

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA  
SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN**  
**DE SUELOS Y AGUA**



**CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO DEL SUELO CON  
EL CULTIVO DE *Theobroma cacao* (CACAO) SECTOR RÍO ESPINO  
DISTRITO DE MONZÓN PROVINCIA DE HUAMALIES – HUÁNUCO**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

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

**PRESENTADO POR:**

**MIRELLA LISBET JUSTO DOMINGUEZ**

**Tingo María – Perú**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 015-2025-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 20 de diciembre 2024, a horas 7:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO DEL SUELO CON EL CULTIVO DE *Theobroma cacao* (CACAO) SECTOR RÍO ESPINO DISTRITO DE MONZÓN PROVINCIA DE HUAMALIES - HUÁNUCO”**

Presentado por la Bachiller: **MIRELLA LISBET JUSTO DOMINGUEZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENA”**.

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

Tingo María, 17 de enero de 2025

  
**Dr. NELINO FLORIDA ROFNER**  
**PRESIDENTE**

  
**Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. JAIME TORRES GARCIA**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO**  
**ASESOR**





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

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 039 - 2025 - CS-RIDUNAS

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

### CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, mención: Conservación de Suelos y Agua


Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO DEL SUELO CON EL CULTIVO DE Theobroma cacao (CACAO) SECTOR RÍO ESPINO DISTRITO DE MONZÓN PROVINCIA DE HUAMALIES - HUÁNUCO	MIRELLA LISBET JUSTO DOMINGUEZ	20 % Veinte

Tingo María, 30 de enero de 2025

C.C. Archivo

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallari

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



**CALIDAD DEL SUELO EN CUATRO SISTEMAS DE USO DEL SUELO CON  
EL CULTIVO DE *Theobroma cacao* (CACAO) SECTOR RÍO ESPINO  
DISTRITO DE MONZÓN, PROVINCIA DE HUAMALÍES – HUÁNUCO, 2022**

Autor : Bach. Justo Domínguez, Mirella Lisbet

Asesor : M.Sc Rengifo Trigozo, Juan Pablo

Programa de Investigación : Ciencias Básicas

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

Eje Temático de Investigación : Indicadores físicos y químicos del suelo

Lugar de Ejecución : Distrito Mariano Dámaso Beraun - Huánuco

Duración      Fecha de Inicio : 04/04/2022

                    Término : 04/05/2023

Financiamiento : s/. 1 925,30

                    FEDU : NO

                    Propio : SI

                    Otros : NO

Tingo María - Perú

2025

## **DEDICATORIA**

A mi familia por su constante motivación, comprensión y apoyo durante mi formación académica.

A mis padres, porque gracias a ellos logré mis metas y por siempre inculcarme lo importante que es el estudio.

A mi hijo quien es mi motor y fuerza para seguir luchando como madre y profesionalmente, así poder darle un futuro mejor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Recursos Naturales Renovables, especialidad de Conservación Suelos y Agua, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva por sus conocimientos brindadas en esta etapa académica.

A mi asesor M. Sc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo, en sus valiosos consejos para seguir adelante, terminar lo que empecé; por sus enseñanzas y apoyo a lo largo del proceso de investigación.

A mis padres; agradezco por siempre confiar en mí y en sus palabras motivadoras; que siempre confiaron en mi a pesar de mis errores nunca dejaron de apoyarme. Esto es el fruto de sus esfuerzos que sus hijos sean profesionales.

A los productores que me brindaron la facilidad para la obtención de las muestras de dichas parcelas para dicha investigación.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos. ....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Marco conceptual.....	4
2.1.1. <i>Theobroma cacao</i> .....	4
2.1.1.1. Cultivo alternativo de <i>T. cacao</i> .....	4
2.1.2. Calidad del ambiente.....	5
2.1.3. Suelo.....	5
2.1.4. Medición sobre el tipo de calidad de suelo.....	6
2.1.5. Calidad del suelo.....	6
2.1.6. Indicadores de calidad del suelo.....	7
2.1.6.1. Indicadores físicos.....	8
2.1.6.2. Indicadores químicos.....	9
2.1.7. Efectos en uso con variedades de sistemas en calidad del suelo.....	10
2.1.8. Subíndice de uso sustentable del suelo.....	11
2.1.9. Muestra para analizar la calidad y salubridad de suelo.....	12
2.1.10. Identificadores de la índole del suelo, uso agrícola de manera sostenible y desarrollo rural.....	12
2.2. Estado del arte.....	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Identificación del área de ejecución.....	16
3.1.1. Ubicación política del lugar.....	16
3.1.2. Ubicación geográfica.....	16
3.1.3. Clima.....	17
3.1.4. Zona de vida.....	17
3.1.5. Suelos.....	17
3.1.6. Fisiografía.....	17

3.1.7. Hidrografía .....	17
3.1.8. Accesibilidad.....	17
3.2. Materiales y equipos .....	18
3.2.1. Materiales.....	18
3.2.2. Equipos.....	18
3.3. Generalidades.....	18
3.3.1. Tipo .....	18
3.3.2. Nivel.....	18
3.3.3. Análisis de datos .....	19
3.3.4. Variables de estudio .....	19
3.4. Metodología .....	20
3.4.1. Determinación de los parámetros físicos y químicos.....	20
3.4.1.1. Reconocimiento de la zona.....	20
3.4.1.2. Muestreo de suelos en los sistemas de uso .....	20
3.4.1.3. Parámetros fisicoquímicos del suelo a ser analizadas .....	22
3.4.1.4. Análisis estadístico para las propiedades físicas y químicas .....	23
3.4.2. Calidad del suelo con metodología del (SUSS) en 4 sistemas de utilidad con cultivo <i>T.cacao</i> .....	24
3.4.3. Relacionar las propiedades fisicoquímicas que más influyen en la calidad del suelo con cultivo de cacao.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1. De los parámetros físicos y químicos.....	28
4.1.1. Parámetros físicos .....	28
4.1.1.1. Textura del suelo .....	28
4.1.1.2. Densidad aparente.....	29
4.1.1.3. Resistencia a la penetración.....	30
4.1.1.4. Temperatura.....	32
4.1.2. Parámetros químicos .....	33
4.1.2.1. pH .....	33
4.1.2.2. Materia orgánica .....	34
4.1.2.3. Nitrógeno .....	36

4.1.2.4. Fósforo.....	37
4.1.2.5. Potasio .....	39
4.1.2.6. Capacidad de intercambio catiónico.....	40
4.1.2.7. Calcio.....	42
4.1.2.8. Magnesio .....	44
4.1.2.9. Conductividad eléctrica .....	45
4.2. Determinar la condición del suelo con la metodología del subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) en cuatro sistemas de uso con cultivo de Theobroma cacao .....	46
4.3. Relacionar las características fisicoquímicas que más afectan en la capacidad del suelo con cultivo de Theobroma cacao .....	48
V. CONCLUSIONES .....	58
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	59
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	60
ANEXOS .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Propiedades físicas de los marcadores de la calidad de los suelos. ....	9
2. Características químicas marcadores de la calidad del suelo.....	10
3. Coordenadas UTM de las parcelas con el cultivo de Theobroma cacao. ....	16
4. Indicadores físicos y químicos.....	22
5. Descripción de los tratamientos en estudio.....	24
6. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo. ....	25
7. Rangos interpretativos del SUSS. ....	26
8. Textura de los suelos en los sistemas de uso con Theobroma cacao.....	28
9. Análisis de variancia para la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ). ....	29
10. Comparaciones post-hoc para la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ). ....	30
11. Análisis de varianza para la resistencia a la penetración del suelo ( $\text{kg/cm}^2$ ).....	31
12. Comparaciones post-hoc para la resistencia a la penetración del suelo ( $\text{kg/cm}^2$ ).....	31
13. Análisis de variancia para la temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	32
14. Comparaciones post-hoc para la temperatura del suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	33
15. Análisis de variancia para la reacción del suelo o pH. ....	33
16. Comparaciones post-hoc para el pH del suelo.....	34
17. Análisis de variancia para la materia orgánica del suelo (%). ....	35
18. Comparaciones post-hoc para materia orgánica del suelo (%). ....	36
19. Análisis de variancia para nitrógeno del suelo (%). ....	36
20. Comparaciones post-hoc para el nitrógeno del suelo (%). ....	37
21. Análisis de variancia para el fósforo total del suelo (ppm). ....	38
22. Comparaciones post-hoc para el fósforo total del suelo (ppm). ....	39
23. Análisis de variancia para el potasio total del suelo ( $\text{kg/ha}$ ).....	39

