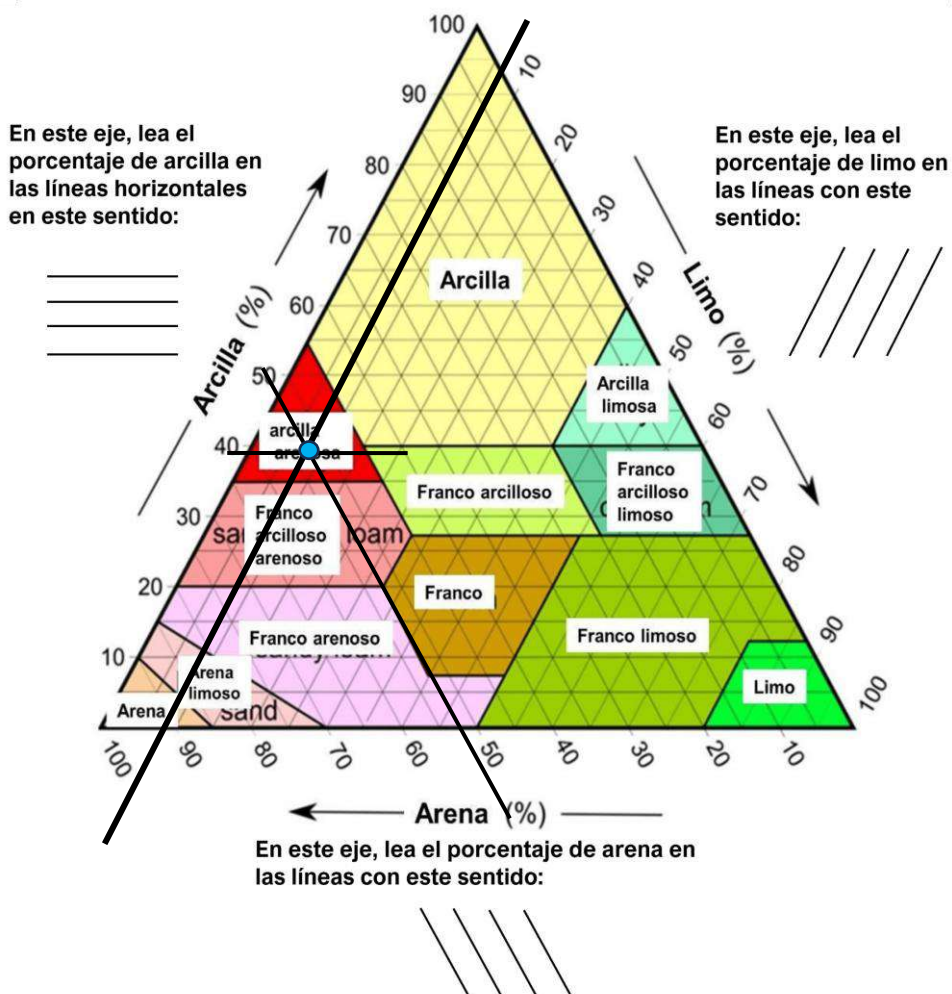
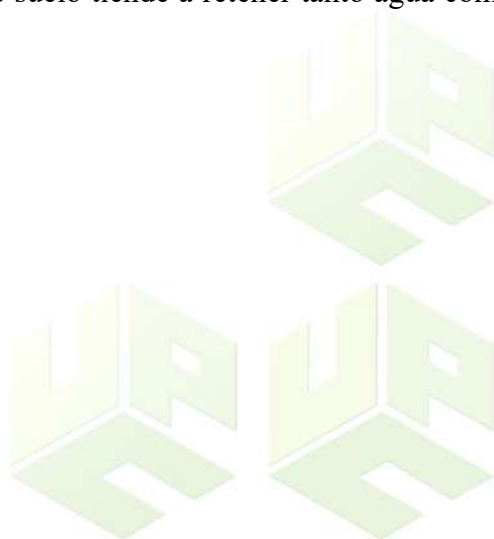


Ilustración 10 Textura de suelo de la parcela 3



Fuente: Elaboración propia.

La textura del suelo Arcilla Arenosa, tienes una textura mixta donde domina la arena con una proporción significativa de arcilla, este suelo tiende a retener tanto agua como nutrientes.



6.1.2.3.2 Análisis y resultados de la parte química de laboratorio.

Ilustración 11 Resultados de las pruebas Químicas

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Determinación de pH (1:2,5)	Unidades de pH	Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.	7.56	Alcalino
Determinación de Conductividad eléctrica	dS/m	NTC 5596:2022 Método B.	0.45	No salino
Determinación de Carbono Orgánico	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 5, 2024-07-17	1.38	No Aplica
(*)Materia orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkey & Black	2.38	Medio
Determinación de Fósforo (P) disponible	mg/kg	Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 08, 2025-04-04.	10.52	Bajo
(*)Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	10.88	Medio
(*)Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	10.37	Media
(*) Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	0.47	Alto
(*)Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl	ND	No Indica
(*)Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	ND	Sin restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	6.66	Alto
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	2.44	Medio

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	0.85	Alto
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	0.42	Normal
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	18.28	Bajo
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	1.76	Bajo
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
(*)Saturación de Calcio	%	Cálculo	64	Alto
(*)Saturación de Magnesio	%	Cálculo	24	Medio
(*)Saturación de Potasio	%	Cálculo	8	Alto
(*)Saturación de Sodio	%	Cálculo	4	Normal
(*)Saturación de Aluminio	%	Cálculo	0	Normal

Fuente: Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA), 2026

pH

Según (Ortega) (pág. 11) y (Baquero) (pág. 9), tenemos un pH de 7.56 (7.4-8.0) es Alcalino. Posible exceso de carbonatos, Ca y Mg. Baja solubilidad del Fosforo y micronutrientes (excepto Molibdeno (Mo)). Se inhibe el crecimiento de varios cultivos. Además, casi se encuentra en un rango neutro (6.6-7.3).

Conductividad Eléctrica (C.E)

Tenemos una C.E. de 0.45 Milimhos/cm (dS/m = Milimhos/cm), basado en la Tabla 75 ((Ortega), pág. 16): 0-2 Milimhos/cm = No salino. Es decir, sin problemas de sales.

Tabla 75 Interpretación De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm)

Tabla 75 INTERPRETACION DE LA C.E. DEL EXTRACTO DEL SUELO (milimhos/cm)				
0-2	0-4	4-8	8-16	16
No salino	Muy ligeramente salino	Moderadamente salino	Fuertemente salino	Muy fuertemente salino

Materia Orgánica (MO)

En la Tabla 76 (Baquero), pág. 10): Para clima cálido, 2.3% es Medio, debido a que nuestro análisis nos indica que es de (2.38%). La MO es fuente de N, P, S y Micronutrientes. Cada 1% de MO aporta ~2 meq/100gr a la CIC. Además, es la única parcela con MO en nivel adecuado, es decir, excelente.

Tabla 76 Estimativo de materia orgánica en los suelos

Tabla 2. Estimativo de materia orgánica en los suelos			
CLIMA	INTERPRETACION DEL % DE MATERIA ORGANICA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Frío	Menor de 5	5.10	Mayor de 10
Templado	Menor de 3	3.5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2.3	Mayor de 3

Carbono Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 2.38%, el cual sería mediante la (Ecuación 7):

$$CT = \frac{2,38\%}{1,724} \times 100 = 1,38\%$$

Nitrógeno Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 2.38%, el cual sería mediante la (Ecuación 8):

$$NT = \frac{2.38\%}{20} \times 100 = 0,119\%$$

Mediante la Tabla 77 (Ortega), pág. 11), nos indica que en Clima Cálido nuestro NT es Medio, porque nuestra cantidad fue de 0,119%, el cual nos da a entender que es 0,10-0,20% la interpretación.

Tabla 77 Estimativo Conceptual Del Nitrógeno En Los Suelos

Tabla 3. ESTIMATIVO CONCEPTUAL DEL NITRÓGENO EN LOS SUELOS			
C L I M A	Interpretación del % de N. Total		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	Menor de 0,25	0,25 - 0,50	Mayor de 0,50
Medio	Menor de 0,15	0,15 - 0,25	Mayor de 0,25
Cálido	Menor de 0,10	0,10 - 0,20	Mayor de 0,20

Relación C/N

Según (Ortega), esta relación da una idea de los procesos que están regulando el estado del nitrógeno en el suelo, el cual se hace mediante una calificación para determinar su nivel, mediante la siguiente Tabla 78:

Tabla 78 RELACION C/N

Relación C/N		
Calificación	Valor analítico	Interpretación
<10	Baja	Alta mineralización
10-12	Media	Mineralización “normal”
>12	Alta	Mineralización lenta

Fuente: Elaboración propia

Entonces aplicando la (Ecuación 9):

$$R = \frac{1,38\%}{0,119} = 11,6$$

Entonces esto nos da a entender que nuestra Relación C/N se encuentra en un Nivel Media, con una “Mineralización Normal” con respecto al cálculo y formula anterior.

Fosforo (P)

En la Tabla 79 (Ortega), pág. 13-14) nos muestran los niveles críticos para Fosforo por tres métodos, se utiliza el siguiente: método Bray II, nos indica que <20 ppm = ALTA probabilidad de respuesta (>80%). En donde tenemos un 10.52 ppm (ppm = mg/kg), el cual se da a entender que la cantidad es BAJA.

Tabla 79 FOSFORO (P)

Tabla 5 CALIBRACION DE FOSFORO APROVECHABLE EN SUELOS (+)		
M E T O D O	Nivel para alta respuesta (ppm)	Nivel para baja respuesta (ppm)
Bray I	Menor que 10	Mayor que 25
Bray II	Menor que 20	Mayor que 40
Olsen	Menor que 12	Mayor que 35
(+) Frye, 1972 .		

Azufre (S)

Según los resultados obtenidos de AGROSAVIA la cantidad de 10.88 ppm (ppm = mg/kg), nos da a entender que >10 ppm es considerado Medio la cantidad de Azufre, el cual, es un elemento secundario esencial.

Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)

Mediante la Tabla 80 según (Ortega) (pág., 14), de 10-20 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg) es una cantidad MEDIA, dado que nuestro resultado es de 10.37 meq/100gr. En donde, lo podremos ver en los siguientes rangos:

Tabla 80 *Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)*

Menor que 10 meq / 100 g	: Baja
10 - 20 meq / 100 g	: Media
Mayor que 20 meq / 100 g	: Alta.

Boro (B)

Con la siguiente tabla 81 basada en el ICA, tenemos la cantidad e interpretación:

Tabla 81 *Boro Disponible*

Boro disponible	
<0.20	Bajo
0.20 - 0.40	Medio
>0.40	Alto

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla anterior, nos da a entender que nuestro Boro se encuentra en una cantidad ALTA, debido a que nuestros resultados fueron de 0.47 mg/kg, es decir, contiene excelente disponibilidad.

Acidez (Al+H)

Tenemos que se encuentra Sin Restricción, porque el pH es de 7.56 (Alcalino), es decir, >5.5 que indica ausencia de toxicidad por Aluminio. También cuenta sin problemas de acidez.

Calcio (Ca)

Mediante la Tabla 82 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 6.66 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es ALTO, el cual, nos indica que está en >6 meq/100gr. La Saturación es de 64% que también es ALTO por ser >50%.

Tabla 82 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Magnesio (Mg)

Mediante la Tabla 83 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 2.44 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es MEDIO, el cual, nos indica que esta se encuentra en 1.5-2.5 meq/100gr. La Saturación es de 24% que también es MEDIO, lo cual, es un rango ideal por encontrarse entre 15-25%.

Tabla 83 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Potasio (K)

Mediante la Tabla 84 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 0.85 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es ALTO, el cual, nos indica que esta se encuentra >0.40 meq/100gr. La Saturación es de 8% que es ALTO, lo cual, se encuentra en Muy Buen Nivel por ser >3%.

Tabla 84 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

Tabla 3. Estimativo conceptual de las bases en el suelo				
ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Sodio (Na)

Mediante la Tabla 85 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 0.42 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que debe ser <1. La Saturación es de 4% nos indica que debe ser <15%, es decir, se encuentra NORMAL sin riesgo de sodicidad.

Tabla 85 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

Tabla 3. Estimativo conceptual de las bases en el suelo				
ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1.5	1.5 - 2.5	> 2.5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0.20	0.20 - 0.40	> 0.40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0.25		

Relación Ca: Mg: K

Mediante la Tabla 82-83-84 ((Baquero) pág. 12), nos indican que una relación normal debe ser Ca (3): Mg (1): K (0.25). En comparación con nuestros resultados que fueron: Ca (6.66): Mg (2.44): K (0.85), es decir, se encuentra una relación mejor balanceada. También se puede decir porque hay exceso de Ca.

Hierro (Fe)

Debido al suelo Alcalino ($\text{pH} > 7.83$) se reduce drásticamente la disponibilidad de micronutrientes como (B, Fe, Cu, Mn y Zn), con una cantidad Baja de 18.28 mg/kg.

Cobre (Cu)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y la alcalinidad inhibe su absorción.

Manganeso (Mn)

Su cantidad que es 1.76 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es típico de suelos con ($\text{pH} > 7.0$).

Zinc (Zn)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es común en suelos alcalinos.

6.1.2.4 PARCELA 4

6.1.2.4.1 Análisis y resultados de la parte física de laboratorio

6.1.2.4.1.1 Determinación de la densidad real y aparente

Para hallar la densidad real, primeramente, se separa la humedad del suelo, utilizando la fórmula para secar el suelo (Ecuación 1):

Tabla 86 Datos suelo seco parcela 4

SUELO SECO				
PARCELAS	PESO DR	SUELO SECO	PESO DA	SUELO SECO
	gr	DR	gr	DA
4	1980	1725,669	936	815,771

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a medir el volumen del suelo, se obtuvo el siguiente resultado la (Ecuación 2):

Tabla 87 Datos volumen del suelo parcela 4

VOLUMEN DEL SUELO CM ³			1274,230
r CM	h CM	FUNCION PI	
5,2	15	3,141592654	

Fuente: Elaboración propia

Después, se aplica la fórmula de densidad real (Ecuación 3), la cual proporciona el suelo en gramos por centímetro cúbico.

Tabla 88 Datos de las densidades de la parcela 4

DENSIDADES		
PARCELAS	DR gr/cm ³	DA gr/cm ³
4	1,354	0,640

Fuente: Elaboración propia

La densidad aparente (0,640), está en el rango de < 1.1 de acuerdo con (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016) y (FAO, 2006), se interpreta que este suelo es muy suelto, con materia orgánica moderada.

Tabla 89 Interpretación de la Densidad Aparente.

Densidad Aparente (g/cm ³)	Interpretación	Condición del suelo
< 1.1	Muy baja	Suelo muy suelto, alto contenido de materia orgánica.
1.1 - 1.3	Baja	buena estructura, ideal para cultivos.
1.3 - 1.5	Media	normal, aceptable.
1.5 - 1.7	Alta	compactación Moderada.
> 1.7	Muy alta	Suelo compactado, limita raíces.

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2026.

La densidad real (1,354) esta densidad está en el rango de $< 2,5$ esto indica que tiene materia orgánica, no en grandes cantidades, pero si se presenta en el suelo, Aunque es anormal ya que esta siempre se encuentra cerca de $2,65 \text{ g/cm}^3$.

Tabla 90 Interpretación de la Densidad Real

Densidad Real (g/cm^3)	Interpretación
2.5 - 2.7	Normal (Suelo Minerales)
< 2.5	Alto contenido de materia orgánica
> 2.7	Presencia de minerales pesados

Fuente: (FAO, 2006), (Nyle C, Brady, y Ray R, & will, 2016), Autores 2025.

6.1.2.4.1.2 Determinación del % de porosidad

El porcentaje de porosidad se determina para saber que cantidad de espacio (poros) hay en el suelo, ya que estos son los que almacenan agua y aire, esto es fundamental para las plantas.

El % de porosidad se determina con los cálculos de la densidad real y densidad aparente, con la siguiente formula:

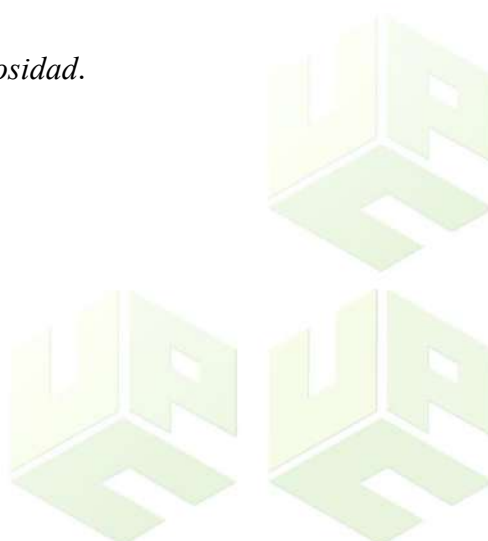
Tabla 91 Datos de % de porosidad de la parcela 4

POROSIDAD	
PARCELAS	% POROSIDAD
4	52,72727273

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92 Interpretación del suelo según su % de porosidad.

Clasificación Según su Porosidad	
Porosidad Total	Clasificación
>70	Excesiva
55 a 70	Excelente
50 a 55	Satisfactoria



40 a 50	Baja
---------	------

<40	Muy Baja
-----	----------

Fuente: (AGROSAVIA, s.f.)

De acuerdo con el porcentaje de porosidad (53%), esto nos indica que el suelo tiene una buena retención de agua y es ideal para muchos cultivos.

6.1.2.4.1.3 *Determinación de la textura del suelo*

Teniendo en cuenta lo resultados obtenidos en el laboratorio a las 40s y 2h.

Tabla 93 *Datos obtenidos en el laboratorio de suelo.*

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA				
PARCELAS	40s		2h	
	°C	cm	°C	cm
4	28,8	12	26,7	10

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la textura debemos tener en cuenta el factor de corrección de temperatura tanto para la muestra que se tomó a los 40s y la muestra a las 2h (ver ilustración 3).

ahora se allá la lectura corregida del hidrómetro de Bouyoucos tanto para 40s y 2h, utilizando la (Ecuación 5):

Tabla 94 *Datos para determinar la textura de la parcela 4*

DATOS PARA DETERMINAR TEXTURA Y %POROSIDAD									
PARCELAS	SIGNO	FACTOR DE CORRECCION 40s	LECTURA CORREGIDA 40s	SIGNO	FACTOR DE CORRECCION 2h	LECTURA CORREGIDA 2h			
AS			cm			cm			
4	+	3,74	12	+	2,85	10	12,85		

Fuente: Elaboración propia

Ahora tomando en cuenta el resultado del suelo seco se saca los porcentajes de arena total, arcilla y limo totales del suelo (Ecuación 6), La masa de suelo seco que debemos usar es el peso de suelo que se utilizó en el método de Bouyoucos (40g), a este peso se le saca el peso de suelo seco (Ecuación 1).

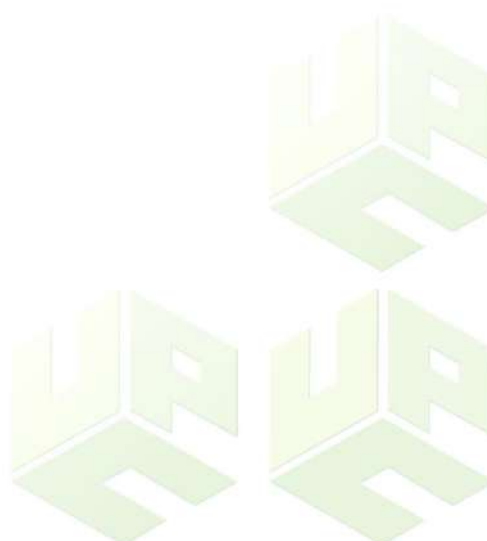
Tabla 95 Datos para saber la textura de la parcela 4

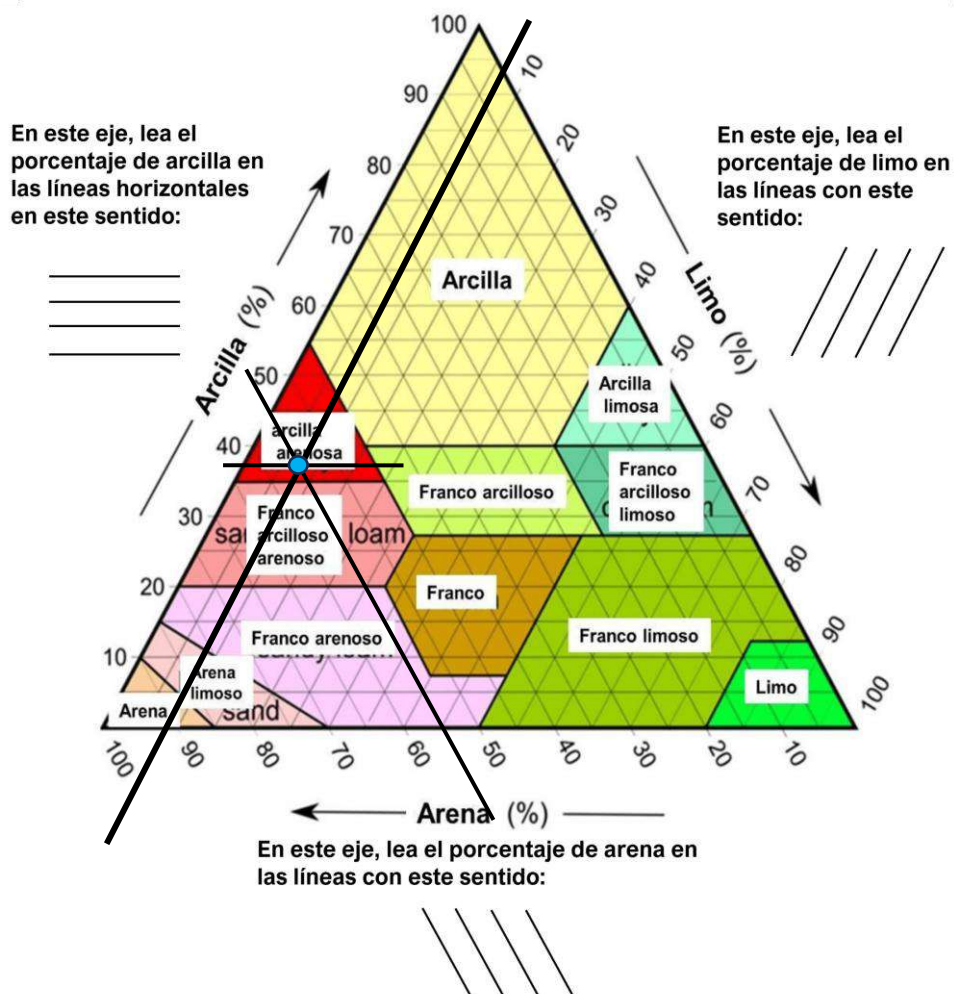
TEXTURA				
PARCELAS	%ARENA TOTAL	%ARCILLA TOTAL	%LIMO	TEXTURA
4	54,9	36,9	8,3	ARCILLA ARENOSA

Fuente: Elaboración propia

Se le denomina la textura según el triángulo textural, como lo indica el punto azul.

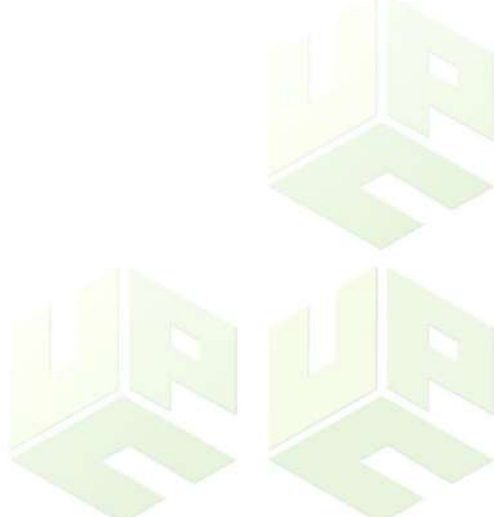
Ilustración 12 Textura de suelo de la parcela 4





Fuente: Elaboración propia.

La textura del suelo Arcilla Arenosa, tienes una textura mixta donde domina la arena con una proporción significativa de arcilla, este suelo tiende a retener tanto agua como nutrientes.



6.1.2.4.2 Análisis y resultados de la parte química de laboratorio.

Ilustración 13 Resultados de las pruebas Químicas

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Determinación de pH (1:2,5)	Unidades de pH	Acidez activa/pH en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25.	8.11	Muy alcalino
Determinación de Conductividad eléctrica	dS/m	NTC 5596:2022 Método B.	0.52	No salino
Determinación de Carbono Orgánico	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 5, 2024-07-17	0.96	No Aplica
(*)Materia orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 5403 Walkey & Black	1.66	Bajo
Determinación de Fósforo (P) disponible	mg/kg	Fósforo disponible en suelos GA-R-48, versión 08, 2025-04-04.	6.80	Bajo
(*)Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	10.72	Medio
(*)Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	11.44	Media
(*) Boro (B) Disponible	mg/kg	Fosfato monobasico de calcio	0.51	Alto
(*)Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl	ND	No Indica
(*)Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	ND	Sin restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	7.46	Alto
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	2.65	Alto

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO.	VALOR	INTERPRETACIÓN*
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	0.62	Alto
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 10, 2024-07-24	0.71	Normal
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	20.81	Bajo
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	1.21	Bajo
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2024 Método D.	<1.00	Bajo
(*)Saturación de Calcio	%	Cálculo	65	Alto
(*)Saturación de Magnesio	%	Cálculo	23	Medio
(*)Saturación de Potasio	%	Cálculo	5	Alto
(*)Saturación de Sodio	%	Cálculo	6	Normal
(*)Saturación de Aluminio	%	Cálculo	0	Normal

Fuente: Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA), 2026

pH

Según (Ortega) (pág. 11) y (Baquero) (pág. 9), tenemos un pH de 8.11 (>8.0) es Muy Alcalino. Posible exceso de sodio intercambiable. Se inhibe crecimiento de mayoría de cultivos.

Conductividad Eléctrica (C.E)

Tenemos una C.E. de 0.52 Milimhos/cm (dS/m = Milimhos/cm), basado en la Tabla 96 ((Ortega), pág. 16): 0-2 Milimhos/cm = No salino. Es decir, sin problemas de sales.

Tabla 96 Interpretación De La C.E. Del Extracto Del Suelo (Milimhos/cm)

Tabla 7 INTERPRETACION DE LA C.E. DEL EXTRACTO DEL SUELO (milimhos/cm)				
0-2	0-4	4-8	8-16	16
No salino	Muy ligera- mente salino	Moderada- mente sa- lino	Fuertemen- te salino	Muy fuerte- mente salino

Materia Orgánica (MO)

En la Tabla 97 ((Baquero), pág. 10): Para clima cálido, <2% es Bajo, debido a que nuestro análisis nos indica que es de (1.66%). La MO es fuente de N, P, S y Micronutrientes. Cada 1% de MO aporta ~2 meq/100gr a la CIC.

Tabla 97 Estimativo de materia orgánica en los suelos

Tabla 2. Estimativo de materia orgánica en los suelos			
CLIMA	INTERPRETACION DEL % DE MATERIA ORGANICA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Frío	Menor de 5	5.10	Mayor de 10
Templado	Menor de 3	3.5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2.3	Mayor de 3

Carbono Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 1.66%, el cual sería mediante la (Ecuación 7):

$$CT = \frac{1.66\%}{1,724} \times 100 = 0.96\%$$

Nitrógeno Total

El porcentaje se puede determinar después de obtener el porcentaje de Materia Orgánica, teniendo en cuenta que nuestra materia orgánica es de 1.66%, el cual sería mediante la (Ecuación 8):

$$NT = \frac{1.66\%}{20} \times 100 = \mathbf{0,083\%}$$

Mediante la Tabla 98 ((Ortega) pág. 11), nos indica que en Clima Cálido nuestro NT es Bajo, porque nuestra cantidad fue de 0,083%, el cual nos da a entender que es <0,10% la interpretación.

Tabla 98 Estimativo Conceptual Del Nitrógeno En Los Suelos

Tabla 3. ESTIMATIVO CONCEPTUAL DEL NITRÓGENO EN LOS SUELOS			
C L I M A	Interpretación del % de N. Total		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	Menor de 0,25	0,25 - 0,50	Mayor de 0,50
Medio	Menor de 0,15	0,15 - 0,25	Mayor de 0,25
Cálido	Menor de 0,10	0,10 - 0,20	Mayor de 0,20

Relación C/N

Según (Ortega), esta relación da una idea de los procesos que están regulando el estado del nitrógeno en el suelo, el cual se hace mediante una calificación para determinar su nivel, mediante la siguiente Tabla 99:

Tabla 99 RELACION C/N

Relación C/N		
Calificación	Valor analítico	Interpretación
<10	Baja	Alta mineralización
10-12	Media	Mineralización “normal”
>12	Alta	Mineralización lenta

Entonces aplicando la (Ecuación 9):

$$R = \frac{0.96\%}{0,083\%} = \mathbf{11,6}$$

Entonces esto nos da a entender que nuestra Relación C/N se encuentra en un Nivel Media, con una “Mineralización Normal” con respecto al cálculo y formula anterior.

Fosforo (P)

En la Tabla 100 ((Ortega), pág. 13-14) nos muestran los niveles críticos para Fosforo por tres métodos, se utiliza el siguiente: método Bray II, nos indica que <20 ppm = ALTA probabilidad de respuesta ($>80\%$). En donde tenemos un 6.80 ppm (ppm = mg/kg), el cual se da a entender que la cantidad es BAJA.

Tabla 100 FOSFORO (P)

Tabla 5 CALIBRACION DE FOSFORO APROVECHABLE EN SUELOS (+)		
M E T O D O	Nivel para alta respuesta (ppm)	Nivel para baja respuesta (ppm)
Bray I	Menor que 10	Mayor que 25
Bray II	Menor que 20	Mayor que 40
Olsen	Menor que 12	Mayor que 35
(+) Frye, 1972 .		

Azufre (S)

Según los resultados obtenidos de AGROSAVIA la cantidad de 10.72 ppm (ppm = mg/kg), nos da a entender que >10 ppm es considerado Medio la cantidad de Azufre, el cual, es un elemento secundario esencial.

Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)

Mediante la Tabla 101 según (Ortega) (pág., 14), de 10-20 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg) es una cantidad MEDIA, dado que nuestro resultado es de 11.44 meq/100gr. En donde, lo podremos ver en los siguientes rangos:

Tabla 101 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E.)

Menor que 10 meq / 100 g	: Baja
10 - 20 meq / 100 g	: Media
Mayor que 20 meq / 100 g	: Alta.

Boro (B)

Con la siguiente tabla 102 basada en el ICA, tenemos la cantidad e interpretación:

Tabla 102 Boro Disponible

Boro disponible	
<0.20	Bajo
0.20 - 0.40	Medio
>0.40	Alto

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla anterior, nos da a entender que nuestro Boro se encuentra en una cantidad ALTA, debido a que nuestros resultados fueron de 0.51 mg/kg, es decir, contiene excelente disponibilidad.

Acidez (Al+H)

Tenemos que se encuentra Sin Restricción, porque el pH es de 8.11 (Muy Alcalino), es decir, >5.5 que indica ausencia de toxicidad por Aluminio. También cuenta sin problemas de acidez.

Calcio (Ca)

Mediante la Tabla 103 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 7.46 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es ALTO, el cual, nos indica que está en >6 meq/100gr. La Saturación es de 65% que también es ALTO por ser >50%.

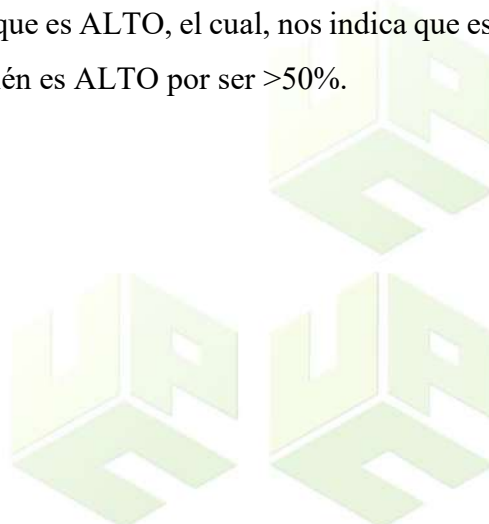


Tabla 103 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0,20	0,20 - 0,40	> 0,40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0,25		

Magnesio (Mg)

Mediante la Tabla 104 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 2.65 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es ALTO, el cual, nos indica que esta se encuentra >2.5 meq/100gr. La Saturación es de 23% que también es MEDIO, lo cual, es un rango ideal por encontrarse entre 15-25%.

Tabla 104 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0,20	0,20 - 0,40	> 0,40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0,25		

Potasio (K)

Mediante la Tabla 105 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 0.62 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que es ALTO, el cual, nos indica que esta se encuentra >0.40 meq/100gr. La Saturación es de 5% que es ALTO, lo cual, se encuentra en Muy Buen Nivel por ser >3%.

Tabla 105 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

Tabla 3. Estimativo conceptual de las bases en el suelo				
ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0,20	0,20 - 0,40	> 0,40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0,25		

Sodio (Na)

Mediante la Tabla 106 ((Baquero), pág. 12): tenemos que nuestro resultado es de 0.71 meq/100gr (meq/100gr = cmol (+) /kg), que significa que debe ser <1. La Saturación es de 6% nos indica que debe ser <15%, es decir, se encuentra NORMAL sin riesgo de sodicidad.

Tabla 106 Estimativo conceptual de las bases en el suelo

Tabla 3. Estimativo conceptual de las bases en el suelo				
ELEMENTO		INTERPRETACION		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Calcio	meq/100 g	< 3	3 - 6	> 6
	Saturación %	< 30	30 - 50	> 50
Magnesio	meq/100 g	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5
	Saturación %	< 15	15 - 25	> 25
Potasio	meq/100 g	< 0,20	0,20 - 0,40	> 0,40
	Saturación %	< 2	2 - 3	> 3
Sodio	meq/100 g	Su contenido debe ser menor de 1 Debe ser menor de 15%		
	Saturación %			
Relación normal	Ca : Mg : K	3 : 1 : 0,25		

Relación Ca: Mg: K

Mediante la Tabla 103-104-105 ((Baquero) pág. 12), nos indican que una relación normal debe ser Ca (3): Mg (1): K (0.25). En comparación con nuestros resultados que fueron: Ca (7.46): Mg (2.65): K (0.62), es decir, se encuentra una relación desbalanceada.

Hierro (Fe)

Debido al suelo Alcalino ($\text{pH} > 7.83$) se reduce drásticamente la disponibilidad de micronutrientes como (B, Fe, Cu, Mn y Zn), con una cantidad Baja de 20.81 mg/kg.

Cobre (Cu)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y la alcalinidad inhibe su absorción.

Manganeso (Mn)

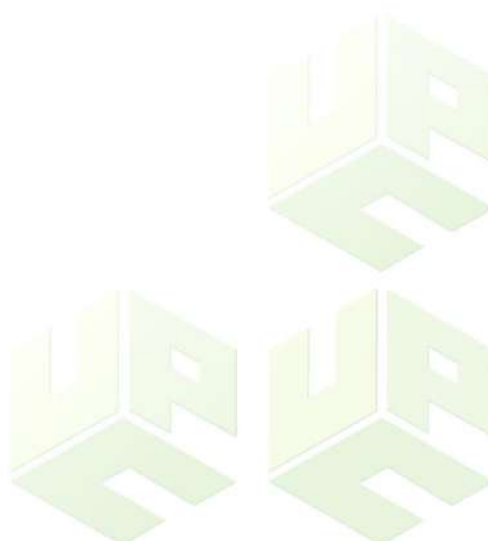
Su cantidad que es 1.21 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es típico de suelos con ($\text{pH} > 8.0$).

Zinc (Zn)

Su cantidad que es < 1.00 mg/kg nos indica que su cantidad es Baja, es decir, deficiente y que es común en suelos alcalinos.

6.1.3 Caracterizar los resultados de los análisis completos iniciales y finales de las partes físicas y químicas.

6.1.3.1 Comparación de análisis físicas y químicas iniciales y finales



PARAMETRO	UNIDAD	TESTIGO	PARCELA 1	PARCELA 2	PARCELA 3	PARCELA 4	Rango Optimo
PARTE FISICA DEL SUELO							
Densidad Real	gr/cm ³	1,33	1,35	1,36	1,30	1,35	2.5 - 2.7
<u>Interpretación</u>		Media	Media	Media	Media	Media	Normal (Suelo Minerales)
<u>Diferencia vs Testigo</u>			0,02	0,03	-0,04	0,02	
<u>Observación</u>		Suelo en condiciones normales se puede aceptar	Suelo en condiciones normales se puede aceptar	Suelo en condiciones normales se puede aceptar	Suelo en condiciones normales se puede aceptar	Suelo en condiciones normales se puede aceptar	
Densidad Real	gr/cm ³	0,65	0,66	0,67	0,65	0,64	1,1 - 1,33
<u>Interpretación</u>		Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Buena estructura ideal para cultivos
<u>Diferencia vs Testigo</u>			0,01	0,02	0,00	-0,01	
<u>Observación</u>		Suelo muy suelto con alto contenido se materia orgánica.	Suelo muy suelto con alto contenido se materia orgánica.	Suelo muy suelto con alto contenido se materia orgánica.	Suelo muy suelto con alto contenido se materia orgánica.	Suelo muy suelto con alto contenido se materia orgánica.	
Porosidad	%	51,18	50,99	50,68	49,68	52,73	55 - 70
<u>Interpretación</u>		Satisfactoria	Satisfactoria	Satisfactoria	satisfactoria	Satisfactoria	Excelente
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0,19	-0,50	-1,50	1,55	
<u>Observación</u>		Funciona bien, pero no es óptima; tiende a Compactarse y	Funciona bien, pero no es óptima; tiende a Compactarse	Funciona bien, pero no es óptima; tiende a Compactarse	Funciona bien, pero no es óptima; tiende a Compactarse	Funciona bien, pero no es óptima; tiende a Compactarse	Porosidad ideal suelo esponjoso y bien

		puede encharcarse algo en lluvias.	y puede encharcarse algo en lluvias.	y puede encharcarse algo en lluvias.	y puede encharcarse algo en lluvias.	y puede encharcarse algo en lluvias.	estructurado, con buen aire, agua y humedad para raíces, microbios y agricultura.
Textura	%	Arena: 57,7 Arcilla: 36,9 Limo: 5,4	Arena: 54,9 Arcilla: 39,7 Limo: 5,4	Arena: 53,3 Arcilla: 42,6 Limo: 4,1	Arena: 53,3 Arcilla: 39,7 Limo: 7	Arena: 54,9 Arcilla: 36,9 Limo: 8,3	Arena: 45 Aprox. Arcilla: 40 Aprox. Limo: 15 Aprox.
<u>Interpretación</u>		Arcillosa arenosa	Arcillosa arenosa	Arcillosa arenosa	Arcillosa arenosa	Arcillosa arenosa	Franco
<u>Observación</u>		Este suelo drena bien, aunque se seca muy rápido, tiene materia orgánica, sirve para muchos cultivos.	Este suelo drena bien, aunque se seca muy rápido, tiene materia orgánica, sirve para muchos cultivos.	Este suelo drena bien, aunque se seca muy rápido, tiene materia orgánica, sirve para muchos cultivos.	Este suelo drena bien, aunque se seca muy rápido, tiene materia orgánica, sirve para muchos cultivos.	Este suelo drena bien, aunque se seca muy rápido, tiene materia orgánica, sirve para muchos cultivos.	Es considerado el más equilibrado y productivo, no se encharca, drena bien pero retiene la humedad y nutrientes necesarios, y tienen buena aireación.