24. Comparaciones post-hoc para el potasio del suelo (kg/ha).....	40
25. Análisis de variancia para la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g suelo) .....	41
26. Comparaciones post-hoc para la capacidad de intercambio catiónico del suelo (meq/100 g suelo).....	42
27. Análisis de variancia para el calcio (meq/100g suelo).....	42
28. Comparaciones post-hoc para el calcio del suelo (meq/100 g suelo). ....	43
29. Análisis de variancia para el magnesio (meq/100g suelo). ....	44
30. Comparaciones post-hoc para el magnesio del suelo (meq/100 g suelo). ....	45
31. Análisis de variancia para la conductividad eléctrica (meq/100g suelo). ....	45
32. Comparaciones post-hoc para la conductividad eléctrica (meq/100 g suelo).....	46
33. Rangos interpretativos del Subíndice de la utilización sostenible de SUSS para la capacidad del suelo. ....	47
34. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades físicas y químicas del suelo sobre los cuatro sistemas de utilización con T de uso con Theobroma cacao..	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de muestreo de suelos para análisis fisicoquímico en cada uno de los SUS a ser evaluado.....	21
2. Calidad del suelo mediante el método subíndice de utilización sustentable SUSS....	48
3. Correlación de la densidad aparente versus la temperatura sobre los cuatro sistemas de utilización del suelo.....	50
4. Correlación de la densidad aparente versus el P (fosforo) sobre cuatro sistemas de la utilización del suelo.....	51
5. Correlación de la densidad aparente versus la conductividad eléctrica en los sistemas de la utilización del suelo. ....	52
6. Correlación del pH versus la T° sobre los cuatro sistemas de utilización del suelo.	53
7. Correlación de la materia orgánica versus el nitrógeno sobre cuatro sistemas de utilización de los suelos. ....	54
8. Correlación del calcio versus el magnesio sobre los cuatro sistemas de utilización del suelo.	55
9. Correlación del calcio versus la CE “conductividad eléctrica” sobre la utilización de los cuatros sistemas del suelo.....	56
10. Correlación del magnesio versus la CE (conductividad eléctrica) sobre los cuatro sistemas de utilización de suelos.....	56

## RESUMEN

La utilización del **suelo** en el entorno ambiental está expuestos a diversas prácticas agrícolas que, al aplicarse sin manejo correcto, afectan su capacidad de producción y comprometen su integridad estructural. Hablar de calidad hace referencia a su capacidad de retención en cobertura vegetal. Por ello el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso con cultivo de *Theobroma cacao* en el caserío del río Espino, distrito de Monzón. La investigación se realizó con un enfoque no experimental descriptivo comparativo. Los parámetros evaluados fueron: resistencia a la penetración, T°, textura, infiltración y densidad aparente, materia orgánica, C, N, pH, P, K, Mg, CIC y CE “conductividad eléctrica”, la calidad del suelo utilizó la metodología del (SUSS) y la correlación con las propiedades fisicoquímicas que más intervienen en la calidad del suelo. Los tratamientos fueron los cuatro sistemas de uso del suelo con códigos SUS<sub>1</sub>, SUS<sub>2</sub>, SUS<sub>3</sub> y SUS<sub>4</sub> validado con la prueba H de Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron que los cuatro sistemas de uso del suelo con *T. cacao* tienen textura franco a franco arcillosa, mayor valor en densidad aparente el SUS<sub>2</sub>, el SUS<sub>4</sub> tuvo valores muy resistentes a la penetración, pH ácido, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y conductividad eléctrica con niveles bajo. La calidad del suelo haciendo uso del subíndice en los cuatro sistemas de uso del suelo con cultivo de *Theobroma cacao* le corresponde a un suelo de calidad pobre. La correlación lineal de Spearman mostró una relación significativa en las características fisicoquímicas evaluadas. En conclusión, la calidad del suelo en los cuatro sistemas de uso con cultivo de *Theobroma cacao* en el caserío del río Espino, distrito de Monzón es pobre.

**Palabras clave:** Indicadores, sistemas, suelo, propiedades, calidad.

## ABSTRACT

The utilization of soil in the environmental context is subject to various agricultural practices which, when applied without proper management, affect its production capacity and compromise its structural integrity. Quality refers to its ability to retain vegetative cover. Therefore, the objective of this research was to evaluate soil quality in four land-use systems cultivated with *Theobroma cacao* in the Río Espino village, Monzón district. The research was conducted with a non-experimental descriptive-comparative approach. The parameters evaluated included penetration resistance, temperature, texture, infiltration, bulk density, organic matter, C, N, pH, P, K, Mg, CEC (cation exchange capacity), and EC (electrical conductivity). Soil quality was assessed using the SUSS methodology and its correlation with the physicochemical properties most influencing soil quality. The treatments were the four soil-use systems coded as SUS1, SUS2, SUS3, and SUS4, validated with the Kruskal-Wallis H test. The results showed that the four land-use systems with *T. cacao* had textures ranging from loam to clay loam. SUS2 had the highest bulk density values, while SUS4 exhibited very high penetration resistance, acidic pH, and low levels of organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and electrical conductivity. Soil quality, assessed through the subindex across the four land-use systems with *Theobroma cacao*, corresponded to poor-quality soil. Spearman's linear correlation showed a significant relationship among the evaluated physicochemical properties. In conclusion, the soil quality in the four land-use systems cultivated with *Theobroma cacao* in the Río Espino village, Monzón district, is poor.

**Keywords:** Indicators, systems, soil, properties, quality.

## I. INTRODUCCIÓN

Los suelos del lugar del río Espino, del distrito de Monzón, provincia de Huamalíes, Huánuco, están expuestos a diversas prácticas agrícolas que, al aplicarse sin manejo correcto, afectan su capacidad de producción y comprometen su integridad estructural. Cuando se habla de calidad se hace referencia a su capacidad de retención en cobertura vegetal. Las prácticas agrícolas inadecuadas, como técnicas de labranza inapropiada, el uso intensivo de los recursos, la aplicación de agroquímicos y los sistemas de monocultivo, reducen la habilidad productora de los suelos alterando sus características.

El suelo se deteriora y pierde su habilidad en desempeñar funciones esenciales a causa de que la población está basada en la agricultura, perdiendo así capacidad de ofrecer sustrato en el crecimiento de plantas, de regulación del agua y su función principal de filtro ambiental.

Sin embargo la agricultura convencional, muestra al suelo solo como un soporte inerte y fuente de nutrientes, esto utilizando e incorporando tecnologías y sustancias agroquímicas sin tomar en cuenta el daño ambiental.

Este estudio partió del objetivo, analizar la excelencia de los suelos en cuatro sistemas de uso con cultivo de *Theobroma cacao* (cacao) en el lugar de río Espino. Se analizaron diversas características (densidad aparente, infiltración, resistencia a la penetración, textura y  $T^{\circ}$ ) y químicas (materia orgánica, pH, N, P, K, capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE)), C, Mg y CE (conductividad eléctrica)). Estos análisis permitieron determinar cómo las estrategias de agricultura influyen o no influyen en la degradación del suelo. La fertilidad del suelo debe evaluarse en función de sus funciones específicas, considerando que cada función resulta de la interacción de las diferentes propiedades del suelo. Por lo tanto, las propiedades más favorables son las que impacten de manera significativa en cada función de acuerdo con su capacidad, así como en la utilidad a los que se designe y el sistema agrícola en la que se está trabajando. Por eso, el estudio evaluó la fertilidad de suelo en cuatro métodos de uso con el fin de determinar el estado actual de estos suelos dedicados al cultivo de *Theobroma cacao*.

Por lo expresado se formuló la siguiente interrogante del problema: ¿Cómo será la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso con cultivo de *Theobroma cacao* en el sector río Espino, distrito de Monzón, provincia de Huamalíes - Huánuco?, planteándose la hipótesis: los 4 sistemas de uso con cultivo de *Theobroma cacao* en el caserío río Espino, distrito de Monzón, provincia de Huamalíes – Huánuco presentan una calidad marginal.

La investigación se justifica porque durante años la agricultura fueron manejados de manera inadecuada; ocasionando que poco a poco se pierda la fertilidad de producción en el suelo (deterioro del suelo); donde la extensión de paisajes con tierras degradadas aumentó dramáticamente en los últimos años, y en base a ello utilizar un método práctico que resuelve la problemática de los agricultores dedicados a la producción de *T. cacao* del sector río Espino, y con ello el agricultor prepare un plan de fertilización con abonos orgánicos. Los resultados contribuirán con nuevos conocimientos para la ciencia y material de enseñanza para los docentes y los profesionales ligados al campo, convirtiéndose una alternativa para los productores cacaoteros y para las instituciones presentes en la zona de río Espino. Es necesario analizar si los sistemas de utilización, de gestión y los métodos agrícolas influyen o no los parámetros físicos y químicos y con ello en su estado o en su calidad. el trabajo de investigación presenta los objetivos que siguen.

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso con cultivo de *Theobroma cacao* en el sector río Espino, distrito de Monzón, provincia de Huamalíes – Huánuco.

### **1.2. Objetivos específicos.**

- Determinar los parámetros físicos (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura) y químicos (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio y conductividad eléctrica) en cuatro sistemas de uso del suelo dedicados al cultivo de cacao en el sector río Espino, distrito de Monzón
- Determinar la calidad del suelo utilizando la metodología del subíndice de

uso sustentable del suelo (SUSS) en cuatro sistemas de uso con cultivo de cacao en el sector río Espino, distrito de Monzón.