PARTE QUIMICA DEL SUELO

pH	Unidades de pH	8.67	7.77	7.83	7.56	8.11	6.0 – 6.5
<u>Interpretación</u>		Muy Alcalino	Alcalino	Alcalino	Alcalino	Muy Alcalino	Ligeramente Acido
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.90	-0.84	-1.11	-0.56	
<u>Observación</u>		Condición más crítica. Inhibe micronutrientes	Mejoría significativa, aunque aún alcalino	Similar a la Parcela 1	Mejor pH. Casi neutro, ideal para cultivos	Única que se mantiene en rango muy alcalino	
Conductividad Eléctrica (C.E)	Milimhos/cm	0.45	0.25	0.17	0.45	0.52	0 – 2 No salino
<u>Interpretación</u>		No salino	No salino	No salino	No salino	No salino	
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.20	-0.28	0	0.07	
<u>Observación</u>		Valor base. Indica ausencia de problemas de salinidad.	Disminución significativa. Puede reflejar lavado de sales por riego o mayor observación por cultivos.	Valor más bajo. Mayor lavado o menor acumulación de sales. No hay riesgo de salinidad.	Idéntico al testigo. Mantiene el mismo nivel de sales solubles.	Valor más alto. Aumento leve, puede deberse a fertilización o menor lavado. Sigue sin ser problemático	
Materia orgánica (MO)	%	0.48	1.55	1.29	2.38	1.66	> 2.0 – 4.0
<u>Interpretación</u>		Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Medio - Alto
<u>Diferencia vs Testigo</u>			1.07	0.81	1.90	1.18	
<u>Observación</u>		Extremadamente bajo. Suelo degradado.	Aumento importante, pero sigue siendo bajo.	Similar a la Parcela 1.	Mejor MO. Entra en rango optimo	Aumento importante, pero aún bajo.	

Carbono Total	%	0.28	0.90	0.75	1.38	0.96	1.16 – 2.32 Medio - Alto
<u>Interpretación</u>		Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	
<u>Diferencia vs Testigo</u>			0.62	0.47	1.10	0.68	
<u>Observación</u>		Condición crítica	Mejoro, pero aun deficitaria	Mejoro, pero aun deficitaria	Optimo alcanzado	Muy cerca del optimo	
Nitrógeno Total	%	0.024	0.078	0.065	0.119	0.083	0.10 – 0.20
<u>Interpretación</u>		Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Medio
<u>Diferencia vs Testigo</u>			0.054	0.041	0.095	0.059	
<u>Observación</u>		Extremadamente bajo. Reserva nula.	Mejor 225%, pero aún bajo.	Mejora limitada (171%). Es la parcela con menor recuperación.	Optimo alcanzado. Mejor desempeño (aumento 396%)	Mejora importante (246%). Muy cerca del optimo.	
Relación C/N	%	11.7	11.5	11.5	11.6	11.6	10 – 12 Mineralización normal. Aporte eficiente de nutrientes por la MO.
<u>Interpretación</u>		Media	Media	Media	Media	Media	
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	
<u>Observación</u>		Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	
Fosforo (P)	ppm	2.24	2.23	2.33	10.52	6.80	20 – 40
<u>Interpretación</u>		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.01	0.09	8.28	4.56	
<u>Observación</u>		Deficiencia severa.	Sin mejora, igual al testigo.	Sin mejora significativa.	Mejor aumento notable,	Mejoría moderada.	

					aunque sigue bajo		
Azufre (S)	Ppm	7.10	3.41	2.93	10.88	10.72	10 – 20
<u>Interpretación</u>		Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-3.69	-4.17	3.78	3.62	
<u>Observación</u>		Deficiente.	Peor que el testigo. Mas deficiente.	La peor. Deficiencia severa.	Mejor S. Alcanza nivel óptimo.	Alcanza nivel óptimo.	
Capacidad de Intercambio Cationico Efectivo (C.I.C.E)	Meq/100gr	12.31	10.11	8.10	10.37	11.44	10 – 20
<u>Interpretación</u>		Media	Media	Baja	Media	Media	Media - Alta
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-2.20	-4.21	-1.94	-0.87	
<u>Observación</u>		Capacidad de retención moderada.	Se mantiene en Media, pero disminuye.	La peor. Pérdida de capacidad de retención.	Se mantiene en media.	Similar al testigo.	
Boro (B)	Mg/kg	0.23	0.20	0.17	0.47	0.51	0.20 – 0.40
<u>Interpretación</u>		Medio	Medio	Bajo	Alto	Alto	Medio
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.03	-0.06	0.24	0.28	

<u>Observación</u>		Nivel adecuado	Se mantiene en el límite inferior de medio.	La peor. Ha descendido a nivel deficiente.	Mejor B. Aumento significativo.	Mejor B. El valor más alto de todos	
Acidez (Al+H)	Cmol (+) /kg	0	0	0	0	0	No indica
<u>Interpretación</u>		ND	ND	ND	ND	ND	
<u>Diferencia vs Testigo</u>			0	0	0	0	
<u>Observación</u>		No indica	No indica	No indica	No indica	No indica	
Calcio (Ca)	Meq/100gr	8.58	7.04	5.64	6.66	7.46	3 – 6
Saturación Ca	%	70	70	70	64	65	Medio
<u>Interpretación</u>		Alto	Alto	Medio	Alto	Alto	30 – 50
		Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-1.54	-2.64	-1.92	-1.12	
<u>Observación</u>		Muy alto. Exceso de calcio contribuye a la alcalinidad del suelo.	Alto, pero disminuyo. Sigue siendo alto por encima del rango optimo. Indicando que el calcio sigue dominando el complejo de cambio	La única donde el Calcio bajo a rango medio.	Esta es la mejor evolución en términos de reducción del exceso de Calcio.	Es alto, aunque disminuyo ligeramente. La saturación está mejorando, pero aun por encima del rango optimo.	
Magnesio (Mg)	Meq/100gr	2.66	2.42	2.03	2.44	2.65	1.5 – 2.5
Saturación (Mg)	%	22	24	25	24	23	Medio
<u>Interpretación</u>		Alto	Medio	Medio	Medio	Alto	15 – 25
		Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio

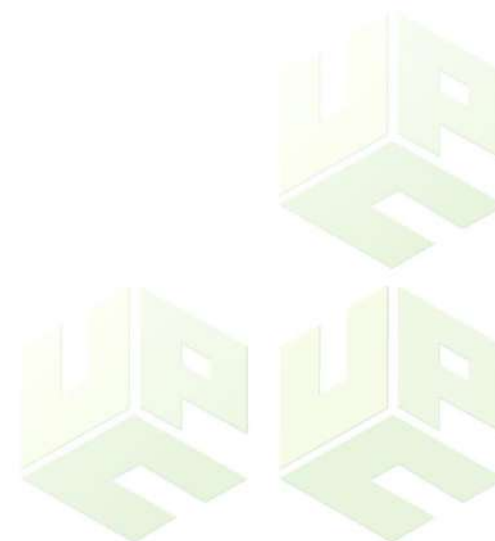
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.24	-0.63	-0.22	-0.01	
<u>Observación</u>		Alto. Lo que indica que, aunque la cantidad absoluta es alta, su proporción en el complejo de cambio es adecuada.	Se mantiene dentro del rango optimo.	Disminuyo, también en la saturación alcanzando el límite superior del rango optimo.	Se mantiene dentro del rango optimo.	No vario respecto al testigo. Es la única parcela que mantiene el Magnesio en rango Alto. La saturación se mantiene dentro del rango optimo.	
Potasio (K)	Meq/100gr	0.30	0.17	0.16	0.85	0.62	0.20 – 0.40
Saturación (K)	%	2	2	2	8	5	Medio
<u>Interpretación</u>		Medio	Bajo	Bajo	Alto	Alto	2 – 3
		Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Medio
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.13	-0.14	0.55	0.32	
<u>Observación</u>		Es un nivel adecuado, pero no excedente.	Esta disminución sugiere que el cultivo de ha estado absorbiendo grandes cantidades de Potasio sin que se haya repuesto adecuadamente.	Es la parcela con menor Potasio junto con la Parcela 1.	Aumento drásticamente, el valor más alto de todas las parcelas. Lo que sugiere acumulación significativa de potasio por aporte de materia	Aumento, el segundo valor más alto después de la Parcela 4, su saturación alcanza el límite superior del rango optimo.	

					orgánica o fertilización.		
Sodio (Na)	Meq/100gr	0.77	0.48	0.27	0.42	0.71	< 1.0
Saturación (Na)	%	6	5	3	4	6	Normal
<u>Interpretación</u>		Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	< 15
		Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.29	-0.50	-0.35	-0.06	
<u>Observación</u>		No hay riesgo de sodicidad.	Se mantiene en niveles seguros.	Es el valor más bajo de Sodio entre todas las muestras.	Disminuye y se mantiene en niveles seguros.	Disminuyo ligeramente, la saturación se mantiene dentro del rango seguro.	
Relación Normal Ca: Mg: K		8.58: 2.66: 0.30	7.04: 2.42: 0.17	5.64: 2.03: 0.16	6.66: 2.44: 0.85	7.46: 2.65: 0.62	Ca: Mg: K
<u>Interpretación</u>		Desbalanceada	Desbalanceada	Desbalanceada	Desbalanceada	Desbalanceada	3: 1 : 0.25
<u>Diferencia vs Testigo</u>							
<u>Observación</u>		El Calcio esta alto en proporción al Magnesio y el Potasio está bajo en proporción.	La relación mejora Ca: Mg, pero la relación con Potasio empeora drásticamente, confirmando la deficiencia proporcional de potasio.	La relación Ca: Mg mejora, sin embargo, la relación con Potasio es deficitaria y similar a la Parcela 1.	Se indica un exceso de Potasio en proporción al Calcio y Magnesio.	Se acerca poco la relación ideal.	

Hierro (Fe)	mg/kg	16.86	13.34	10.64	18.28	20.81	> 20
<u>Interpretación</u>		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio - Alto
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-3.52	-6.22	1.42	3.95	
<u>Observación</u>		Ligeramente por debajo del umbral. En suelos muy alcalinos, la disponibilidad de Hierro se reduce drásticamente.	Disminuyo respecto al testigo. La alcalinidad sigue limitando la disponibilidad.	Valor más bajo. Mayor disminución, se correlaciona con la baja CICE y menor MO.	Aumento ligeramente, es la parcela con menor pH, lo que puede explicar la leve mejora.	Valor más alto, muy cerca del umbral optimo. A pesar del pH muy alcalino, es la que más Hierro ha acumulado.	20 – 50
Cobre (Cu)	mg/kg	1.15	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	>1.0
<u>Interpretación</u>		Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	
<u>Observación</u>		Única muestra con nivel Medio, el Cobre es el menos afectado por la alcalinidad	Descendió a nivel deficiente	Descendió a nivel deficiente	Descendió a nivel deficiente	Descendió a nivel deficiente	
Manganeso (Mn)	mg/kg	1.78	<1.00	1.91	1.76	1.21	> 5.0 - 10 Medio - Alto
<u>Interpretación</u>		Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	
<u>Diferencia vs Testigo</u>			-0,78	0.13	0.02	-0,57	
<u>Observación</u>		Muy por debajo del optimo, la alcalinidad	Disminuyo drásticamente, es el valor más	Aumento ligeramente, pero sigue	Similar al testigo, sin	Disminuyo respecto al testigo.	

		severa limita su disponibilidad.	bajo de todas las parcelas.	siendo muy bajo.	cambios significativos.		
Zinc (Zn)	mg/kg	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	
<u>Interpretación</u>		Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	
<u>Diferencia vs Testigo</u>							
<u>Observación</u>		Nivel deficiente, común en suelos alcalinos.	Nivel deficiente, común en suelos alcalinos.	Nivel deficiente, común en suelos alcalinos.	Nivel deficiente, común en suelos alcalinos.	Nivel deficiente, común en suelos alcalinos.	1.0 - 3.0 Medio

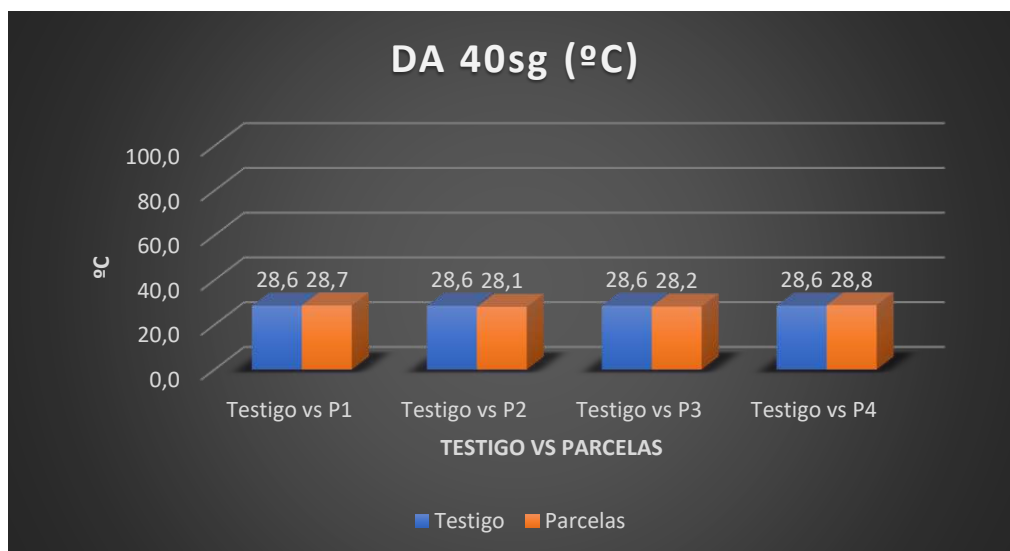
Fuente: (Baquero), (Ortega) y Autores 2026



6.1.3.2 Gráficas de las comparaciones de los análisis físicos y químicos.

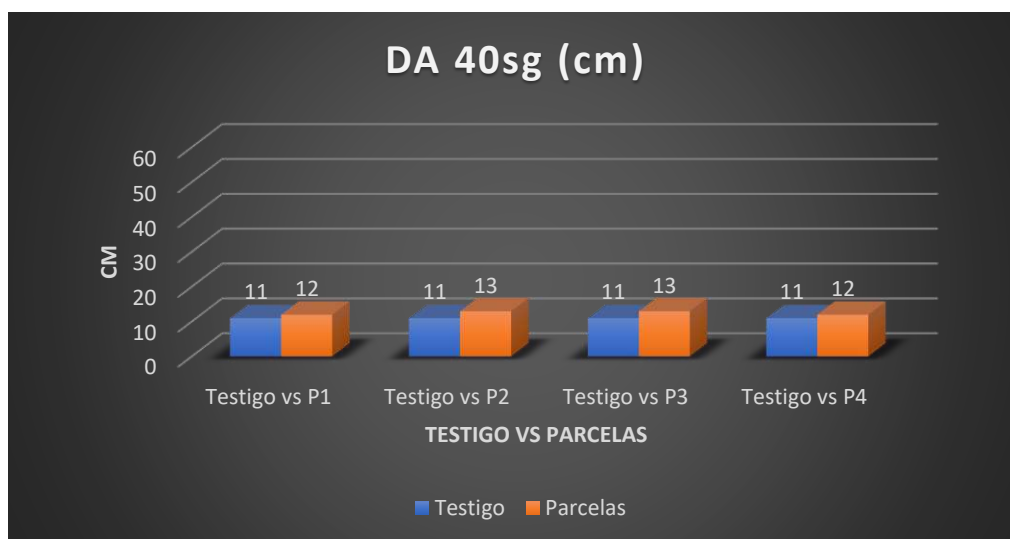
6.1.3.2.1 Comparaciones físicas.

Grafica 1 DA 40sg (°C)



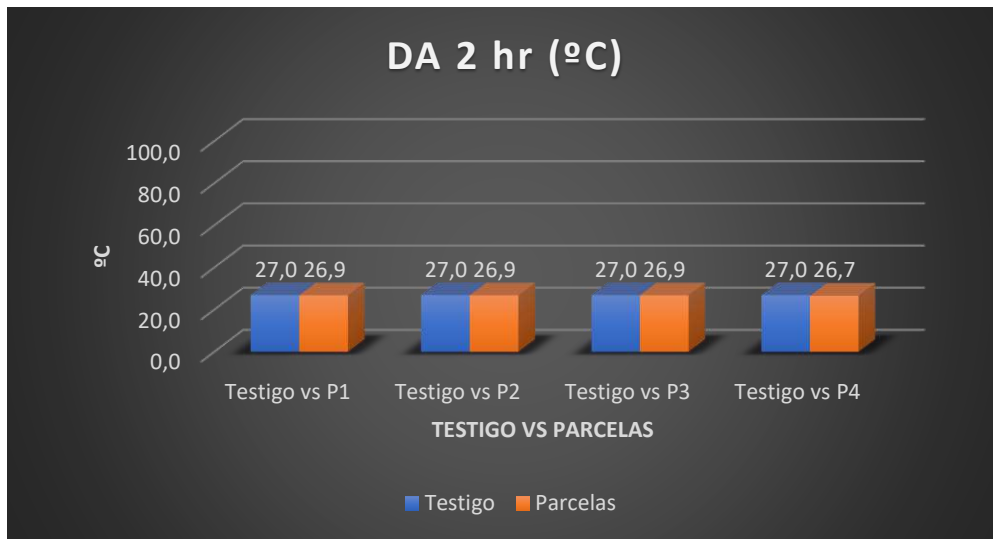
Fuente: Elaboración propia

Grafica 2 DA 40sg (cm)



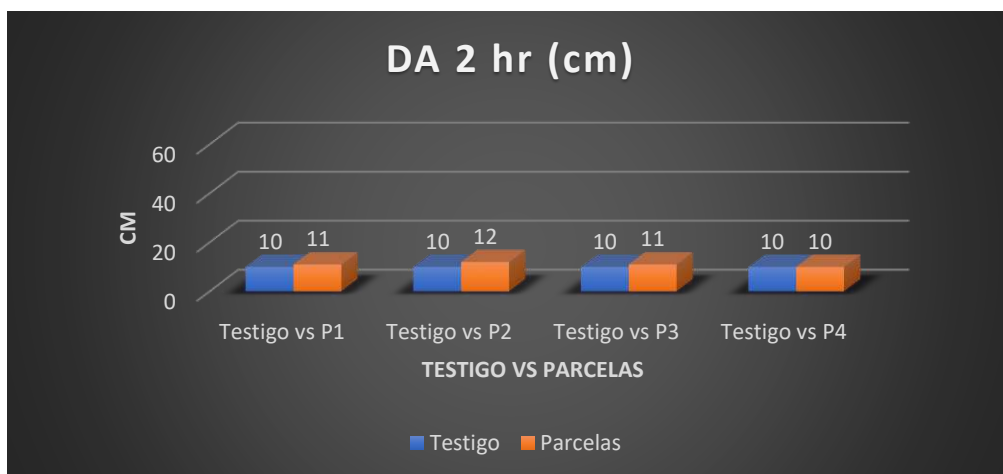
Fuente: Elaboración propia

Grafica 3 DA 2 hr (Lc)