- Relacionar las propiedades fisicoquímicas que más influyen en la calidad del suelo con cultivos de cacao en el sector río Espino, distrito de Monzón

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco conceptual

#### 2.1.1. *Theobroma cacao*

Procede de América del Sur y es una planta perenne que alcanza aproximadamente 6 metros de altura. Sus ramas son dispersas y exhiben una notable diversidad. Sus hojas son medianas, elípticas, con peciolos, oblongas y ovalados midiendo entre 15 y 30 cm, y son redondeadas y obtusas en la parte inferior (Nizama, 2015). El mismo autor manifiesta que es considerado una de las especies explotadas comercialmente a gran escala ya que posee grandes extensiones de cultivo a nivel nacional e internacional, este cultivo es considerado uno de los cultivos alternativos más promovidos por programas como el Programa Propuesta del Desarrollo Alternativo Integral y sostenible.

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2020), indicó que en 2019 la generación de cacao logró las 135,9 mil toneladas, cultivadas en 130,3 mil hectáreas. Esto generó aproximadamente once millones en jornadas y benefició de forma directa a más de 90 000 viviendas, así como de manera indirecta a 450 000 habitantes en las parcelas productivas, que principalmente están localizadas en la selva del Perú.

La generación de *T. cacao* es fundamentada en la utilización de las semillas, que compone el 10% de total de la masa del fruto fresco, mientras que la cubierta representa aproximadamente el 80% del total de la mazorca y es el material principal que residuo que no es utilizado (Cobeñas y Guerrero, 2018).

#### 2.1.1.1. Cultivo alternativo de *T. cacao*

De acuerdo con la información (Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas [DEVIDA], 2015), los cultivos alternativos propuestos como parte de un desarrollo alternativo, sostenible e integral tienen como objetivo optimizar las cláusulas políticas, ambientales, económicos, sociales además de integrar a los productores de cultivos ilegales en la economía legal.

### **2.1.2. Calidad del ambiente**

El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, 2004), afirma que el equilibrio natural se refiere al grupo de procesos biológicos, geoquímicos y físicos, así como la diversidad interacciones complejas, que ocurren en una etapa de tiempo en un proceso del entorno de medio ambiente dentro de un área geográfico específico, es decir con la participación reducida de la humanidad o sin ella.

La salud y la calidad son dos conceptos que son similares, pero no son considerados sinónimos según (Doran y Parkin, 1994). Se sabe que la excelencia en el suelo no es medible directamente, en este contexto del sistema agrícola y medioambiental sostenible, implica la evaluación de los estándares fisicoquímicos con un propósito específico a lo largo de una amplia cantidad de tiempo (Karlen *et al.*, 1997). Los que definen la salud del suelo son las propiedades dinámicas como por ejemplo el contenido de sustancias orgánicas, la variedad de microorganismos y los productos de estos en un tiempo dado (Romig *et al.*, 1995).

### **2.1.3. Suelo**

Engloba un ecosistema dinámico y complejo en el cual se generan fenómenos biológicos y fisicoquímicos con distintas intensidades, que se repliegan a la superficie de la tierra como una simple capa. (Ministerio de Agricultura [MIDAGRI], 2011, p 3).

Su límite superior está formado por el agua y aire que son poco profundas. Sus bordes pueden variar en función de la profundidad del agua o de los espacios libres de cobertura vegetal, como los eriales, piedras o hielo. El más complicado de determinar es la limitación del límite inferior en relación con el no suelo (Departamento de Agricultura de EE. UU [USDA], 2014).

Para llevar a cabo la vida en el planeta Tierra, uno de los recursos más cruciales es el suelo que es usado como principal elemento para el desarrollar la agricultura y la exploración forestal. Como un entorno natural y social desempeña un papel esencial relacionado con la biología, la alimentación, la purificación y el soporte mecánico. Además, alberga una gran diversidad de fauna, flora y especies microbianas que son los

encargados de las tareas metabólicas, muy importantes para la formación, fertilidad y funcionalidad. No obstante, los distintos sistemas de uso del suelo generan diferentes niveles perturbacionales (Navarro *et al.*, 2018; Rosa *et al.*, 2017; Azañero *et al.*, 2020).

#### **2.1.4. Medición sobre el tipo de calidad de suelo**

Hay dos métodos con los que se puede analizar la calidad del suelo:

El primero consiste en realizar evoluciones regulares durante el transcurso del tiempo para observar las variaciones o tendencias de la excelencia. Esto incluye comparar diferentes sistemas de manejo para identificar sus efectos respectivos y hacer mediciones en un mismo lote durante un periodo prolongado para seguir las tendencias de calidad influenciadas por el uso y manejo. El segundo método implica comparar los datos obtenidos con aquellos de una condición habitual o de referencia del suelo, analizando áreas problemáticas dentro de una propiedad en relación con parcelas sin daños, y contrastando los datos obtenidos con las condiciones edáficas referenciales o con el entorno de la naturaleza (Luters y Salazar, 2000).

#### **2.1.5. Calidad del suelo**

En Estados Unidos en los años de 1990 se originó el término "calidad del suelo", en el cual nació la idea de añadir en el informe "Calidad del Suelo y Agua: Una Agenda para la Agricultura", elaborado por el National Research Council Committee (Acevedo *et al.*, 2005). Además, la fertilidad del suelo se definió en "la habilidad funcional en un grupo específicos de suelo para retener la producción en la flora y fauna (Karlen *et al.*, 1997). Este concepto abarca tanto la habilidad productiva de los suelos como la protección de entorno medio ambiental. Brejeda y Moorman (2001) mencionan, las tareas esenciales relacionados con la índole del suelo, como se citó en Acevedo *et al.* (2005) son:

- 1) Absorber, retener y soltar abonos y otras sustancias químicas.
- 2) Absorber, suministrar y retener el agua para los vegetales, así como reconstituir los acuíferos subterráneos.
- 3) Proporcionar un entorno favorable en el suelo, así fomenta la función biológica.

- 4) Optimizar la utilización de los suelos de las parcelas de agricultura en lugares que son considerados conservación paisajística.

La herramienta ideal denominada “calidad de suelo” es para evaluar el deterioro del suelo en un tiempo determinado, así como para identificar las mediciones importantes para mejorar su funcionalidad. Esto se debe a que está relacionada con la combinación de diversas propiedades fisicoquímicas, el impacto de la organización del cultivo y las situaciones atmosféricas (Jiménez y González, 2006; Azañero, *et al.*, 2016, p 4).

Vallejo (2013), como se cita en Azañero (2016, p 5) señala que el suelo al mostrar una compactación no es de buena calidad, no debe presentar densidad aparente baja, mucho menos resistente a la penetración, ya que esto permite que las raíces se desarrollen sin encontrar obstáculos mecánicos. Además, un suelo que no está compactado ofrece una porosidad apropiada e ideal, esto facilitara la oxigenación, una buena evacuación y un almacenaje adecuado de agua necesario para satisfacer y cumplir con lo que necesita las plántulas, especialmente en tiempos de sequía.

#### **2.1.6. Indicadores de calidad del suelo**

En cuanto a los marcadores de excelencia del suelo son propiedades el suelo que se pueden medir y que impactan en su capacidad para llevar a cabo funciones relacionadas con la agricultura o la protección del entorno ambiental (Arshad, 2002, como se citó en Jiménez y González, 2006, p. 6).

La calidad del suelo puede ser evaluada utilizando indicadores que muestren las variaciones en su capacidad y función, según Dalurzo *et al.* (2002), como se citó en Acevedo *et al.* (2005). Estos marcadores variaran según el entorno ambiental en cuestión, y es necesario identificar propiedades que actúen como señales de su sostenibilidad. Los marcadores específicos utilizados comúnmente indican a las características biológicas y fisicoquímicas en el suelo. Por otro lado, la habilidad productiva del suelo puede valorarse de forma indirecta a través de la rendición de los entornos agrícolas, ganaderos y forestales. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, 2004) sugiere que los marcadores de la calidad de suelos deben realizarse bajo distintas condiciones:

- 1) Debe ser simples de medir.
- 2) Debe evaluar las variaciones en la funcionalidad en el suelo.
- 3) Debe considerarse propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo.
- 4) Debe ser de fácil accesibilidad para quienes realizan la evaluación y aplicables en el campo.
- 5) Debe reaccionar a los cambios climáticos y de manejos.

Según Moscatelli *et al.* (2005), Los parámetros que determinan la fertilidad del suelo abarcan el profundo del horizonte superior, la cantidad de abono orgánico, el nivel de acidez, la cantidad de P(fosforo) disponible, la actividad respiratoria de los microorganismos, la densidad que aparenta, la compactación y la velocidad de la infiltración. Estos parámetros se clasifican tanto en variables cualitativas y cuantitativas, en cualitativas están el afloramiento del subsuelo, la formación de canalículos por desgaste erosional y la acumulación de agua o charcos y en variables cuantitativas están la tasa en cuanto a la infiltración, la capacidad de intercambiar el catiónico, el acides y la cantidad de nematodos u otros organismos presentes en el suelo.