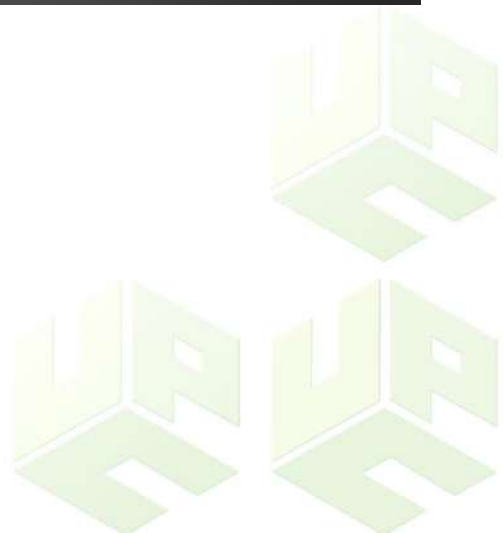


Fuente: Elaboración propia

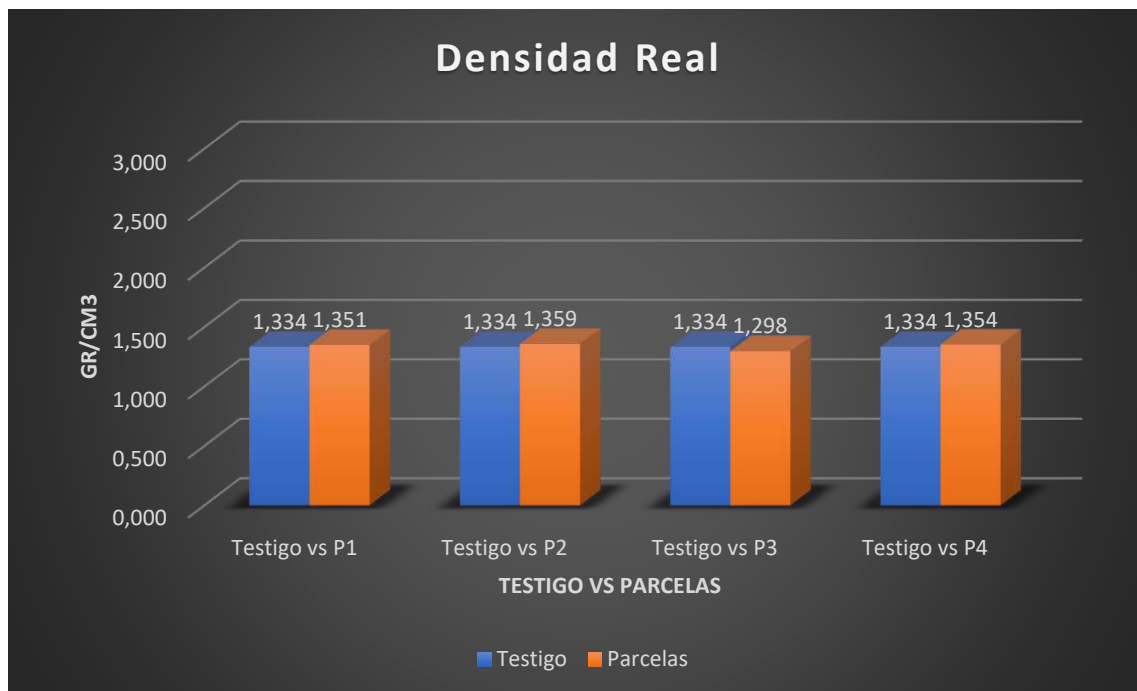
Grafica 4 DA 2 hr (cm)



Fuente: Elaboración propia

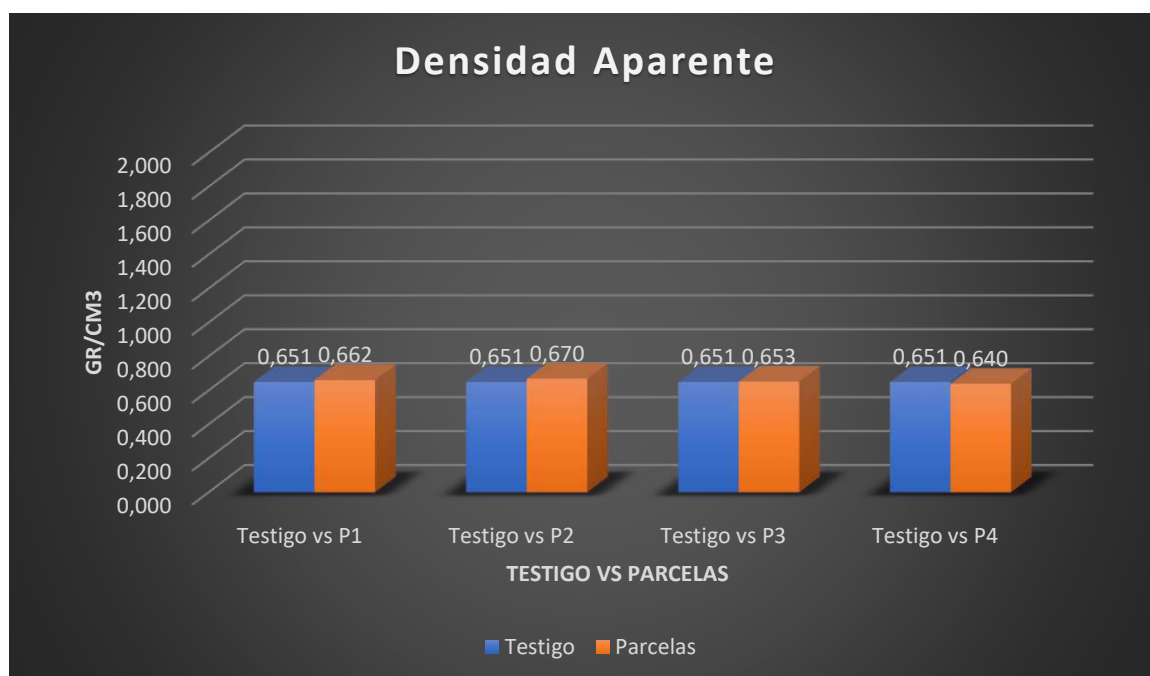


Grafica 5 Densidad Real



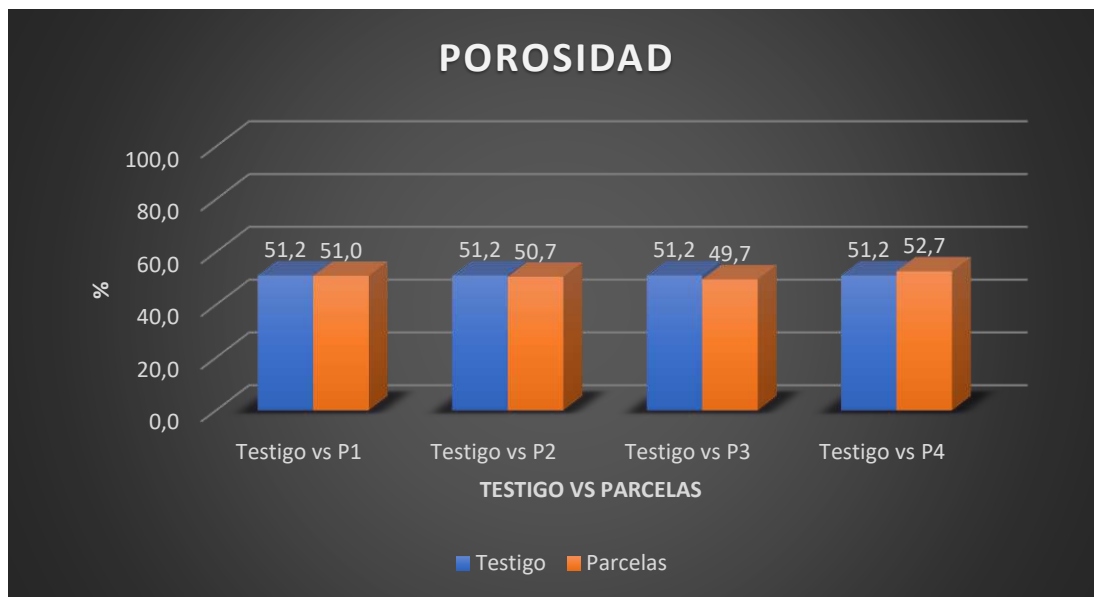
Fuente: Elaboración propia

Grafica 6 Densidad Aparente



Fuente: Elaboración propia

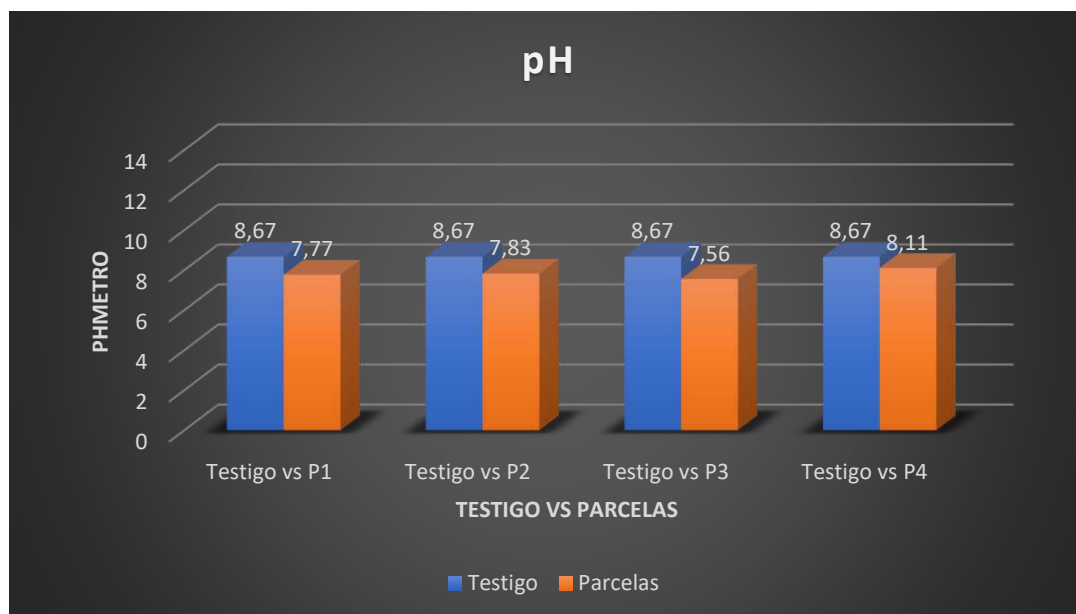
Grafica 7 POROSIDAD



Fuente: Elaboración propia

6.1.3.2.2 Comparaciones químicas.

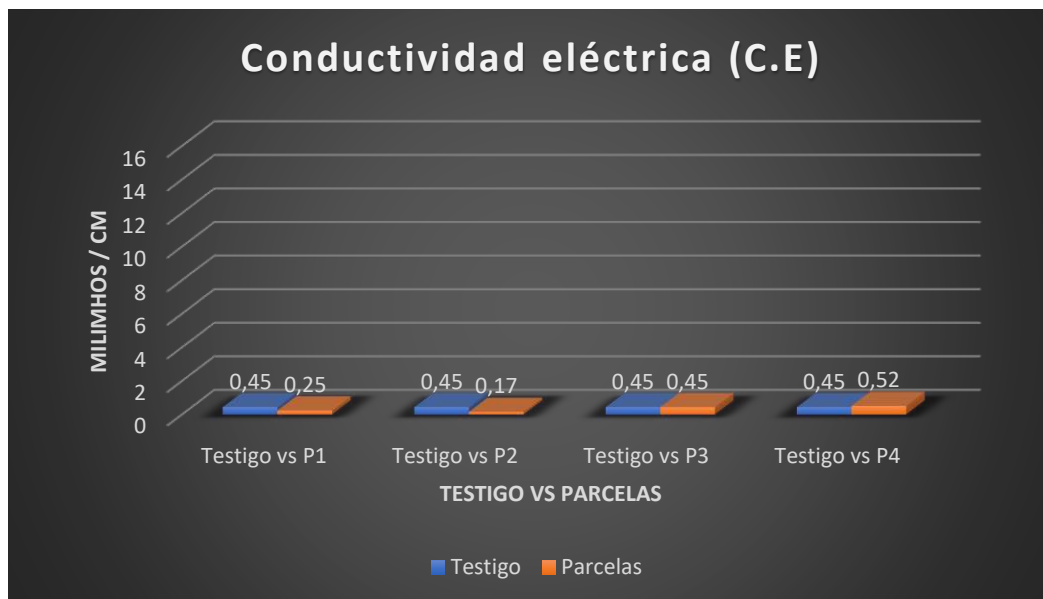
Grafica 8 pH



Fuente: Elaboración propia

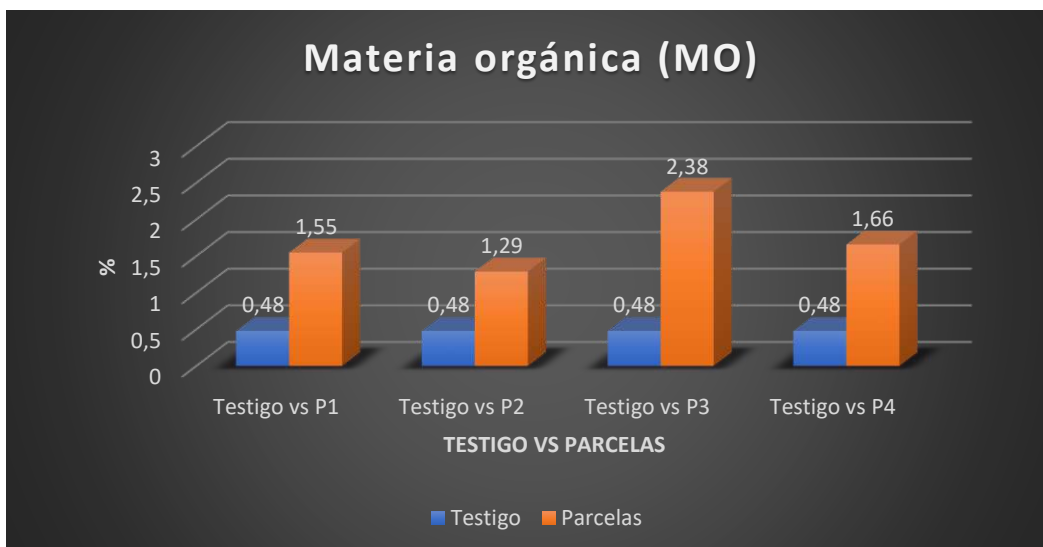


Grafica 9 Conductividad eléctrica (C.E)



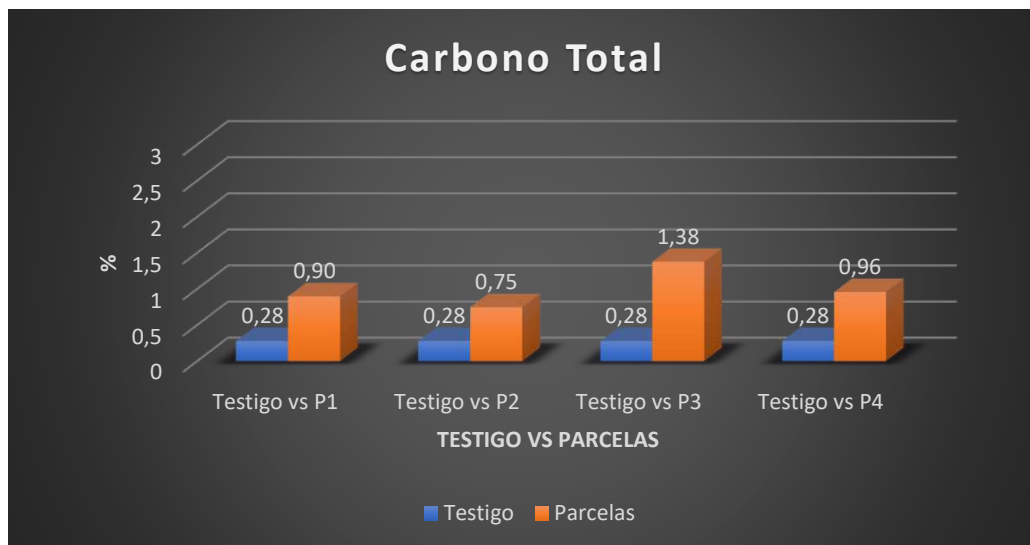
Fuente: Elaboración propia

Grafica 10 Materia orgánica (MO)



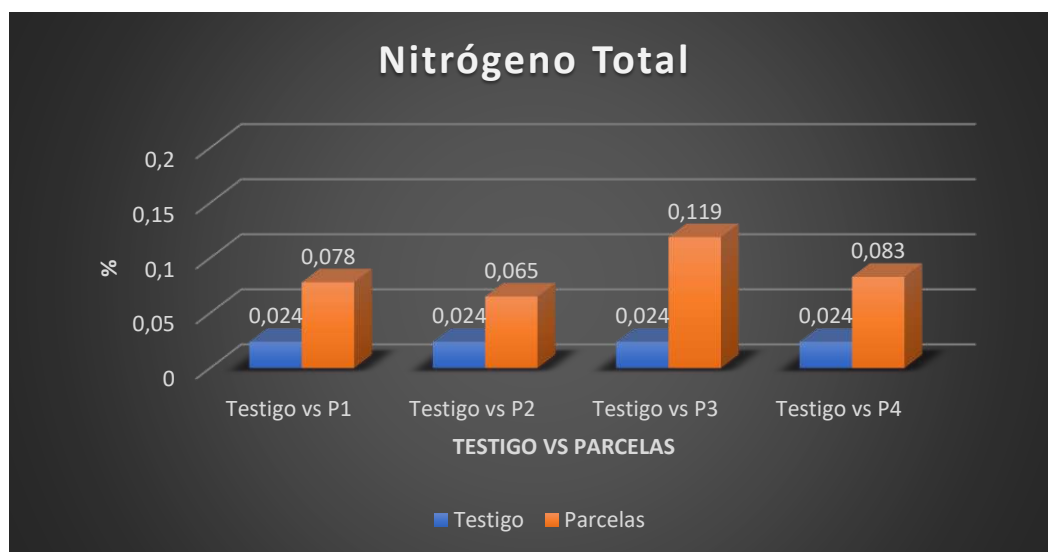
Fuente: Elaboración propia

Grafica 11 *Carbono Total*



Fuente: Elaboración propia

Grafica 12 *Nitrógeno Total*



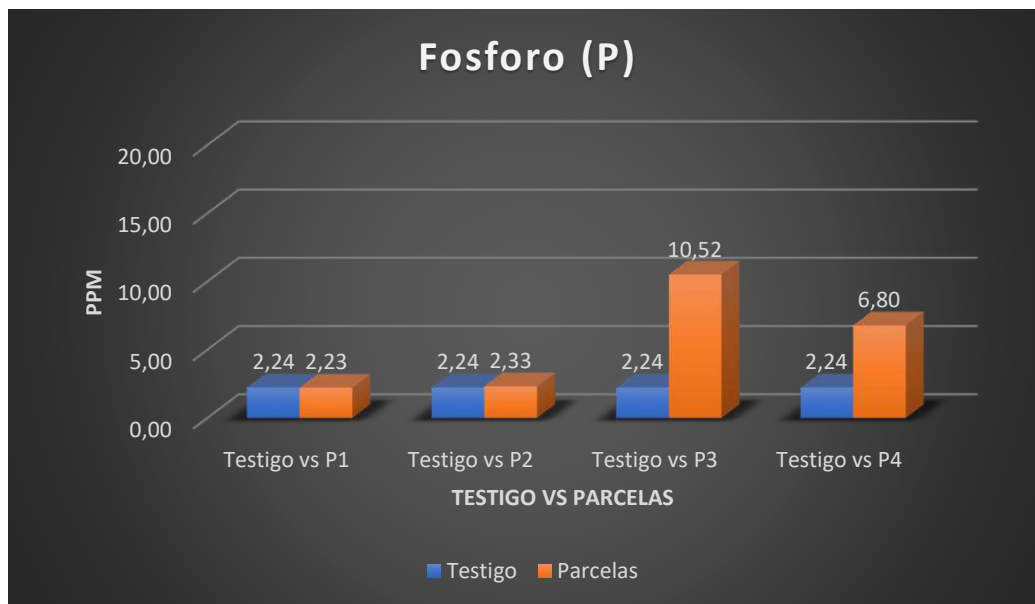
Fuente: Elaboración propia

Grafica 13 Relación C/N



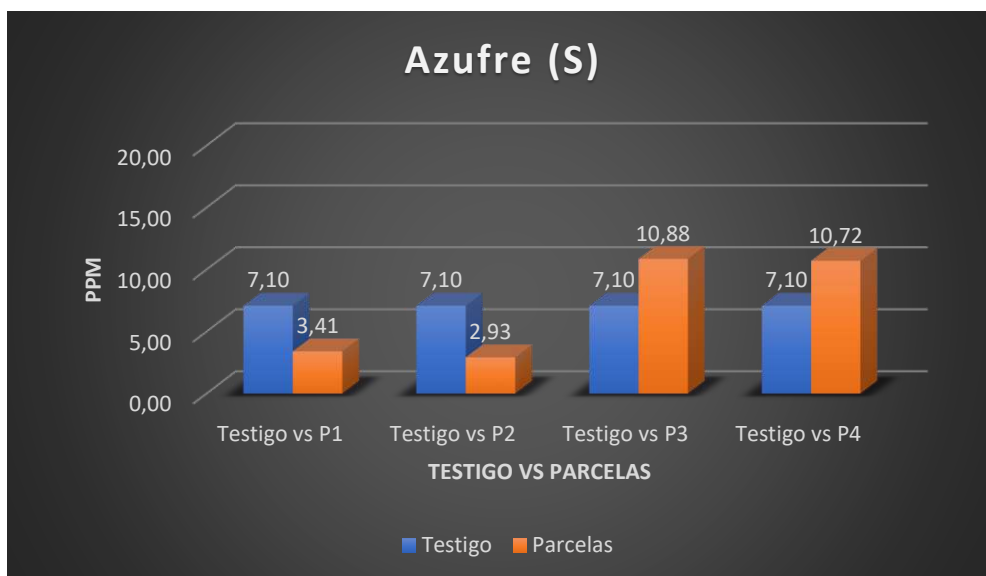
Fuente: Elaboración propia

Grafica 14 Fosforo (P)



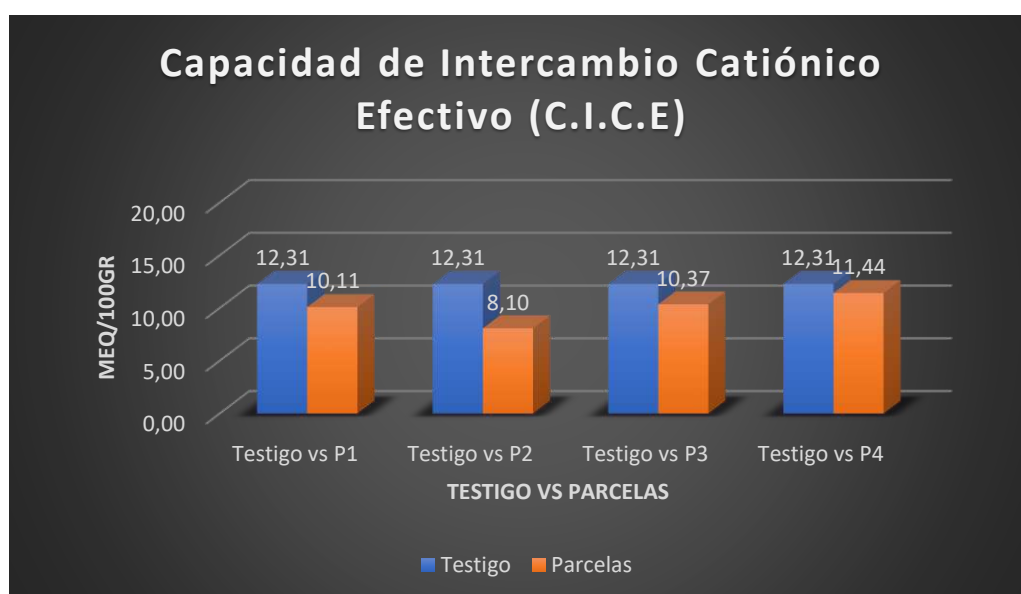
Fuente: Elaboración propia

Grafica 15 Azufre (S)



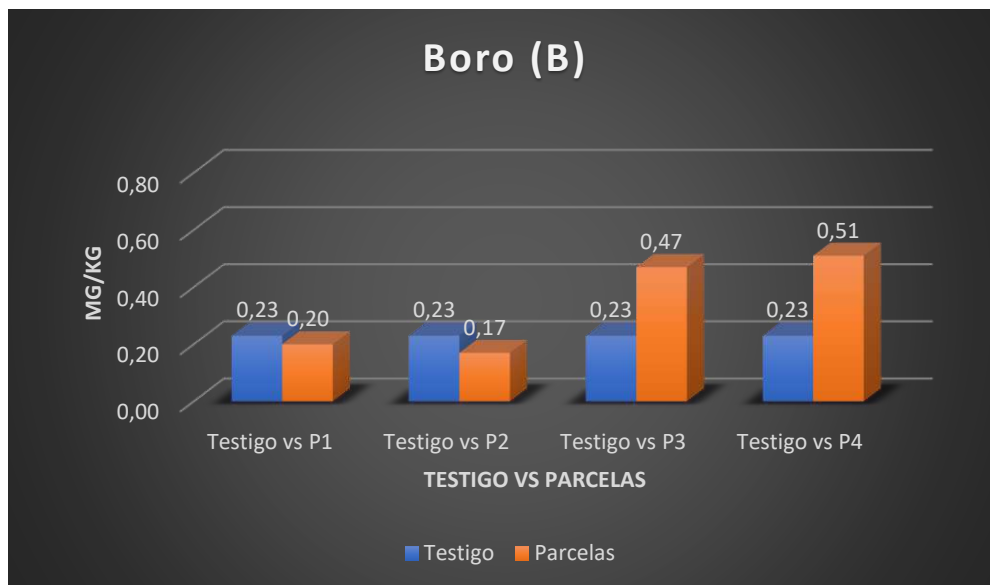
Fuente: Elaboración propia

Grafica 16 Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (C.I.C.E)



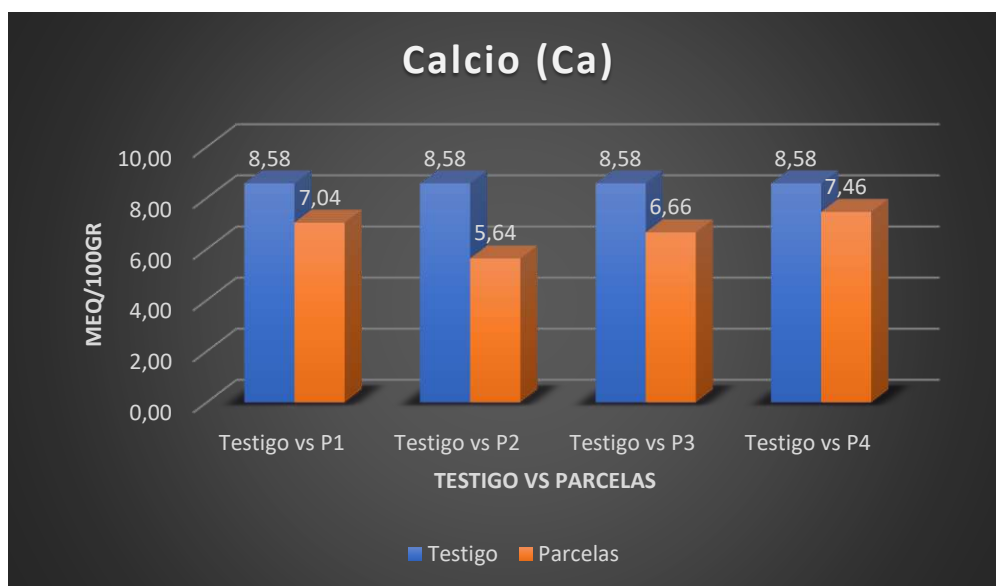
Fuente: Elaboración propia

Grafica 17 Boro (B)



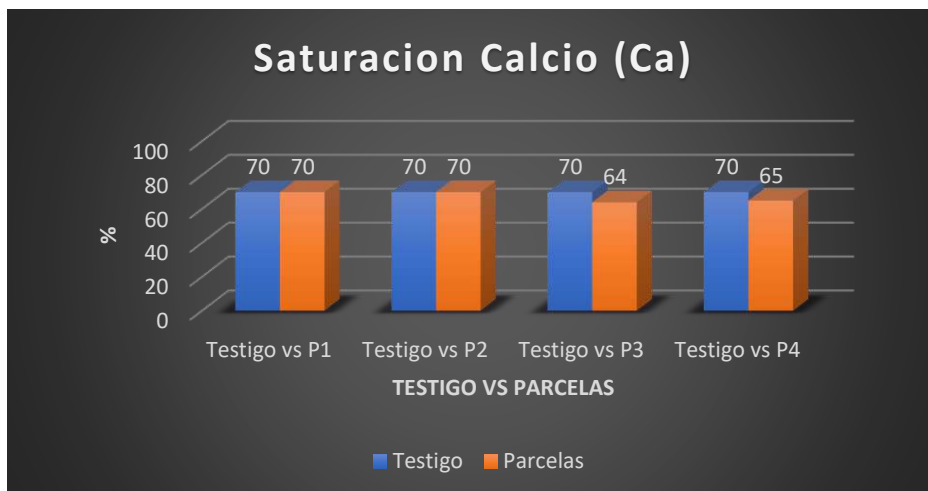
Fuente: Elaboración propia

Grafica 18 Calcio (Ca)



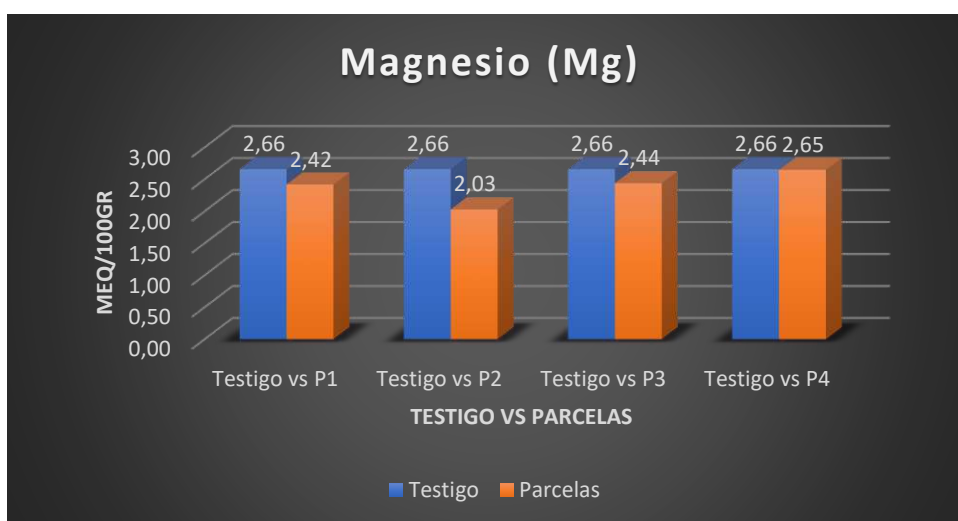
Fuente: Elaboración propia

Grafica 19 Saturación Calcio (Ca)

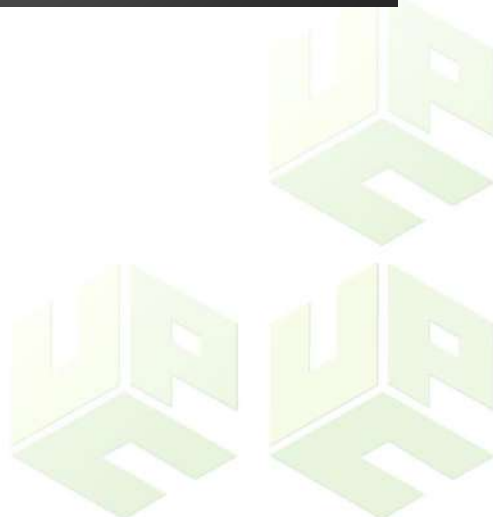


Fuente: Elaboración propia

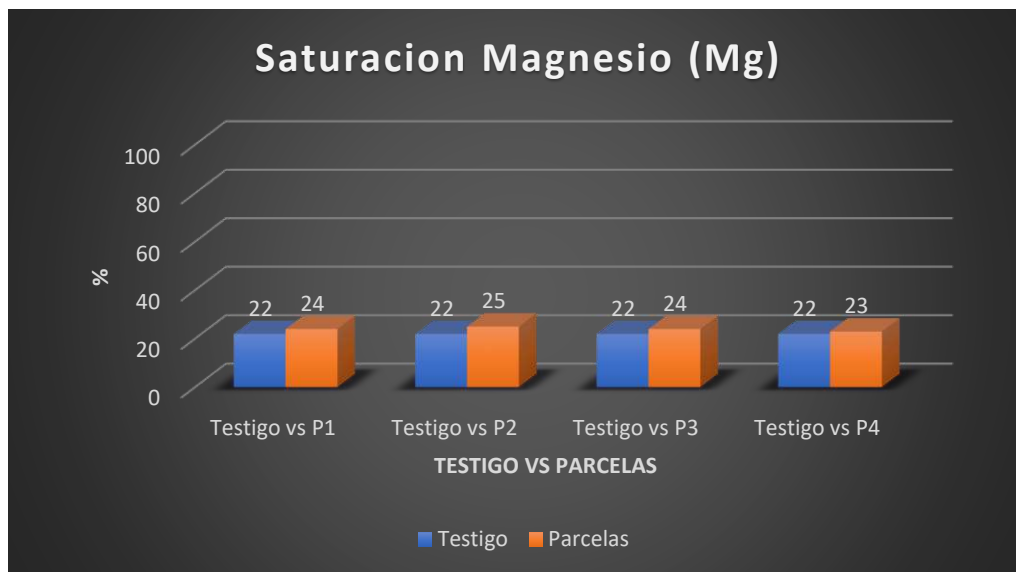
Grafica 20 Magnesio (Mg)



Fuente: Elaboración propia

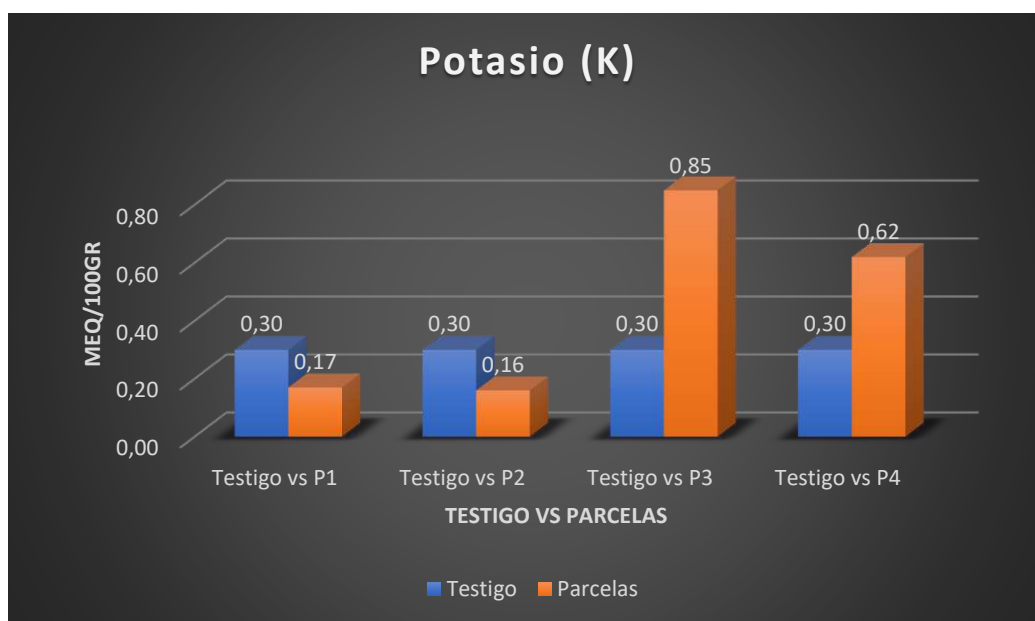


Grafica 21 Saturación Magnesio (Mg)



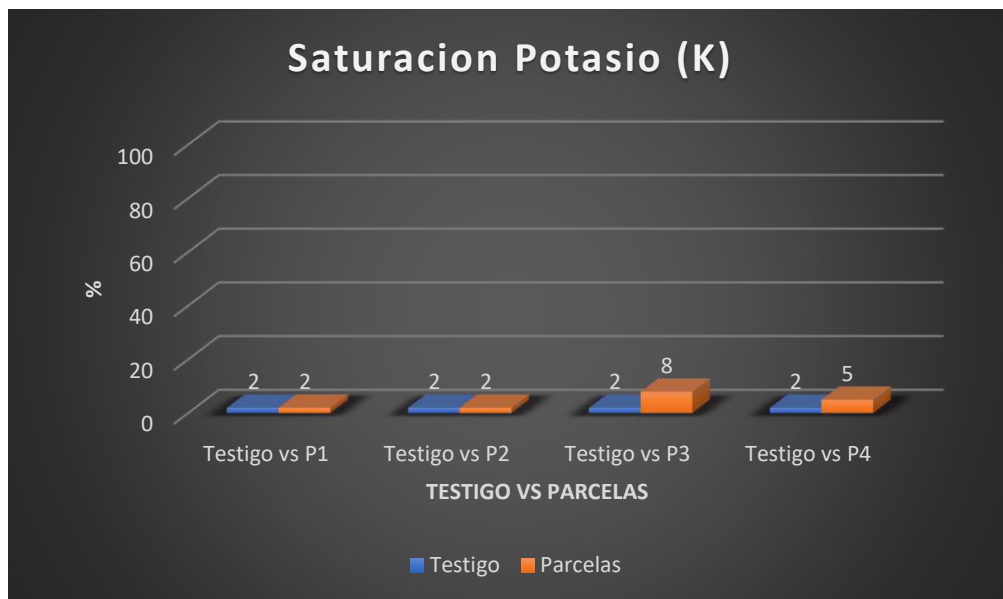
Fuente: Elaboración propia

Grafica 22 Potasio (K)