#### **2.1.6.1. Indicadores físicos**

Existen varios marcadores físicos que representan la calidad del suelo, los cuales varían según las propiedades predominantes del área analizada. Chen (2000) propone considerar como marcadores la profundidad, la textura, el volumen de la infiltración de H<sub>2</sub>O, la densidad aparente y la habilidad de retención del H<sub>2</sub>O. Por su parte, Doran y Lincoln (1999) sugieren que se tomen en cuenta la estructura las texturas, la densidad aparente, el grosor del horizonte superior, la sostenibilidad de los agregados, la T° y la infiltración como indicadores significativos.

Según Brejeda y Moorman (2001), como se citó en Acevedo *et al.* (2005), indican en cuanto a las texturas de los suelos están relacionadas con las porosidades, las infiltraciones y la predisponibilidad del H<sub>2</sub>O; la densidad aparente se asocia con la tasa de infiltración y la conductividad hidráulica; mientras que la mantención de los agregados se vincula con la capacidad de resistir a la erosión y la cantidad de sustancias orgánicas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2002) menciona que la textura se basa a las proporciones relativas de materiales de diferentes tamaños, como arcillas, limos y las arenas que se encuentran presentes en los suelos. Todas estas características son vitales para la facilidad de trabajar el suelo y es fundamental para determinar cómo se distribuyen los nutrientes, aire, agua y elementos cruciales para su crecimiento de las plantas.

**Tabla 1.** Propiedades físicas de los marcadores de la calidad de los suelos.

<b>Propiedad</b>	<b>Relación de condición y función del suelo</b>
Textura	Transporte y retención de H <sub>2</sub> O y sustancias químicas; desgaste de los suelos
Profundidad en el suelo, suelo superficial y raíces	Valoración de la producción y erosión
Infiltración y densidad Aparente	Desgaste por lavado, productividad y desgaste fluvial.
Capacidad de retener agua	Todo relacionado a la capacidad de retener agua, textura, traslado y desgaste, humedad beneficiosa y abono orgánico.

Fuente: Doran y Parkin (1994), como se citó en SAGARPA (2012).

### **2.1.6.2. Indicadores químicos**

Los marcadores y/o indicadores químicos en la excelencia del suelo engloban características que son importantes en el trabajo de las plantas y suelo, calidad y disponibilidad de agua, capacidad de amortiguar del suelo y alimentos para los microorganismos y plantas (Acevedo *et al.*, 2005). Chen (2000) sugiere tener en cuenta como marcadores el MO (materia orgánica), el C y N orgánico, el pH, la CE y el nivel disponible de P, N y K. Estos marcadores reflejan parámetros de la fertilidad y el pH, la sustancia biológica, P, N y K, son cruciales para el sector y productividad agrícola. Según Martínez (2003), la sustancia natural u orgánica en el suelo indica su calidad de suelo, formando un componente esencial para recolectar el conjunto mínimo de información con la finalidad de definirla, la sustancia orgánica es vital para conservar la estructura de los suelos, contener el agua necesario y cumplir la función de reserva de nutrientes.

**Tabla 2.** Características químicas marcadores de la calidad del suelo.

<b>Propiedad</b>	<b>Relación de condición y función del suelo</b>
Sustancia orgánica (C y N Total)	Indica la producción del suelo; desgaste y
Ph	Indica el trabajo biológico y químico
Conductividad eléctrica	Indica el trabajo de las plantas y microorganismos
fosforo, potasio y nitrógeno extractables	Abono apto para las plantas, pérdida potencial de Nitrógeno; productividad e identificador del tipo de ambiente.

Fuente: Doran & Parkin (1994), como se citó en SAGARPA (2012).

La reacción del suelo, o pH, considerado indicador de la acidez de este. Se expresa como el log negativo de la concentración de H<sup>+</sup> en moles por Lt. El pH se representa en una escala con valores numéricos, varía de 0 a 14. Una disolución se considera ácida cuando hay una mayor concentración de cationes H<sup>+</sup> que de aniones OH<sup>-</sup>, se denomina alcalina cuando predomina los OH<sup>-</sup>, y neutro si ambos están presentes en igual cantidad (Martínez, 2003).

El nitrógeno suele presentar los minerales en el suelo estos suelen derivar de la desintegración de residuos orgánicos que contienen N, como materiales orgánicos frescos, abonos y humus. Estas formas incluyen principalmente N amoniacal (NH<sub>3</sub>) y N nítrico (NO<sub>3</sub>). Los macro y microorganismos presentes en el suelo facilitan los procesos biológicos y minerales. La medición del N total del suelo se lleva a cabo utilizando el método clásico de Kjeldahl o, en algunas ocasiones, una versión modificada de este (Calderón, 1999).

### **2.1.7. Efectos en uso con variedades de sistemas en calidad del suelo**

El análisis de la índole contribuye a optimizar en gestionar diversos recursos, así como: erosión en el suelo, la acumulación de sedimentos por viento o inundaciones, la disminución de la infiltración y el crecimiento de las precipitaciones, la pérdida de nutrientes, el endurecimiento de la capa superficial, el desplazamiento de los agroquímicos, las varianzas del pH, la reducción de sustancia orgánica, la reducción del trabajo biológico y el deterioro en la clase del agua (NRCC, 2004).

La índole del suelo incluye los aspectos biológicos y fisicoquímicos de este, así como sus interrelaciones. En tanto, para comprender de manera integral la índole o salud de los suelos, es necesario medir los indicadores. No obstante, se debe tener en cuenta que no todos los indicadores son relativamente importantes, en todos los tipos de suelos existentes. Ejemplo de ello, la prueba de conductividad eléctrica para evaluar salinidad puede no ser relevante en algunos lugares del país donde los terrenos con alta sal no es problema (Doran y Uncoln, 1999).

#### **2.1.8. Subíndice de uso sustentable del suelo**

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012) realizó una investigación que se integra en parte a la línea base al programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales. Esta investigación tiene como finalidad reflejar datos contrafactuales que ayuden a capacitar la importancia de implementar el programa, y en el momento analizar sus impactos.

En lo siguiente se presenta los subíndices:

- a. Subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS)
- b. Subíndice uso sustentable del agua (SUSA)
- c. Índice de sustentabilidad biológica de las principales pesquerías de México (ISB)
- d. Subíndice diversidad:
  - Subíndice de biodiversidad vegetal (SBV)
  - Subíndice de diversidad pecuaria (SDP)
- e. Subíndice de emisiones de gases efecto invernadero (SEGEI).

La medida inicial de la calidad en cuanto al suelo de agricultura está dentro de la línea base del (SUSS), en el que evalúa la índole del suelo mediante parámetros fisicoquímicos. Para desarrollar el método de cálculo del SUSS, recolectaron muestras de aproximadamente 4,000 áreas de agricultura en México y se desarrollaron los estudios fisicoquímicos pertinentes. Partiendo de los resultados de estos estudios, se elaboró el

SUSS (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2012).

### **2.1.9. Muestra para analizar la calidad y salubridad de suelo**

El tema de la calidad del suelo engloba los aspectos biológicos y físicos-químicos del mismo, así como sus compartimientos. Por ello, para entender de manera integral la salud o índole del suelo, es necesario medir el total de los indicadores. Pero, no todos los parámetros son igualmente relevantes para cada tipo de suelo o situación. Por ejemplo, la prueba de conductividad eléctrica (CE) para evaluar la salinidad porque quizá no sea pertinente en la región oriental de los EE. UU (USDA, 1999). Esta guía incluye ciertos parámetros que forman parte para identificar la índole del suelo de agricultura e incluye ejemplos metodológicos para muestreo. Este instrumento debe utilizarse como una herramienta para analizar e identificar en cuanto a la clase del suelo y ver si los métodos actuales conservan, mejoran o degradan el suelo (USDA, 1999).

### **2.1.10. Identificadores de la índole del suelo, uso agrícola de manera sostenible y desarrollo rural**

Hay inquietud acerca de los cambios en la calidad de las tierras, pero no se está realizando una observación y supervisión formal que indique qué está cambiando, en qué dirección y a qué velocidad. Las mejoras observadas en la calidad del suelo, que se pueden relacionar con proyectos y programas de desarrollo, a menudo son evaluadas de manera aproximada o se basan en deseos, en lugar de ser fundamentadas en el uso adecuado de indicadores o en la implementación de planes de supervisión y análisis. (FAO, 1996).

La discusión en el FAO y foros internacionales ha enriquecido el conversatorio actual en cuanto a indicadores en el desarrollo sin afectar el ambiente, social y económico. Debido, en parte, a la diversidad de intereses de por medio y disciplinas implicadas, todavía no hay un acuerdo en cuanto a las características particulares de indicadores para la sostenibilidad y ventajas o desventajas. Comprender el uso de estos indicadores puede facilitar la identificación de problemas y actividades exitosas o, por el contrario, provocar confusiones o interpretaciones erróneas (FAO, 1996).