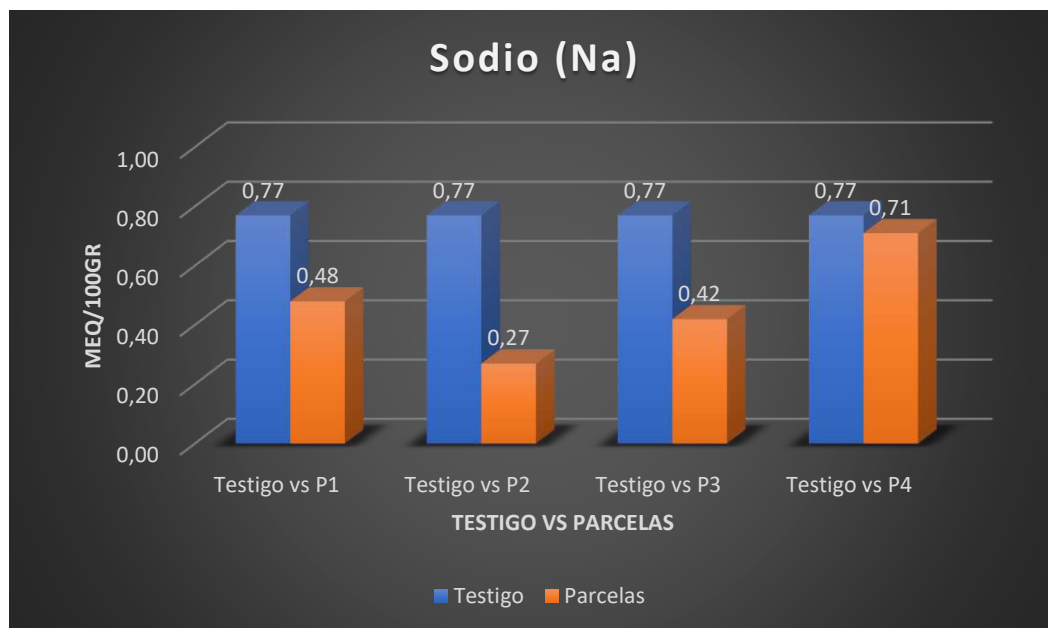
Fuente: Elaboración propia

Grafica 23 Saturación Potasio (K)



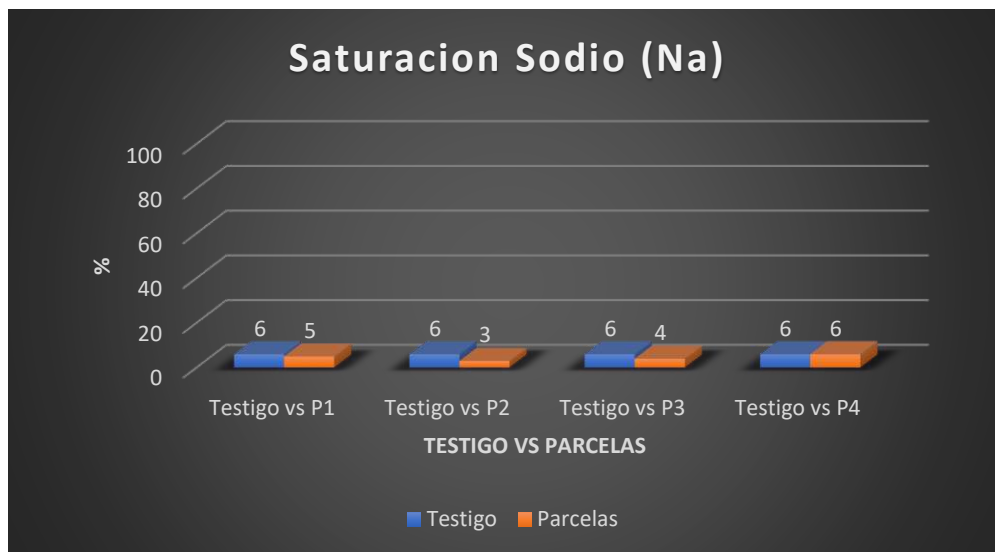
Fuente: Elaboración propia

Grafica 24 Sodio (Na)



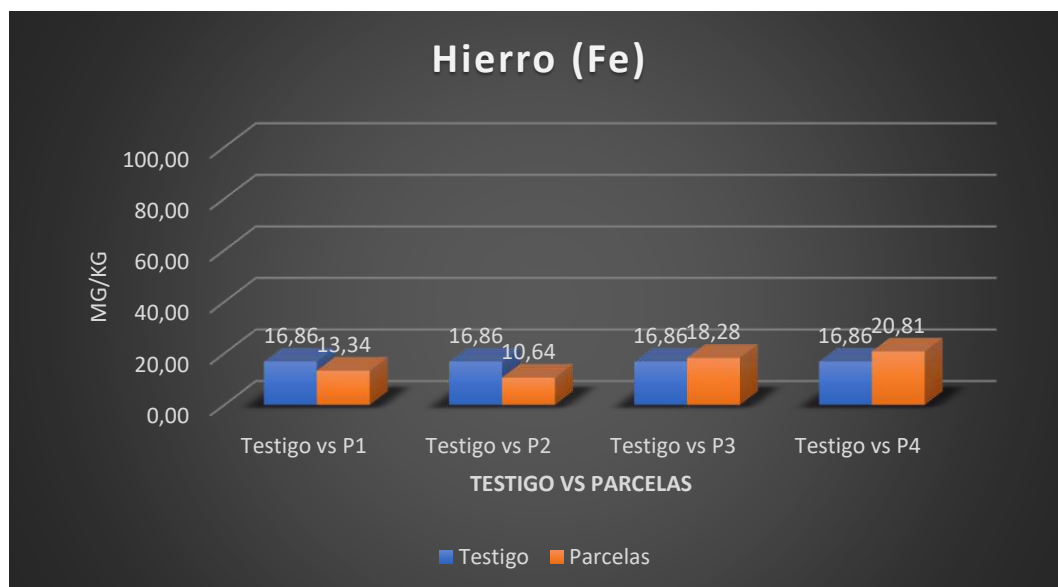
Fuente: Elaboración propia

Grafica 25 Saturación Sodio (Na)



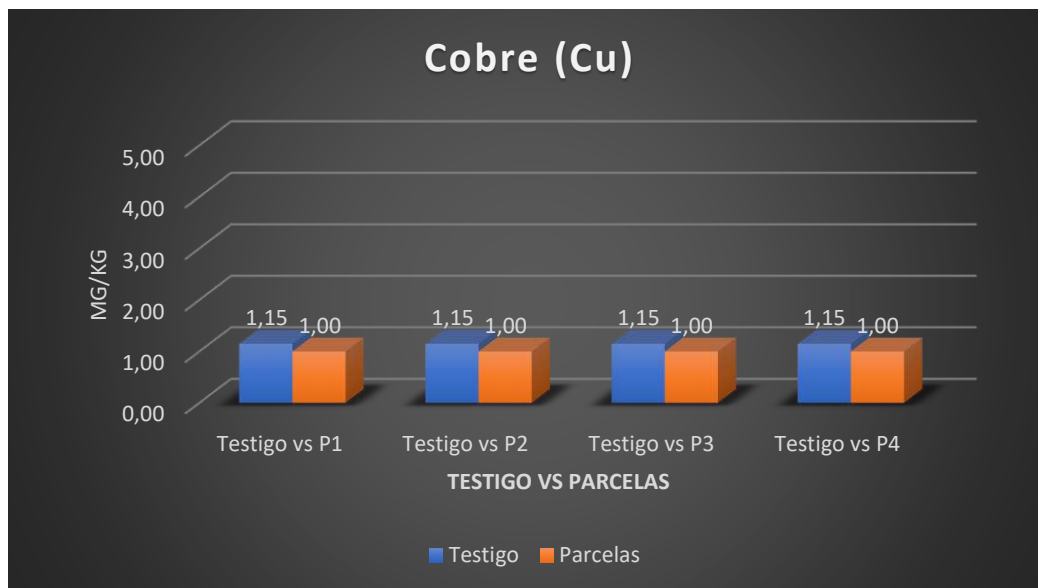
Fuente: Elaboración propia

Grafica 26 Hierro (Fe)



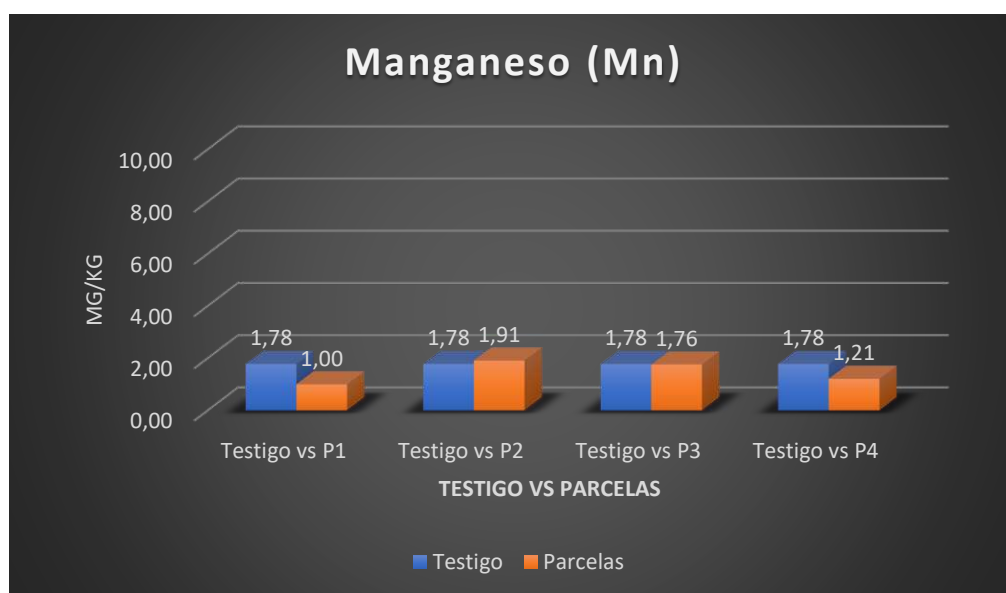
Fuente: Elaboración propia

Grafica 27 Cobre (Cu)



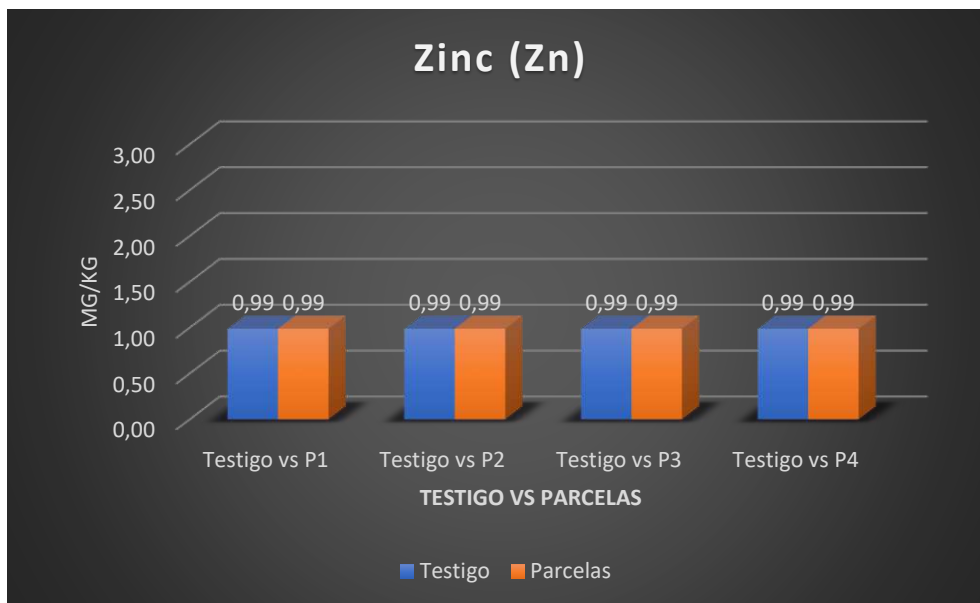
Fuente: Elaboración propia

Grafica 28 Manganeso (Mn)



Fuente: Elaboración propia

Grafica 29 Zinc (Zn)



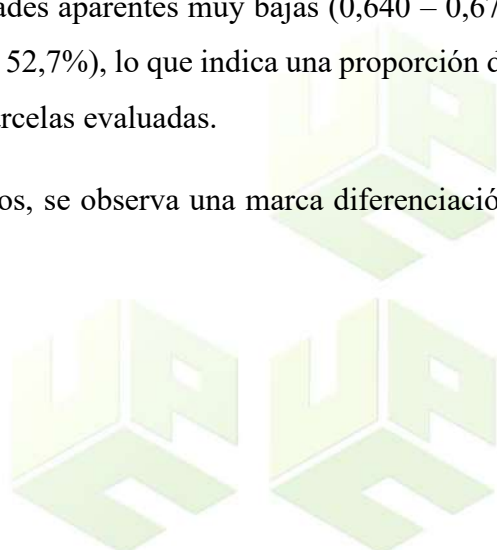
Fuente: Elaboración propia

6.2 FASE 3: Evaluar los efectos de los diferentes establecimientos Leucaena, Matarratón y tratamiento de Nitrógeno en las parcelas programadas para determinar conclusiones y las recomendaciones.

1. Evaluación de los resultados esperados

Con base a los resultados de laboratorio de propiedades físicas para el **TESTIGO** y las **PARCELAS 1, 2, 3 y 4**, se concluye que el suelo de la finca La Fortuna presenta condiciones físicas excepcionalmente buenas de base, con densidades aparentes muy bajas (0,640 – 0,670 gr/cm³) y porosidades totales en el rango ideal (49,7 – 52,7%), lo que indica una proporción de materia orgánica, con mínima compactación en las parcelas evaluadas.

En el cumplimiento de los resultados esperados, se observa una marca diferenciación entre los esquemas de manejo.

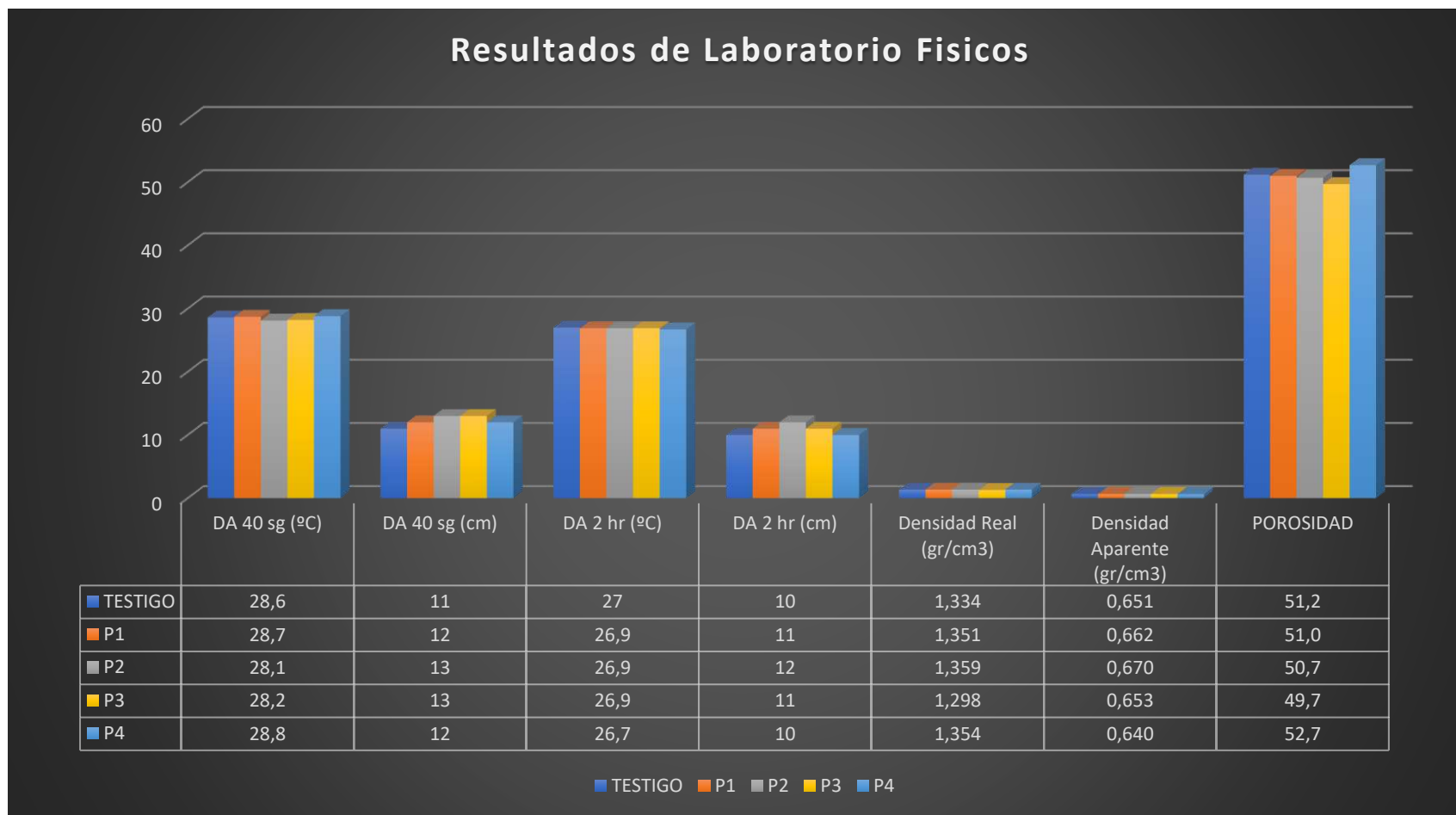


La **Parcela 1 y 2**, (Cultivos mixtos de Leucaena y Matarratón con dosis de urea de 0,600kg a 0,750kg) no cumplieron con los resultados esperados, ya que empeoraron los tres parámetros físicos evaluados: aumentaron la densidad real y la densidad aparente, y disminuyeron la porosidad. La parcela 2 mostro el peor desempeño, con el mayor aumento de densidad aparente (0,670 gr/cm³) y la mayor disminución de porosidad (50,7%), lo que sugiere que estos esquemas mixtos con dosis menores de urea inducen una ligera compactación o un reordenamiento de partículas que deteriora la estructura física del suelo.

La **Parcela 3**, (Leucaena exclusiva + Urea 0.900kg) logro un hito diferente pero igualmente valioso: fue la única que redujo su densidad real (1,298gr/cm³), lo que indica un aumento neto de materia orgánica o una mejora en la agregación del suelo. Sin embargo, su porosidad fue la más baja (49,7%), aunque aún dentro del rango ideal. El balance general de la P3 es positivo, con énfasis en la mejora química más que en la física.

La **Parcela 4**, (Matarratón exclusivo + Urea 1,050kg, + 75%) fue la que mejoro más las propiedades físicas, logrando la menor densidad aparente (0,640gr/cm³) y la mayor porosidad (52,7%) de todas las parcelas, superaron incluso al testigo. Esto demuestra que el Matarratón, combinado con una alta dosis de Urea, es altamente efectivo para mejorar la estructura del suelo, aumentando la porosidad y reduciendo la compactación.