## 2.2. Estado del arte

De acuerdo con Hosokay (2012), el estudio se realizó en una finca agrícola ubicada en parte inferior de la microcuenca del río Supte, en la provincia de Leoncio Prado, dentro de la región Huánuco. La finalidad principal fue medir y analizar las diferentes técnicas en el uso del suelo y su impacto en la idoneidad de este, a través del examen de propiedades biológico, químico y físico. Se realizó muestreo de suelo de cada uno de los sistemas, que luego se envió a laboratorio de Conservación de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su estudio, mientras que otras muestras se examinaron in situ. La metodología empleada fue de diseño completamente al azar, con 3 repeticiones por cada tratamiento. Su evaluación se realizó en 7 sistemas el cual fue usado el suelo, encontrando que los relacionados con bosques, plátanos, pastos y cacao presentaban una textura franco - arcillosa; el maíz tenía una textura franca, mientras que los suelos de coca y los degradados mostraban textura arcillosa. El suelo degradado presentó la mayor resistencia a la penetración ( $4,50 \text{ kg/cm}^2$ ) y también exhibió los peores valores en inestabilidad estructural (66,36%). El método con maíz fue el que tuvo el contenido más alto de P en el suelo, alcanzando 11,18 ppm.

Por otro lado, el método con cacao mostró un elevado nivel de abono orgánico (4,38%). La adecuación microbiana fue más baja en los métodos que incluían coca, alcanzando un valor de  $0,045 \text{ mg CO}_2/100 \text{ g}$  de suelo. Finalmente, el método con plátano mostró la alta densidad de macroorganismos, con  $2,416 \text{ individuos/m}^2$ . Según las condiciones evaluadas, la respiración microbiana se identificó como el identificador más sensible para determinar la clase de los microorganismos del suelo

El estudio realizado por Daza (2018) se llevó a cabo en áreas de pastales naturales y mejoradas, ubicadas en el pueblo de Merced de Locro, en el distrito de Rupa Rupa, dentro de la provincia de Leoncio Prado, en la región de Huánuco. Su objetivo fue analizar los identificadores de clase de suelo y el contenido de C orgánico en 2 tipos de uso del suelo: la pastura natural (*Paspalum conjugatum*) y la pastura mejorada (*Brachiaria decumbens*). Se recolectaron muestras con una palana hasta una profundidad de 30 cm, obteniendo cinco submuestras (1,0 kg) de manera sistemática del medio de cada

cuadrado. Para evaluar las similitudes estadísticas de ambas unidades a explorar, se utilizó el instrumento de prueba LSD Fisher para inferencias basadas en 2 muestras. Como resultado se obtuvo que suelos con pastales mejorados tenían mayor valor de densidad aparente en comparación con los suelos de pastura natural. En cuanto al abono orgánico y suelos con pasto mejorado obtuvieron niveles bajos a comparación de los de pastos naturales que los de pastura natural, un similar comportamiento que también se observó en los niveles de N. Por ello, se acepta la hipótesis alternativa al ver un resultado positivo en pastales mejorados sobre los pastos naturales. En cuanto a la relación de fósforo, CIC y potasio no se vio diferencias de manera estadística. A pesar de esto, los suelos con pastura mejorada mostraron valores superiores comparados con la pastura natural. El método de pasto natural demostró mayor número de tasa que el método de pasto mejorado en almacenar carbono en el suelo. En conclusión, se determinó que el sistema de pastura natural es más eficiente para almacenar carbono orgánico en comparación con la pastura mejorada.

El estudio de García et al. (2012) manifiesta como recurso esencial al suelo para la vida, porque este facilita el crecimiento en la flora, fauna y la humanidad. Sin embargo, todavía no se comprenden todos los roles que desempeña. El significado de suelo con fertilidad ha estado más asociado a las propiedades químicas, especialmente a la porción de macroelementos primarios como el N, el P y K. En años recientes, se han propuesto definiciones más amplias que consideran las características biológicas y fisicoquímicas del suelo, así como su habilidad para ser muy sostenible para la producción de alimentos saludables y reduciendo la contaminación del entorno ambiental. A pesar de ello, no se cuentan con criterios universales definidos en evaluación en cuanto a los cambios de la clase de suelo. Es por ello que se usan marcadores para identificar el suelo sensible ante condiciones y manejo edafoclimáticas, y otras características, que ayudan evaluar. El presente artículo tiene como objetivo mejorar la comprensión de una nueva perspectiva sobre la clase del suelo, fundamentándose en su función; indicador biológico, químico y físico y su interrelación; así como describir algunos estudios realizados en Cuba sobre los identificadores de la clase del suelo instrumento para decidir sobre el manejo del suelo.

El estudio de Azañero *et al.* (2020) manifiestan que el desarrollo agrícola en la evaluación de los sectores vulnerables requiere analizar la clase del método de suelo. Por ello, como objetivo de esta investigación fue analizar y comparar la clase o índole del suelo utilizando (SUSS) en distintos métodos de uso en el sector de Río Espino, Monzón. Este estudio se realizó con un enfoque no experimental y descriptivo comparativo, analizando 3 sistemas del uso: el método (SAF), el (CO) y el (BS). Los indicadores que se evaluaron fueron: resistencia a la penetración, densidad aparente, textura, infiltración, temperatura, pH, materia orgánica, N total, Ca, K, Mg y la capacidad de intercambio iónico. Como resultados se obtuvo que el suelo del método agroforestal es aceptable, en cambio el de BS es sensible y el de CO con calidad marginal. En conclusión, según el SUSS, el SAF contiene la tasa más alta en cuanto a la calidad, el método CO obtuvo el índice bajo entre los 3. Lo que quedó demostrado que el método SUSS ayuda de manera sencilla a identificar, medir y analizar los suelos de acuerdo con sus usos



### **3.1.3. Clima**

El sector río Espino cuenta con clima tropical, templado, semi-cálido y húmedo, además con lluvias de 310 mm/año y T° medio anual de 25,5 °C y con una humedad relativa de 75%.

### **3.1.4. Zona de vida**

Ecológicamente citando el diagrama bioclimático de zonas de vida de Holdridge (2000) pertenece a un bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh – PMT) y según Pulgar (1996) denominada Rupa - Rupa o selva alta.

### **3.1.5. Suelos**

La mayoría de los suelos tienen un origen coluvio-aluvial, lo que los hace adecuados para uso agrícola y otras actividades. Dichos suelos exhiben un tipo textura que varía entre franca, franca-arcillosa y arcillosa, lo cual es ideal para el cultivo de *Theobroma cacao*.

### **3.1.6. Fisiografía**

La zona de estudio presenta una fisiografía que abarca desde terrazas planas hasta onduladas, cubiertas por bastante vegetación de bosques secundarios. También se pueden encontrar formaciones angostas y profundas a lo largo de las cuales fluye unas quebradas. En cuanto a la pendiente es ligeramente inclinada, con datos que comienzan desde el 10 % en adelante.

### **3.1.7. Hidrografía**

Existencia de ríos pequeños que fluyen desde las partes altoandinas de la zona y que desembocan en el río Monzón, como afluente del río del Huallaga.

### **3.1.8. Accesibilidad**

La accesibilidad al área de investigación se realizó por la vía central Tingo María

- Monzón, que se encuentra asfaltada hasta el lugar de investigación. La ruta en moto hasta el lugar de ejecución donde están las cuatro parcelas con cultivos de *Theobroma cacao*, es aproximadamente de 2 horas.

### **3.2. Materiales y equipos**

#### **3.2.1. Materiales**

Dentro de lo utilizado incluyeron: equipo de protección personal, machete, pico, pala, recipientes y bolsa hermética, etiquetas o micas, marcador o plumón permanente, cinta métrica de 3,0 m y/o 5,0 m, libreta de notas, mapa de ubicación, cilindros infiltrómetros, probetas de cien y mil mL, pipetas, tubos de ensayo, tamices de 5,2 y 0,25 mm de diámetro entre otros.

#### **3.2.2. Equipos**

Los equipos empleados incluyeron: una laptop Asus con procesador Intel (R) Core (TM) i5, un GPS GARMIN Gpsmap 64s, una cámara Sony W800 con acercamiento óptico de 5x, impresora EPSON EcoTank L5190 con conexión USB y WiFi, además de un termómetro de suelo, cronómetro, pH metro, estufa, espectrofotómetro de absorción atómica, conductímetro, cronometro, entre otros.

### **3.3. Generalidades**

#### **3.3.1. Tipo**

El presente estudio es de campo y aplicativo, en razón, de que se utilizó conocimientos de distintas ciencias del suelo y así determinar sus parámetros fisicoquímicos por efecto de los tres sistemas de utilización del suelo, debido a que los propietarios establecen los sistemas de uso de los predios.

#### **3.3.2. Nivel**

El estudio es descriptivo, por lo que se realizó muestreo en los 4 sistemas de uso de suelo, además, se apoyó en la estadística para evaluar los resultados.

### 3.3.3. Análisis de datos

Se utilizaron los programas de office como el Microsoft Excel y el Word para analizar la información recolectada en campo y laboratorio. Para ello, realizó una prueba de correlación de Pearson para definir los marcadores fisicoquímicos que se encuentran en más relación con el subíndice de utilización sostenible de los suelos, utilizando el software SPSS.