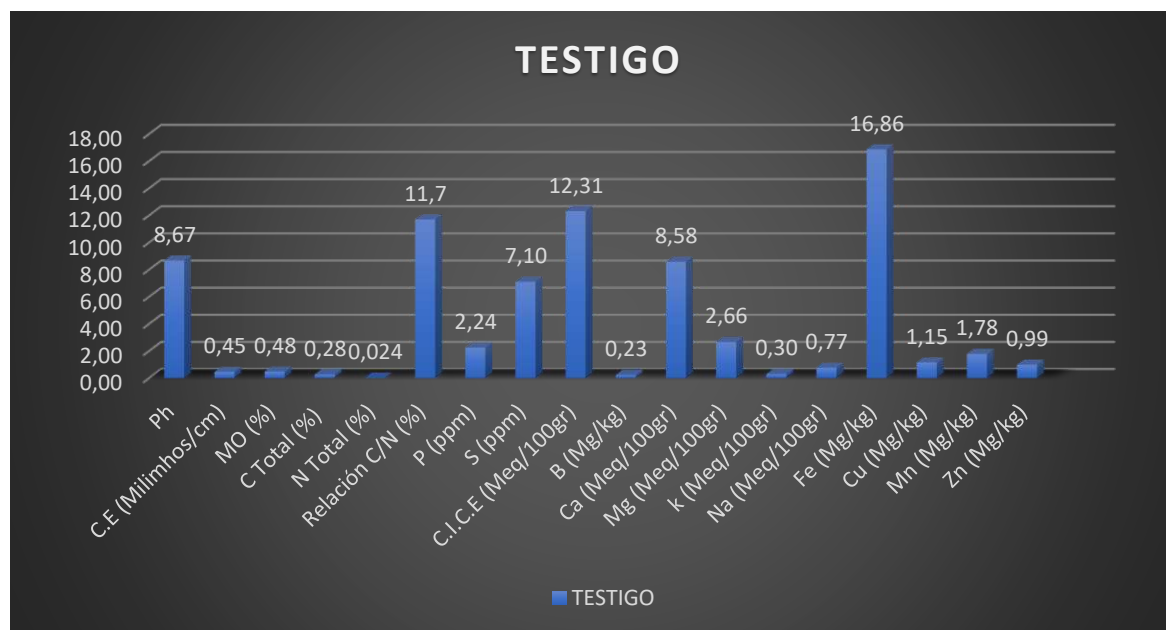
Grafica 30 Resultados de Laboratorios Físicos.



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la **PARCELA TESTIGO** representa el punto de partida de nuestro objetivo que es la remediación. El cual corresponde a un suelo sin alguna intervención agrícola previa, es decir, sin siembra de especies vegetales, sin aplicación de fertilizantes y sin ningún tipo de manejo durante el periodo de siembra que fue de 3 meses. Teniendo en cuenta el análisis de parámetros químicos iniciales, nos revela un suelo Muy Alcalino con limitaciones severas para la producción agrícola en algún momento, caracterizado mediante los siguientes parámetros: Alcalinidad extrema (pH 8,67), Materia orgánica extremadamente baja (0,48%), Deficiencias generalizadas en Fosforo, Azufre y micronutrientes (Fe, Mn y Zn), Desequilibrio catiónico por exceso de Calcio y sin problemas de salinidad ni sodicidad (un aspecto favorable). Estos resultados nos ayudan a establecer los umbrales críticos que deben ser superados por las 4 parcelas intervenidas, para considerar que el proceso de remediación ha sido exitoso.

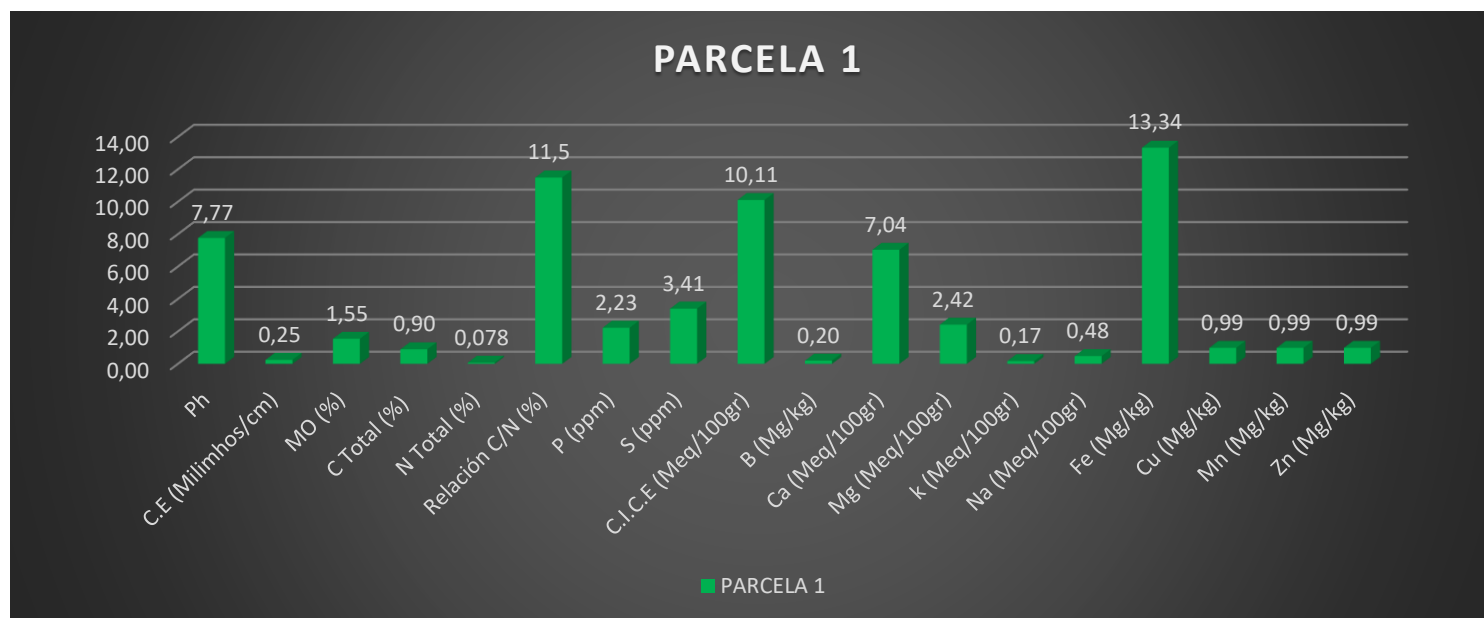
Grafica 31 Testigo



Fuente: Elaboración propia

Ahora veamos, la evaluación de los balances nutricionales y la respuesta a las prácticas de manejo implementadas durante meses, podemos concluir que la **PARCELA 1** presenta una evolución positiva parcial, pero no alcanza los estándares requeridos para ser considerada un modelo exitoso de remediación de suelos alcalinos degradados. Así mismo, se lograron avances significativos en parámetros clave como la reducción del pH, se incrementó la materia orgánica y el aumento del nitrógeno total, las deficiencias críticas en Fosforo, Potasio, Azufre y Micronutrientes, junto con la tendencia descendente de CICE, que nos indica que el proceso de remediación no fue el esperado y desbalanceado, generando un suelo que ha mejorado en algunos aspectos, pero se ha empobrecido en otros.

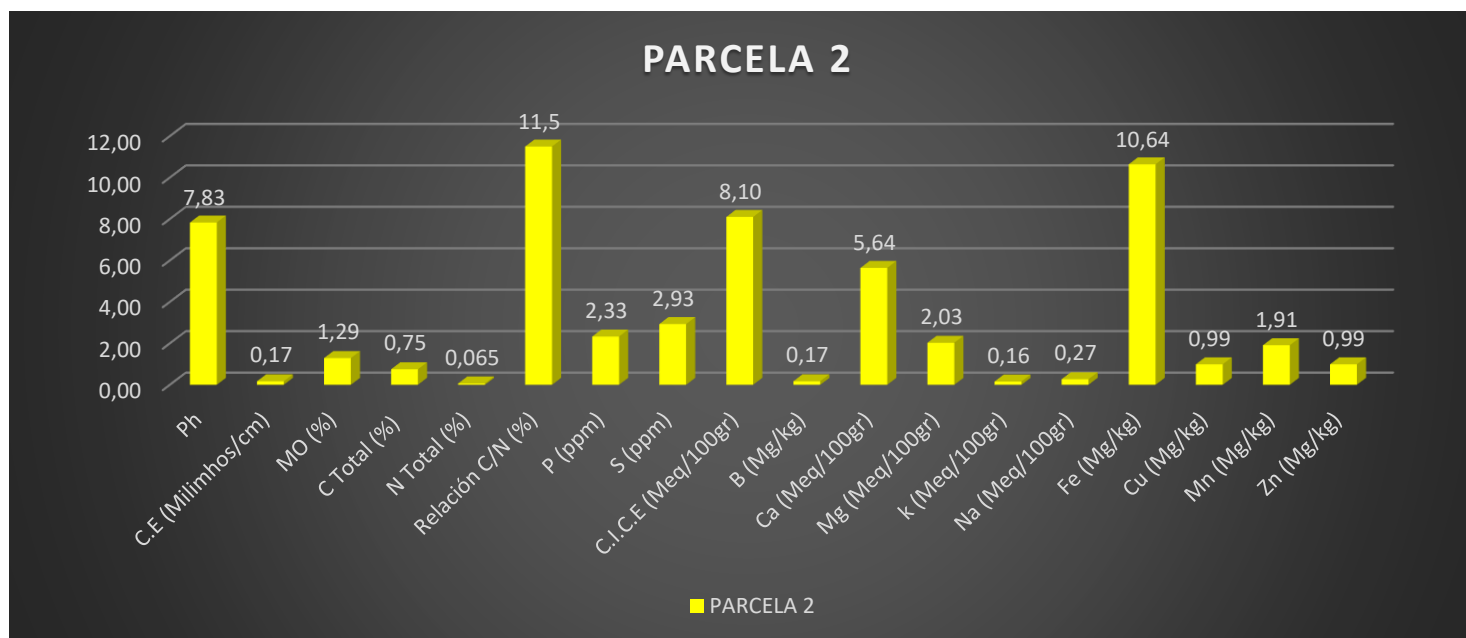
Grafica 32 Parcela 1



Fuente: Elaboración propia

De manera semejante, se concluye de manera categórica que la **PARCELA 2** no es apta para constituir un modelo de remediación de suelos alcalinos degradados. Además, dentro del conjunto de parcelas evaluadas, la parcela 2 presenta el desempeño más deficiente en términos de sostenibilidad de la fertilidad edáfica, evidenciando un deterioro neto de múltiples indicadores clave a pesar de las intervenciones realizadas. Habría que decir también que el incremento del 25% en las dosis de Urea no solo NO mejoro los resultados obtenidos en la PARCELA 1, sino que genero efectos negativos adicionales que comprometen la capacidad productiva del suelo a mediano y largo plazo.

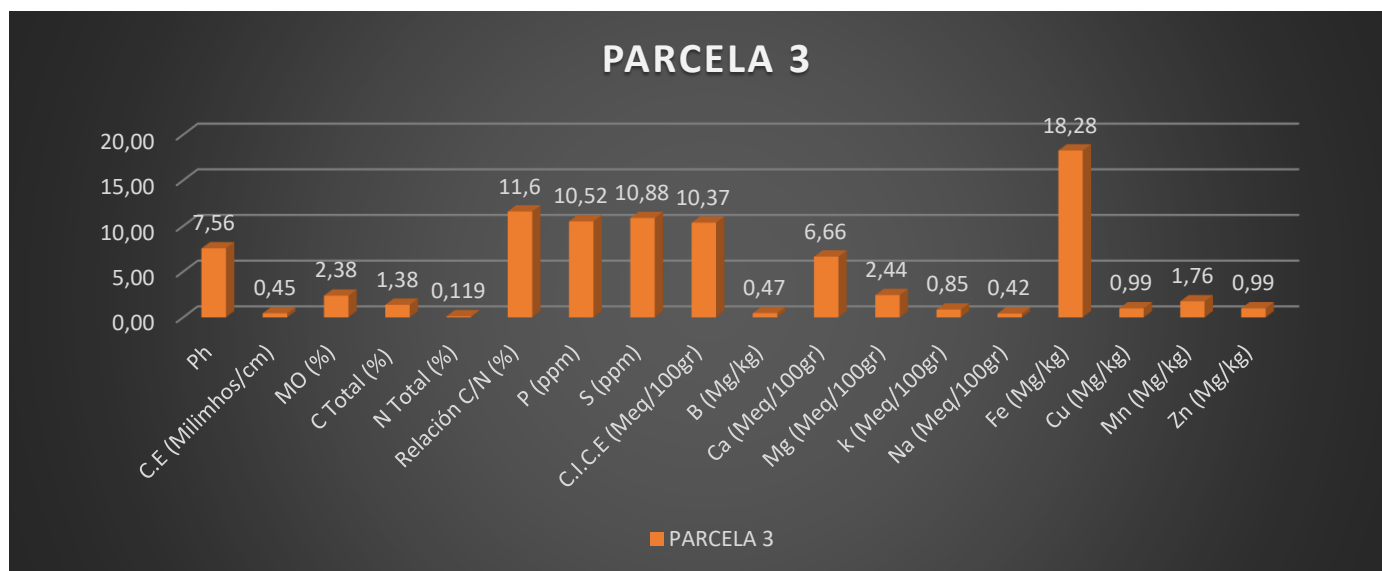
Grafica 33 Parcela 2



Fuente: Elaboración propia

En concordancia, las prácticas de manejo implementadas se pueden inferir que la **PARCELA 3** constituye el modelo más apto y exitoso para la remediación de suelos alcalinos muy degradados en condiciones de trópicos bajo colombiano. El esquema implementado que fue se siembra exclusiva Leucaena y aplicación de Urea, demostró ser significativamente superior a los demás tratamientos evaluados, logrando: La mayor reducción del pH (8,67 a 7,56), el único nivel MEDIO de Materia Orgánica (2,38%, frente a 0,48% del TESTIGO), el mayor aumento de nitrógeno Total (casi 5 veces, de 0,0024% a 0,119%), también mejoras notables en Fosforo, Potasio, Azufre y Boro, y Mantenimiento de la CICE en nivel MEDIO (10,88 Meq/100gr). Por esta razón, posicionan a la PARCELA 3 como el estándar de referencia para futuros proyectos de remediación de suelos alcalinos en condiciones similares.

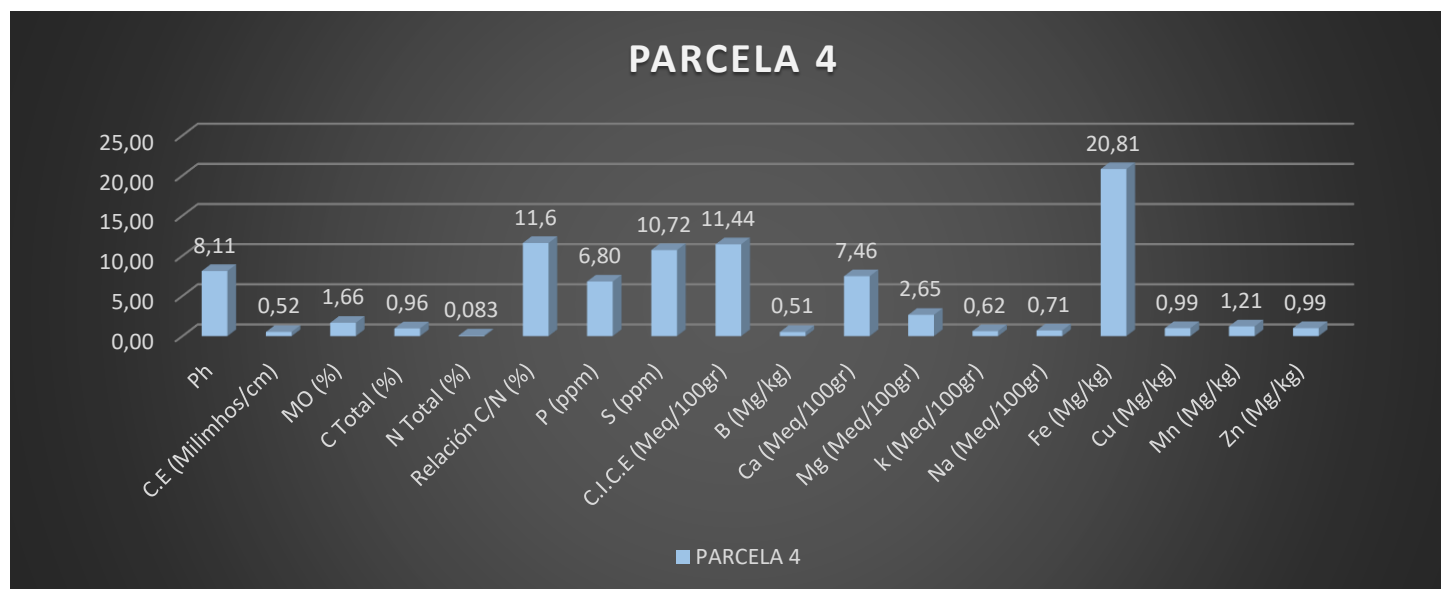
Grafica 34 PARCELA 3



Fuente: Elaboración propia

En definitiva, la **PARCELA 4** representa un esquema de manejo radicalmente diferente al de las demás parcelas: siembra exclusiva de Matarratón, combinando la dosis más alta de Urea. El análisis de los resultados obtenidos, se nos presenta un perfil mixto: logros notables en varios parámetros como: K, S, B, Fe y CICE; junto con una limitación fundamental que compromete la sostenibilidad del proceso de remediación, el pH se mantuvo Muy Alcalino (8,11), a pesar de ser la parcela que recibió la mayor cantidad de Urea. En consecuencia, se obtuvieron los siguientes resultados: La limitación crítica de pH que se debe a las implicaciones de esta limitación para la disponibilidad de P y micronutrientes, dando a entender que la causas por las cuales la alta dosis de Urea no logro reducir suficientemente el pH y la aptitud parcial de este esquema para la remediación.

Grafica 35 PARCELA 4



Fuente: Elaboración propia

7 CONCLUSIONES

Para concluir, se adquirieron semillas *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) y *Matarratón* (*Gliricidia sepium*) mediante compra directa y donaciones. Con estas, se diseñaron y planificaron 4 parcelas cuadradas de 7m x 7m (49 m² cada una), con una separación de 1 m desde la cerca hasta la primera semilla para evitar interferencias de especies externas en el crecimiento. La siembra se ejecutó como tratamiento para remediar áreas seleccionadas del suelo de la Finca La Fortuna, brindando los cuidados necesarios para el desarrollo de las especies.

Los análisis físicos y químicos del suelo indican que, aunque todas las parcelas presentan una textura adecuada (*Arcillosa Arenosa*), con un buen drenaje, pero rápida pérdida de humedad y baja densidad aparente (suelo suelto y poroso), la principal limitante es la Alcalinidad Severa (pH entre 7,56 – 8,67), que restringe la disponibilidad de Micronutrientes como Hierro, Manganeseo, Zinc, Cobre y Boro. La CICE es Media a Baja, especialmente en la Parcela 3, lo que reduce la retención de nutrientes. El Fosforo y Azufre son deficientes en la mayoría de las parcelas, excepto en la Parcela 3 y 4 donde mejoran. El Potasio es muy bajo en parcelas 1 y 2, pero excesivo en la Parcela 3 y 4 debido a la alta fertilización con Urea. El Calcio es excesivo en todas, contribuyendo a la alcalinidad, mientras que el Magnesio se mantiene en rangos adecuados.

Además, la Parcela 3 mostro el mejor desempeño: menor pH, mejor textura, mejores niveles de Fosforo, Azufre, Potasio y Boro, y mayor acumulación de Hierro. La Parcela 4, presentó mejoras importantes en la disponibilidad de nutrientes y en la CICE; sin embargo, mantuvo un pH muy alcalino, limitando la disponibilidad de fósforo y micronutrientes. Las Parcelas 1 y 2 mostraron los resultados más pobres, con deficiencias generalizadas de nutrientes. Por consiguiente, la alcalinidad es el factor crítico común, sin su corrección, las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados tienen efectos limitados sobre la disponibilidad real de nutrientes. Dicho lo anterior, se evidencia que el manejo adecuado del suelo no depende únicamente de aumentar la dosis de fertilizante, sino de una estrategia integral de nutrición y mejoramiento del suelo.

8 RECOMENDACIONES

Corregir alcalinidad con azufre elemental o sulfato de amonio, debido a que es la principal limitante para la disponibilidad de nutrientes y para bajar el pH a 6,0-6,5.

Aplicar quelatos de Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc para suplir deficiencias inducidas por el pH alto.