### 3.3.4. Variables de estudio

El estudio contempla variables dependientes y variables independientes:

– **Variable dependiente**

Cuatro sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* de 7 años

– **Variable independiente**

X = indicadores químicos y físicos

X1 Conductividad eléctrica =  $\text{dSm}^{-1}$  X2 pH = pH

X3 Densidad aparente =  $\text{g/cm}^3$

X4 Resistencia a la penetración =  $\text{kg/cm}^2$

X5 Materia orgánica del suelo (MO) = %

X6 P disponible =  $\text{mg kg}^{-1}$

X7 Mg disponible =  $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$

X8 Ca disponible =  $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$

X9 K disponible =  $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$

X10 Capacidad de intercambio catiónico =  $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$

X11 N = %

X12 = ICS

### **3.4. Metodología**

#### **3.4.1. Determinación de los parámetros físicos y químicos**

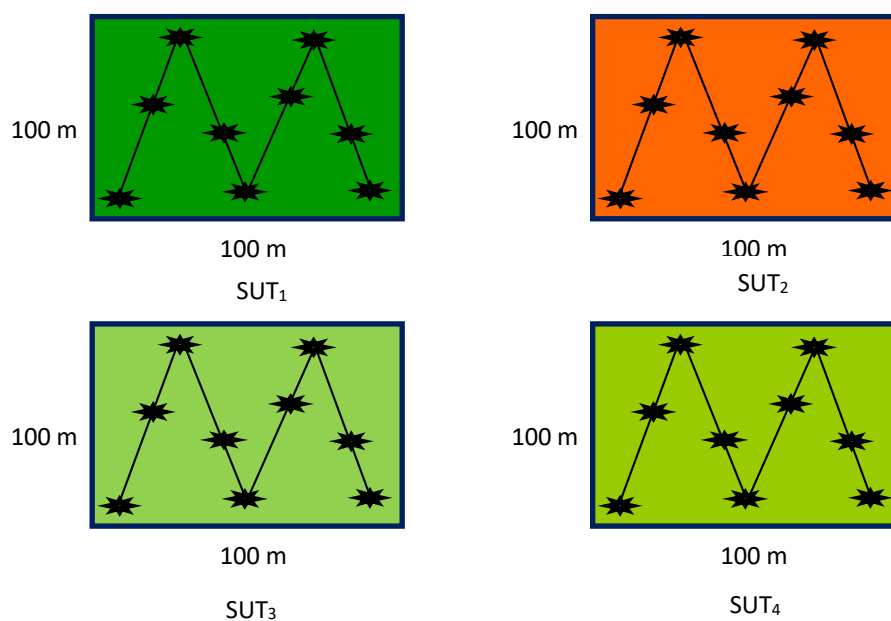
En los parámetros químicos están (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración, infiltración y temperatura), químicos (pH, P, materia orgánica, N, K, capacidad de intercambio catiónico efectivo, calcio, magnesio y conductividad eléctrica) en cuatro métodos de utilidad del suelo con cultivo de *Theobroma cacao* en el sector río Espino, distrito de Monzón.

##### **3.4.1.1. Reconocimiento de la zona**

Se realizó una identificación del lugar, reconociendo la topografía de la parcela dentro del ámbito del estudio, luego se seleccionaron los sistemas de uso con cultivo de cacao que estuvieron constituidos por 1 ha y se realizó las coordinaciones con los propietarios de las parcelas con el cultivo.

##### **3.4.1.2. Muestreo de suelos en los sistemas de uso**

Para examinar los sistemas de utilización del suelo y la metodología de muestreo, se siguieron las recomendaciones de Moscatelli *et al.* (2005) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA, 2017). La evaluación de las características físico-químicas se llevó a cabo conforme al método sugerido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999) y Bazán (1996).



**Figura 1.** Diagrama de muestreo de suelos para análisis fisicoquímico en cada uno de los SUS a ser evaluado.

Cada sistema de uso del suelo estuvo constituido por un 1 ha. En cada una de ellas se establecieron 12 puntos de muestreo, obteniéndose un total de 48 submuestras que fueron homogenizadas, los muestreos que se realizaron fueron de profundidad de 00 a 30 cm, distribuyéndose por gran parte de la superficie de cada área con un patrón en zigzag (ver Figura 1). Para la recolección de las muestras de los suelos, se utilizó un barreno tubular de 1 m de longitud efectiva, ayudado por una pala, el cual ayudó a obtener una cantidad uniforme de suelo. Todas esas muestras se combinaron para obtener una compuesta y de un aproximado de 1 kilogramo para cada SUS. Antes de la recolección, se eliminaron los restos de materia orgánica como hojas y otros contaminantes que pudieran afectar el análisis fisicoquímico. Además, se evitó muestreo cerca a los drenajes, áreas inundadas, así como en lugares con acumulación de residuos vegetales.

### 3.4.1.3. Parámetros fisicoquímicos del suelo a ser analizadas

**Tabla 4.** Indicadores físicos y químicos.

<b>Indicadores físicos</b>	<b>Método de su determinación</b>
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos (USDA, 1996 y Moscatelli et al., 2005)
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco (USDA, 1996 y Moscatelli et al., 2005)
Resistencia a la penetración	Método directo del penetrómetro (USDA, 1996 y Moscatelli et al., 2005)
Infiltración	Cilindro infiltrómetros (USDA, 1996 y Moscatelli et al., 2005)
T° del suelo	Método directo (termómetro) (USDA, 1996 y Moscatelli et al., 2005)
<b>Indicadores químicos</b>	
(MO)	Método de Walkley y Blakc (Bazán, 1996)
(pH)	Método del potenciómetro (Bazán, 1996)
(N) total	Método de Kjeldahl (Bazán, 1996)
(P) disponible	Método de Olsen (Bazán, 1996)
(Mg) intercambiable	Acetato de Amonio pH 7.0 Absorción atómica o Flamometría (Bazán, 1996)
(Ca) intercambiable	Acetato de Amonio pH 7.0 Absorción atómica o Flamometría (Bazán, 1996)
(CE)	Conductímetro (Bazán, 1996)
(K) disponible	Método del ácido sulfúrico (Bazán, 1996)
Capacidad de intercambio Catiónico (CIC)	Método del acetato de amonio (Bazán, 1996)

Fuente: Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo (Larson & Pierce, 1991; Doran & Parkin, 1994; Seybold *et al.*, 1997).

Los análisis descritos en la Tabla 4, fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de la UNAS.

### 3.4.1.4. Análisis estadístico para las propiedades físicas y químicas

Respecto a las características fisicoquímicas, los datos logrados no presentan una distribución normal, por ello se evaluó con la prueba H de Kruskal-Wallis. Los tratamientos serán los diferentes sistemas de uso del suelo, con un número variable de repeticiones. Se establecerán las siguientes premisas-

H0: las medianas de la población son iguales.

H1: las medianas de la población no son iguales

El estadístico es:

$$K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (r_i - r)^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^g (r_{ij} - r)^2}$$

Donde:

$n_j$ : es el # de observaciones en el grupo i

$r_{ij}$ : es el rango (entre todas las observaciones) de la observación j en el grupo

$r_i$ : es la sumatoria de los  $r_{ij}/n_j$

$r$ : es el promedio de  $r_{ij}$

Finalmente, el p-value (valor p) es aproximado por si algún  $n_i$  es pequeño (>5) la distribución de K puede ser distinta de la chi-cuadrado.

$$\Pr(\chi_{g-1}^2 \geq K)$$

**Tabla 5.** Descripción de los tratamientos en estudio.

	<b>Descripción</b>	<b>Tratamiento</b>
SUS <sub>1</sub>		T <sub>1</sub>
SUS <sub>2</sub>		T <sub>2</sub>
SUS <sub>3</sub>		T <sub>3</sub>
SUS <sub>4</sub>		T <sub>4</sub>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2. Calidad del suelo con metodología del (SUSS) en 4 sistemas de utilidad con cultivo *T. cacao*

A efectos de determinar la clase del suelo, se sometieron a los cálculos siguientes y para ello utilizamos (SUSS) establecido por SAGARPA (2012), en base a ecuaciones:

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

Donde:

P: promedio del valor de los parámetros normalizados

I: es cada indicador o parámetro analizado

N: es la cantidad total de parámetros analizados

#### - Promedio de los valores normalizados en cada indicador (i)

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

Donde:

Rn, valor resultante del parámetro normalizado

m: # de muestras de suelo analizadas

j: muestra de suelo

- **Parámetro normalizado de cada indicador (i)**

La ecuación es:

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

Donde:

Rn: resultado normalizado

Vr: valor del parámetro fisicoquímico (indicador)

d: valor deseable en el indicador

c: valor de corte en el indicador

j: muestra de suelo

Los niveles de los resultados esperados y los valores de corte de cada identificador que se empleó en el cálculo del SUSS, se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo.

Indicador	Und de medida	Rango o valor deseable (d)	Valor de corte (c)
(MO)	%	MO > 5	0,5
(Dap)	g/cm <sup>3</sup>	Dap < 1.1	1,47
(CE)	dSm <sup>-1</sup>	CE < 1	4,1
pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8,5
(P) disponible	mg kg <sup>-1</sup>	P > 5,5	0
(Mg) intercambiable	Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup>	Mg > 0,3	0
(Ca) intercambiable	Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup>	Ca > 5	0
(CIC)	Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup>	CIC > 15	5
(N) total	%	N > 0,2	0,05

Fuente: [SAGARPA] (2012).

La interpretación del (ICS), fue realizado de la mano de clasificación dada en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Rangos interpretativos del SUSS.

Calidad del suelo	Descripción
Bueno ( $0,95 < \text{SUSS} \leq 1,0$ )	Las condiciones de la clase del suelo son las esperadas para desarrollar la agricultura.
Aceptable ( $0,80 < \text{SUSS} \leq 0,95$ )	La clase del suelo es casi está deseables. Las variables que se analizan están cerca a los adecuados.
Sensible ( $0,65 < \text{SUSS} \leq 0,78$ )	Se alejan de los datos óptimos, los parámetros medios.
Marginal ( $0,45 < \text{SUSS} \leq 0,65$ )	Los identificadores de calidad se alejan de los números correctos.
Pobre ( $0 < \text{SUSS} \leq 0,45$ )	El suelo agrícola está en peligro, por lo que los indicadores están muy alejados de los deseables.

Fuente: [SAGARPA]. (2012).

### 3.4.3. Relacionar las propiedades fisicoquímicas que más influyen en la calidad del suelo con cultivo de cacao

Siguiendo la metodología planteada, se utilizaron cuatro sistemas de uso de la tierra, considerando cada uno de ellos como un tratamiento. En cada sistema, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del suelo y (SUSS).

Los primeros objetivos fueron analizados mediante la estadística descriptiva, siendo:

- **La media aritmética o promedio**

$$\text{Promedio} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \dots \dots \dots (4)$$

- **La desviación estándar**

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots \dots \dots (5)$$

- **Coefficiente de variación**

$$CV = \frac{\text{Desviación estándar}}{|\bar{x}|} \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

En relación con el último objetivo, para establecer la conexión entre las propiedades fisicoquímicas y el (SUSS), se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson. En este análisis, el elemento clave fue el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), que se resuelve mediante la siguiente fórmula:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}} \dots \dots \dots (7)$$

Al respecto, Hernández et al. (2014) indica que el coeficiente r de Pearson puede variar de -1,00 a +1,00, donde:

- -1,00 = Correlación negativa perfecta. (A mayor X, menor Y, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica a menor X, mayor Y.
- -0,75 = Correlación negativa significativa
- -0,50 = Correlación negativa moderada
- -0,25 = Correlación negativa ligera
- -0,10 = Correlación negativa muy ligera
- 0,00 = No hay correlación entre las variables
- +0,10 = Correlación positiva muy ligera
- +0,25 = Correlación positiva ligera
- +0,50 = Correlación positiva moderada
- +0,75 = Correlación positiva significativa
- +0,90 = Correlación positiva muy fuerte
- +1,00 = Correlación positiva perfecta

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. De los parámetros físicos y químicos

En cuanto al físico (textura, densidad aparente, resistencia a la penetración y temperatura), y químicos (pH, materia orgánica nitrógeno, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico efectivo, calcio, magnesio y conductividad eléctrica) en cuatro sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* en el sector río Espino, distrito de Monzón

#### 4.1.1. Parámetros físicos

##### 4.1.1.1. Textura del suelo

En los 4 métodos de uso se pueden apreciar los datos de la textura en el suelo, que oscilan entre suelos francos y franco-arcillosos. De acuerdo con Zavaleta (1992), todas las clases de textura se establecen a partir de las diversas homogenizaciones de arenas, arcillas y limos lo que sugiere que estas homogenizaciones son prácticamente ilimitadas.

**Tabla 8.** Textura de los suelos en los sistemas de uso con *Theobroma cacao*.

Clones	% de Partículas			Textura
	Arena	Arcilla	Limo	
SUS <sub>1</sub>	24	36	40	Franco arcilloso
SUS <sub>2</sub>	23	28	50	Franco arcilloso
SUS <sub>3</sub>	23	46	32	Arcilloso
SUS <sub>4</sub>	48	14	39	Franco

Fuente: Elaboración propia

Para Zavaleta (1992) Las texturas del suelo son el resultado de diversas combinaciones de arena, sedimento y materia orgánica, lo que genera una variedad prácticamente infinita de mezclas. Sin embargo, se han identificado únicamente doce clases principales de textura, organizadas según el aumento de su proporción final. En una tesis desarrollado por Portocarrero (2013) en cuanto al impacto de los 3 métodos,

haciendo uso de los indicadores químicos, biológicos y físicos del estudio de mi investigación, se observó que el método agroforestal presentaba una textura franco - limosa, coincidiendo con los hallazgos de esta investigación. Por otro lado, Huamán (2016), al evaluar los indicadores químico, biológico y físico en el suelo, en caserío Agua Blanca en 3 métodos (purmas, plátanos y cacao con plátanos), reportó como resultados una textura arcillosa, ideal para cultivos mencionados.

#### 4.1.1.2. Densidad aparente

Los resultados después del análisis de variabilidad unidireccional para los sistemas de utilización de suelo con *Theobroma cacao* en relación con variable de densidad aparente del suelo indican que, con un nivel de confianza del 95%, existe evidencias estadísticas que sostiene que las medianas de la densidad aparente en los cuatro sistemas del sector río Espino, en el distrito de Monzón, son distintas. Esto significa que al menos uno de los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao* presenta diferencias.

**Tabla 9.** Análisis de variancia para la densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	$H_{k-w}$	$p \leq 0.05$
Densidad aparente	3	SUS <sub>1</sub>	1,17	9,00	9,73	0,0207
		SUS <sub>2</sub>	1,32	12,63		
		SUS <sub>3</sub>	1,22	9,88		
		SUS <sub>4</sub>	0,97	2,50		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 10 permite deducir que los sistemas de utilización suelo con *T. cacao*, son diferentes estadísticamente, mostrando que el mayor valor se encuentra en el método de uso de suelo con *T cacao* número dos con código SUS<sub>2</sub> con  $1.32 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Al respecto de los resultados obtenidos Folegati *et al.* (2001), menciona que la densidad aparente es importante propiedad del suelo usualmente usada en el campo agrícola que está vinculada esencialmente las prácticas del tratamiento de los suelos y del H<sub>2</sub>O, según Navarro (2003) añade que es la relación entre la peso de los sólidos y el volumen total que tienen los

mismos, incluido los espacios porosos que hay entre las partículas duras y de allí podemos diferenciar que tipo de suelo es donde se instaló el cultivo.

Así mismo Acevedo y Martínez (2003) enfatizan que la densidad aparente del suelo es un identificador de la compactación y limitaciones al desarrollo de raíces. Según el USDA (2017), en suelo de textura fina, la densidad aparente oscila entre 1 y 1,2 g/cm<sup>3</sup>; en suelos franco-arcillosos, varía entre 1,30 y 1,40 g/cm<sup>3</sup>, mientras que en suelo arenoso es alto, con valores que pueden ir de 1,2 a 1,6 g/cm<sup>3</sup>. Jaramillo (2003) también señala que el suelo arenoso suele tener valores altos, frecuentemente entre 1,35 kg/dm<sup>3</sup> y 1,85 kg/dm<sup>3</sup>. Con base en esta información y resultados logrados, concluimos que el sistema de uso de suelo con *Theobroma cacao* número dos, identificado con el código SUS2, se ubica en un suelo franco arcilloso. De acuerdo con el USDA (2017), estos valores de densidad aparente son óptimos para el desarrollo radicular.

**Tabla 10.** Comparaciones post-hoc para la densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).

Zonas de cultivo	Medianas (g/cm <sup>3</sup> )	p> 0.05	
SUS <sub>2</sub>	1,32	a	
SUS <sub>3</sub>	1,22	a	
SUS <sub>1</sub>	1,17	a	B
SUS <sub>4</sub>	0,97		B

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.1.3. Resistencia a la penetración

Los resultados después de analizar la variabilidad unidireccional para los sistemas de utilización de suelo con *Theobroma cacao* en relación con la resistencia a la penetración del suelo indican que, con un nivel de confianza del 95%, hay evidencia estadística que permite concluir que las medianas de la densidad aparente son iguales para los cuatro sistemas en el caserío río Espino, distrito de Monzón. Esto sugiere que, al menos, los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao* presentan efectos similares.