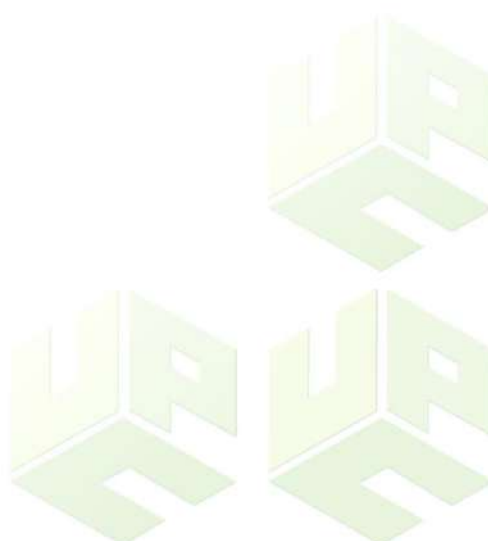
Incrementar materia orgánica estable para mejorar CICE y retención de nutrientes, como lo son abonos verdes o cultivos de cobertura.

Monitorear suelo cada 6 meses para ajustar dosis de enmiendas y fertilizantes.

Manejo de riego para evitar encharcamiento; aplicar riego ligero y frecuente debido a la baja retención de humedad, también para optimizar el agua y nutrientes.

Evitar el exceso de Urea, ya que puede acidificar temporalmente, pero contribuye poco a corregir la alcalinidad crónica.

Establecer barreras rompevientos para reducir pérdida de humedad superficial.



REFERENCIAS

- AGROSAVIA. (2022). AGROSAVIA. Obtenido de
<https://www.agrosavia.co/media/3796/plegable-servientrega.pdf>
- ALONSO, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al. Obtenido de Revista Cubana de Ciencia Agrícola: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193022245001>
- Asale, &. A. (s.f.). Obtenido de <https://www.asale.org/damer/remediaci%C3%B3n>
- Baquero, P. J. (s.f.). ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE SUELOS. En J. B. Peñuela, ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE SUELOS (págs. 10 - 13).
- Bioenergy, G. (s.f.). Genia Bioenergy. Obtenido de El problema de la sobreexplotación del suelo: <https://geniabioenergy.com/la-sobreexplotacion-del-suelo/>
- Bosque, s. T. (30 de Marzo de 2022). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/bosque-seco-tropical/>
- Buitrago Álvarez, A. S., Cote Mendoza, E. L., Bautista Rodríguez, S. C., Martínez Molina, S., & Vallejo Quintero, V. E. (2024). Evaluación de la calidad del suelo y sus servicios ecosistémicos en agroecosistemas del Meta, Colombia. Luna Azul, (59), 32–52. <https://doi.org/10.17151/luaz.2024.59.3>
- CLAVERO, R. R. (JULIO de 2006). SCIELO. Obtenido de Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000300008
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (19 de julio de 2019). Gobierno de Mexico. Obtenido de El suelo, recurso para la vida: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/el-suelo-recurso-para-la-vida#:~:text=Cuando%20hablamos%20de%20suelo%2C%20nos,plantas%20y%20viv en%20los%20animales.>

Constitución Política de la República de Colombia. (s.f.). Obtenido de [https://www.oas.org/dsd/EnvironmentLaw/Serviciosambientales/Colombia/\(Microsoft%20Word%20-%20Constituci.pdf](https://www.oas.org/dsd/EnvironmentLaw/Serviciosambientales/Colombia/(Microsoft%20Word%20-%20Constituci.pdf)

Cuervo Jiménez, A., Narváez Solarte, W., & Hahn von Hessberg, C. (JUNIO de 2013). CARACTERÍSTICAS FORRAJERAS DE LA ESPECIE *Gliricidia sepium* (Jacq.) Stend, FABACEAE. Obtenido de SCIELO: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30682013000100003&script=sci_arttext

Cuervo-Jiménez, A. N.-S. (s.f.). CARACTERÍSTICAS FORRAJERAS DE LA ESPECIE *Gliricidia sepium* (Jacq.) Stend, FABACEAE. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682013000100003

DALZELL, M. S. (13 de SEPTIEMBRE de 2016). RESEARCHGATE. Obtenido de MAX SHELTON & SCOTT DALZELL: https://www.researchgate.net/profile/Harry-Shelton/publication/43475017_Production_economic_and_environmental_benefits_of_Leucaena_pastures/links/57d7ef2208ae6399a398f828/Production-economic-and-environmental-benefits-of-Leucaena-pastures.pdf

de Villalobos, A. E. (septiembre de 2013). google academico. Obtenido de CONICET: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/1465>

DUNCION PUBLICA. (s.f.). Obtenido de Ley 388 de 1997: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

EMMANUEL OLADEJI ALAMU, M. A.-D. (15 de febrero de 2023). MDPI. Obtenido de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp Applications for Enhancing Soil Fertility and Crop Nutritional Qualities: A Review: <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/3/635>

EOS DATA ANALYTICS. (04 de 03 de 2025). Obtenido de Conservación Del Suelo: Cómo Manejarla E Implementarla: <https://eos.com/es/blog/conservacion-del-suelo/>

EOS DATA ANALYTICS. (05 de 03 de 2025). Obtenido de Degradación Del Suelo: Técnicas Para Evitar Sus Efectos: <https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo/>

- ERICKC. M. FERNANDES, E. W. (03 de DICIEMBRE de 2015). RESEARCHGATE. Obtenido de Restoring Productivity to Degraded Pasture Lands: https://www.researchgate.net/profile/Erick-Fernandes/publication/285588059_Restoring_Productivity_to_Degraded_Pasture_Lands_in_the_Amazon_through_Agroforestry_Practices/links/56606bc108ae418a78665943/Restoring-Productivity-to-Degraded-Pasture-Lands-in-the
- FAO. (1996). Obtenido de EL SUELO: <https://www.fao.org/4/w1309s/w1309s04.htm>
- FAO. (2006). guías de manejo de suelos.
- Figueiredo, C. C. de, Moreira, T. N., Coser, T. R., Silva, L. P. da, Leite, G. G., Carvalho, A. M. de, Malaquias, J. V., Marchão, R. L., & Urquiaga, S. (2023). *Nitrogen use efficiency in an agrisilviculture system with Gliricidia sepium in the Cerrado region*. MDPI *Plants*, 12(8), 1647. <https://doi.org/10.3390/plants12081647>
- FUNCION PUBLICA. (s.f.). Obtenido de Ley 1333 de 2009: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36879>
- FUNCION PUBLICA. (s.f.). Obtenido de Ley 165 de 1994: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=37807>
- FUNCION PUBLICA. (s.f.). Obtenido de Ley 99 de 1993: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>
- FUNCION PUBLICA. (s.f.). Obtenido de Decreto 2811 de 1974: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>
- Garbanzo, G. (s.f.). InfoAgronomo. Obtenido de Propiedades físicas del suelo: <https://www.bing.com/search?q=tabla+de+referencia+textura+del+suelo&FORM=H> DRSC1
- García, D. E., Wencomo, H. B., Medina, M. G., Moratinos, P., & Cova, L. J. (http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000100006&lng=es&tlng=. de MARZO de 2009). Caracterización de la calidad nutritiva de 53 accesiones del género *Leucaena* en condiciones tropicales. Obtenido de SCIELO.

González, M. K. (8 de DICIEMBRE de 2018). Leguminosas arbóreas para optimizar La producción de leche y carne. Obtenido de ZOOVET ES MI PASION: <https://zoovetespasion.com/pastos-y-forrajes/leguminosas-arboreas-para-optimizar-la-produccion-de-leche-y-carne>

Gutierrez, K. (17 de Junio de 2022). El Pílon. Obtenido de <https://elpilon.com.co/deforestacion-y-sobrepastoreo-actividades-que-afectan-el-suelo-del-cesar/>

ITC. (23 de 02 de 2023). Obtenido de Todo lo que debes saber sobre la agricultura de plantación: <https://www.itc.es/es/2023/02/el-papel-de-la-fertirrigacion-en-la-agricultura-de-plantacion/>

JAMES SEUTRA KABA, S. Z. (01 de DICIEMBRE de 2018). SPRINGER NATURE LINK. Obtenido de Atmospheric nitrogen fixation by gliricidia trees (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) intercropped with cocoa (*Theobroma cacao* L.): <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-018-3897-x>

JOSÉ LUIS CONTRERAS-SANTOS, J. M.-A.-V.-H.-P.-G. (16 de FEBRERO de 2024). SCIELO. Obtenido de Índice de Calidad del Suelo Bajo Sistemas Agropecuarios en el Bosque Seco Tropical-Colombia: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792023000100133

Martinez, V. F. (MAYO de 12 de 2020). Ficha Técnica Leucaena (*Leucaena leucocephala*). Obtenido de INFO PASTOS Y FORRAJES: <https://infopastosyforrajes.com/arbol-forrajero/leucaena/>

Martinez, V. F. (mayo de 15 de 2020). Ficha Técnica Matarraton (*Gliricidia sepium*). Obtenido de INFO PASTOS Y FORRAJES: Ficha Técnica Matarraton (*Gliricidia sepium*)

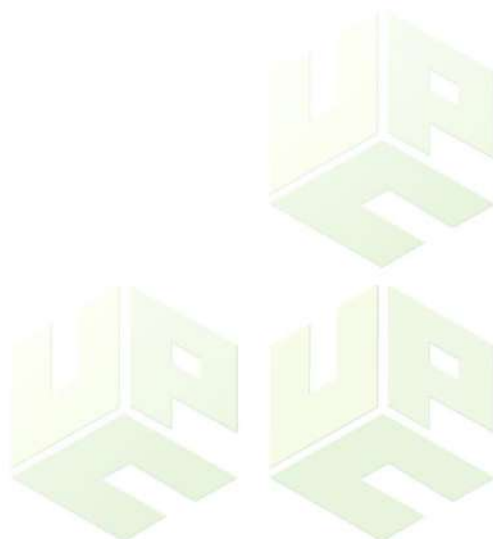
Minambiente. (s.f.). Obtenido de Restauración: <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/restauracion-2/>

Narváez-Herrera, J., Angulo-Arizala, J., Barragán-Hernández, W., y Mahecha- Ledesma, L. (2023). Arbustivas y arbóreas del piedemonte amazónico colombiano: potencial

- nutricional y ambiental en sistemas ganaderos. *Agronomía Mesoamericana*, Vol 34 (No. 3). <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/am.2023.52442>
- Noboa-Acurio, J., y Naranjo-Calle, J. (2022). Implementación de bancos forrajeros de especies leñosas de matarratón (*Gliricidia sepium*), Caraca (*Erythrina poeppigiana*) y Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en el cantón La Maná parroquia Guasaganda. Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, La Maná. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8571/1/UTC-PIM-%20000461.pdf>
- Nyle C, Brady, y Ray R, & will. (2016). *The Nature and Properties of Soils*.
- Ortega, J. E. (s.f.). INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELO. En J. E. Ortega, INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELO (págs. 18 - 24).
- Pasturas tropicales. (s.f.). Los especialistas en semillas de pastos. Obtenido de Sobrepastoreo: <https://pasturastropicales.com/sobrepastoreo/?srsltid=AfmBOop37n6vuA1I13bWLuut3SywQZkLF88cKjectvupyQ9IilY5faMW>
- Pinto, J. J. (06 de 2019). Informe Técnico: Parcelas de introducción de *Leucaena leucocephala*. Obtenido de SIDALC: <https://www.sidalc.net/search/Record/oai:localhost:20.500.12123-8017/Description>
- Porto, J. P. (1 de Septiembre de 2023). Definición.de. Obtenido de <https://definicion.de/plantacion/>
- Porto, J. P. (18 de Julio de 2022). Definición.de. Obtenido de <https://definicion.de/recuperacion/>
- RAE. (2024). Dirección de la lengua española. Obtenido de <https://dle.rae.es/viabilidad>
- Riveros Franco, E. Y. (2024). Manejo agronómico de un sistema productivo de aguacate (*Persea americana* var. Lorena) en la vereda El Placer, municipio Uribe-Meta [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. <https://hdl.handle.net/20.500.14625/37699>
- Santander Quiñones, B. E., Chaves Fernández, L. P., Rodríguez Pantoja, O. N., Rosas Torres, G. L., Ordóñez Ortega, T., & Riascos Vallejos, A. R. (2023). Recuperación de suelos

degradados por sobrepastoreo, con diferentes sustratos en el departamento de Putumayo, Colombia. Revista Agropecuaria Y Agroindustrial La Angostura, 8(1), 42–50. <https://doi.org/10.23850/raaa.v8i1.5817>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. (s.f.). El suelo: un universo invisible. Obtenido de escuela universitaria de OFICIOS UNLP: <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/98/27598/3f23fc987dbbda82587753c9796000a.pdf>



ANEXOS

Ilustración 14 Anexo 1. *Finca La Fortuna.*



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15 Anexo 2. *Reconocimiento del Terreno.*



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16 Anexo 3. *Semillas de Leucaena (izquierda) y Matarratón (derecha).*



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17 *Siembra y crecimiento de las plantas.*



Fuente: Elaboración propia

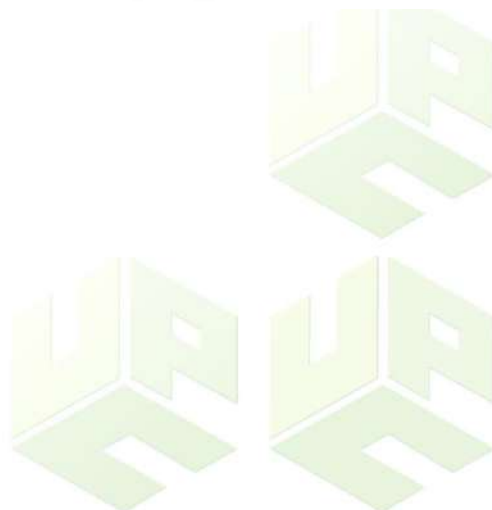
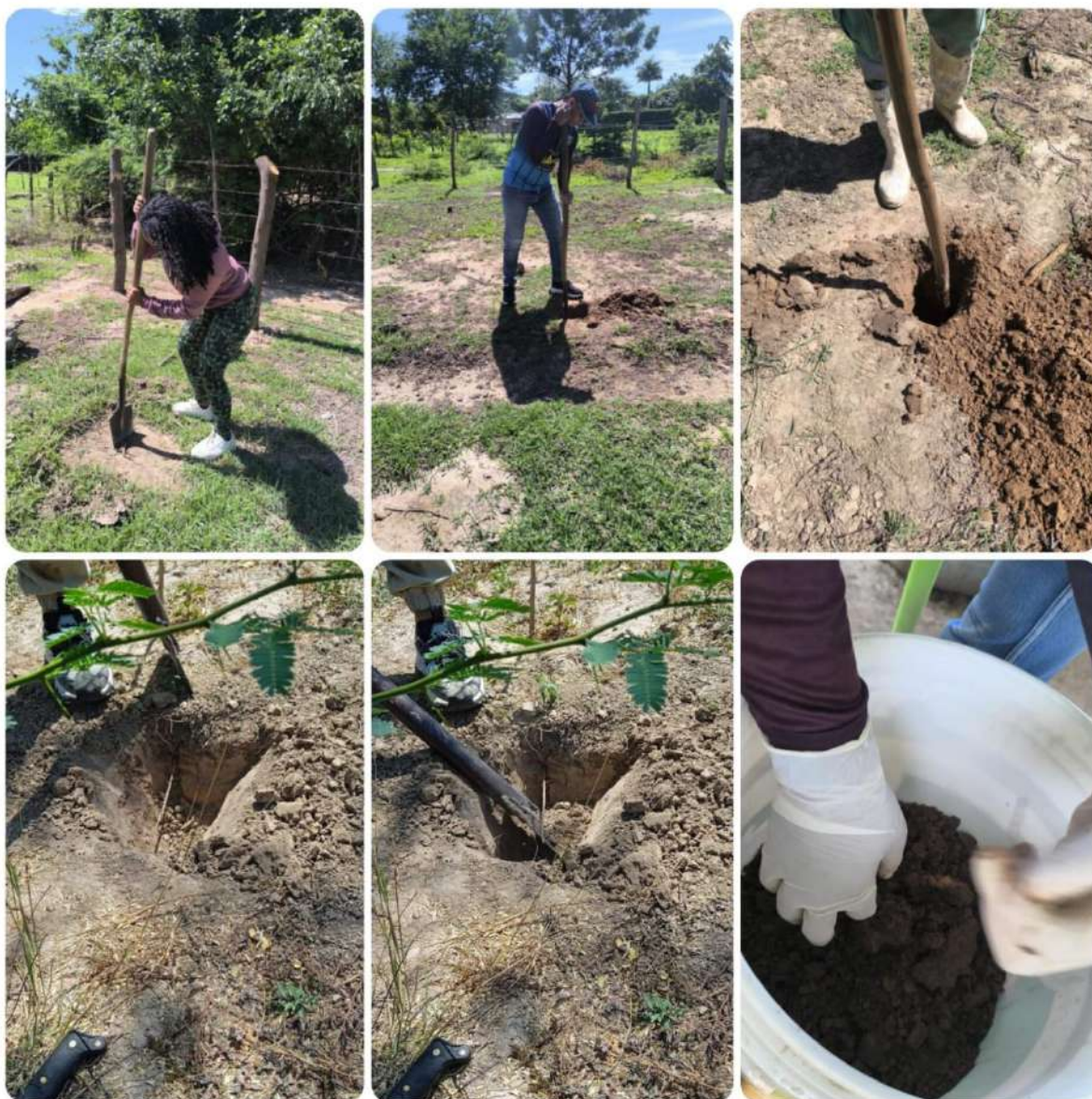


Ilustración 18 *Toma de muestras para los análisis químico y físico*



Fuente: Elaboración propia

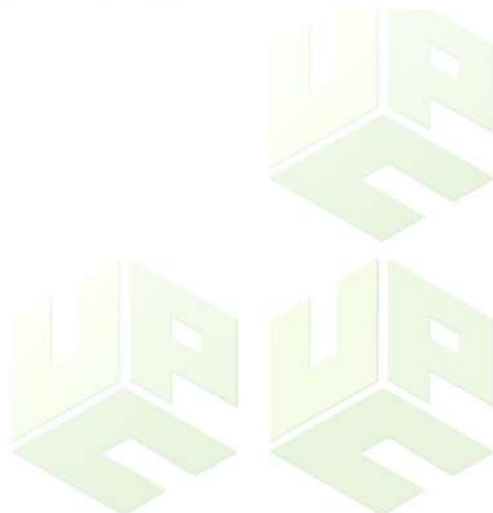


Ilustración 19 Toma de muestras para determinar las densidades.



Fuente: Elaboración propia

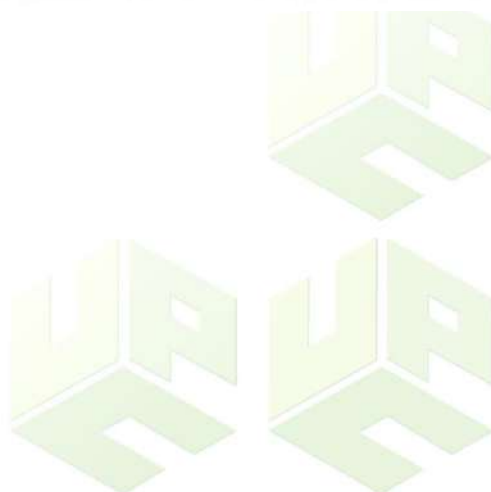


Ilustración 20 *Análisis de laboratorio para las partes físicas del suelo.*



Fuente: Elaboración propia