**Tabla 11.** Análisis de varianza para la resistencia a la penetración del suelo (kg/cm<sup>2</sup>).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
Resistencia a la penetración	3	SUS <sub>1</sub>	3,00	6,63	5,20	0,0207
		SUS <sub>2</sub>	3,13	6,50		
		SUS <sub>3</sub>	3,23	7,75		
		SUS <sub>4</sub>	4,08	13,13		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis que muestra en la tabla 12 permite deducir que los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao*, son similares estadísticamente, aun así se muestra que el mayor valor se encuentra en el sistema de uso de suelo con *Theobroma cacao* número cuatro, código SUS4 con 4,08 kg/cm<sup>2</sup>, este valor se encuentra relacionado a la densidad aparente como lo refiere USDA (1999), a la par que aumenta la resistencia mecánica, disminuye la porosidad, lo que limita el desarrollo de las raíces a niveles críticos. De acuerdo con los hallazgos y Zerpa *et al.* (2013), se establece que los valores superiores a 1,4 kg/cm<sup>2</sup> indican que los sistemas de uso del suelo con T. cacao se encuentran en un suelo restrictivo para el desarrollo radicular. En términos generales, Porta *et al.* (2003) señalan que la durabilidad o compactación tiene un impacto negativo, tanto de manera directa o indirecta, en diferentes propiedades del suelo, afectando su estructura, la dinámica del aire y agua, como también en los procesos de oxidación y reducción y conjuntos de organismos.

**Tabla 12.** Comparaciones post-hoc para la resistencia a la penetración del suelo (kg/cm<sup>2</sup>).

Zonas de cultivo	Medianas (kg/cm <sup>2</sup> )	p> 0.05
SUS <sub>4</sub>	4,08	a
SUS <sub>3</sub>	3,23	a
SUS <sub>2</sub>	3,13	a
SUS <sub>1</sub>	3,00	a

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis

#### 4.1.1.4. Temperatura

Resultados que se analizaron de variabilidad unidireccional para los sistemas de la utilización del suelo con *Theobroma cacao* con relación a la temperatura del suelo indican que, con un nivel de confianza del 95%, hay evidencia estadística que permite concluir que las medianas de la densidad aparente para los cuatro sistemas en el caserío río Espino, distrito de Monzón, son iguales. Esto significa que al menos los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao* presentan efectos similares.

**Tabla 13.** Análisis de variancia para la temperatura del suelo (°C).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p <sub>≤</sub> 0.05
Temperatura	3	SUS <sub>1</sub>	22,65	4,75	7,05	0,0696
		SUS <sub>2</sub>	22,80	6,63		
		SUS <sub>3</sub>	23,25	9,50		
		SUS <sub>4</sub>	23,80	13,13		

Fuente: Elaboración propia

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, presentada en la tabla 14, resalta que los sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* son estadísticamente similares en cuanto a la variable de temperatura del suelo, por las condiciones de similaridad en los efectos ya que la variación solo es en un grado, aunque se muestra que el mayor valor se encuentra en el método de uso de suelo con *T cacao* número cuatro, código SUS<sub>4</sub> con 23,80 °C, de acuerdo con Forsythe (2002), la T° del suelo influye en la elección de la temporada de cultivo, el desarrollo de las plantas y los microbios, así como en las características del suelo según su grado de meteorización. En este sentido, la diferencia de 1°C en los valores observados refleja cómo se desarrollan las plantas en temperatura ambiente variable, a diferencia de las condiciones constantes que se presentan en experimentos controlados. En términos generales, los sistemas de uso del suelo con *T. cacao* se sitúan dentro de los rangos normales de temperatura.

**Tabla 14.** Comparaciones post-hoc para la temperatura del suelo (°C).

Zonas de cultivo	Medianas (°C)	p> 0.05
SUS <sub>4</sub>	23,80	a
SUS <sub>3</sub>	23,25	a
SUS <sub>2</sub>	22,80	a
SUS <sub>1</sub>	22,65	a

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis

#### 4.1.2. Parámetros químicos

##### 4.1.2.1. pH

Los resultados logrados del análisis de variabilidad unidireccional para los métodos en la utilidad del suelo con *Theobroma cacao* con relación al pH indican que, con un nivel de confianza del 95%, hay prueba estadística que respalda la confirmación de que las medianas del pH para los cuatro sistemas en el caserío río Espino, distrito de Monzón, son diferentes. Esto implica que al menos uno de los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao* presenta diferencias significativas.

**Tabla 15.** Análisis de variancia para la reacción del suelo o pH.

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
pH	3	SUS <sub>1</sub>	5,20	14,50	9,86	0,0198
		SUS <sub>2</sub>	4,57	7,25		
		SUS <sub>3</sub>	4,63	8,00		
		SUS <sub>4</sub>	4,45	4,25		

Fuente: Elaboración propia

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, presentada en la tabla 16, sugiere que los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* presentan diferencias estadísticas relevantes en cuanto a la variable pH del suelo. El sistema con el mayor valor es el número uno, código SUS1, con un pH de 5,20. Según Osorio y López (2012), el pH es una propiedad importante en el suelo, ya que indica cuán acidificada o alcalinizada se encuentra en solución acuosa del suelo, ya que de eso dependen la parte radicular y los

microbios para obtener sus nutrientes.

El pH es un factor clave para la accesibilidad de nutrientes, ya que limita la nitrificación y la desintegración de la sustancia orgánica del suelo; además, si el pH es aún más bajo, el impacto se agrava. En esta investigación, el valor más alto encontrado indica que los suelos son ácidos. Osorio y López (2012) mencionan que, en estas zonas tropicales lluviosas, los suelos suelen tener parámetros de pH muy bajos ( $\leq 5,0$ ), lo que conlleva a una menor accesibilidad de Ca, Mg y K. Fassbender y Bornemisza (1994) añaden que el pH ideal en el crecimiento de las plántulas es de los rangos de 6,5 y 7,5; valores fuera de este rango pueden provocar problemas de toxicidad. Según los datos obtenidos, podemos concluir que las 4 clases de cultivo encuentran en suelos acidificados, por lo que sería necesario aplicar enmiendas correctivas para ajustar la acidez. Acevedo *et al.* (2005) subrayan que el análisis del pH es fundamental para una gestión más eficiente de la fertilización, la elección de las plantas más adecuadas y la lograr productos excelentes en cosechas.

**Tabla 16.** Comparaciones post-hoc para el pH del suelo.

Zonas de cultivo	Medianas (°C)	p> 0.05	
SUS <sub>1</sub>	5,20	a	
SUS <sub>3</sub>	4,63	a	b
SUS <sub>2</sub>	4,57		b
SUS <sub>4</sub>	4,45		b

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.2.2. Materia orgánica

Los resultados logrados después del análisis de variabilidad unidireccional sobre sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* con relación a la variable de sustancia orgánica del suelo indican que, con un nivel de confianza del 95%, hay prueba estadística que respalda la confirmación de que las medianas de sustancia orgánica en los cuatro sistemas del sector río Espino, en el distrito de Monzón, son iguales. Esto significa que al menos uno de los métodos de uso del suelo con *Theobroma cacao* es comparable a los demás.

**Tabla 17.** Análisis de variancia para la materia orgánica del suelo (%).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
Materia orgánica	3	SUS <sub>1</sub>	2,21	5,75	1,99	0,5749
		SUS <sub>2</sub>	2,62	8,75		
		SUS <sub>3</sub>	2,70	9,25		
		SUS <sub>4</sub>	3,04	10,25		

Fuente: Elaboración propia

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, presentada en la tabla 18, sugiere sobre los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* son estadísticamente equivalentes en cuanto a la variable de sustancia orgánica del suelo. Sin embargo, se observa un valor numérico más elevado en el sistema de uso con *Theobroma cacao* número cuatro, código SUS<sub>4</sub>, que alcanza un 3,04%. Según el Soil Survey Staff (1993), los sistemas de uso del suelo mencionados tienen un nivel medio de materia orgánica. Christensen (1996) señala que la materia orgánica está íntimamente relacionada con las características biológicas, fisicoquímicas del suelo, desempeñando el rol crucial en la aportación de nutrientes, por ello su conteo es importante para guiar prácticas de tratado de suelos más sostenibles. El resultado encontrado permite deducir que un nivel medio es manejable desde todo punto de vista, ya que se podría adicionar mediante abonamiento a las parcelas, además podríamos suponer que el resultado estaría ligado al pH. Además, Stevenson y Cole (1999) sostienen que cumple un rol importante en la formación y estabilidad de estructura del suelo, así como en la infiltración de agua, el crecimiento radicular y la resistencia al desgaste erosional. Esto se debe a que hay una degradación de estas propiedades que resulta ser irreversible, es importante en la sustentabilidad de los entornos de agricultura, tomar en cuenta la materia orgánica como fuente atrayente de bacterias nitrificantes y hongos descomponedores de la materia, son vitales en la fertilidad del suelo.

**Tabla 18.** Comparaciones post-hoc para materia orgánica del suelo (%).

Zonas de cultivo	Medianas (°C)	p> 0.05
SUS <sub>1</sub>	2,21	a
SUS <sub>2</sub>	2,62	a
SUS <sub>3</sub>	2,70	a
SUS <sub>4</sub>	3,04	a

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis

#### 4.1.2.3. Nitrógeno

El análisis de variabilidad unidireccional para la variable de N en el suelo sobre la utilización de sistemas de suelo con *Theobroma cacao*, realizado con un nivel de confianza del 95%, indica la existencia pruebas estadísticas suficiente para sostener que las medianas de los valores de nitrógeno en los cuatro sistemas del sector río Espino, en el distrito de Monzón, son iguales. Esto implica que al menos uno de los sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* es comparable a los demás.

**Tabla 19.** Análisis de variancia para nitrógeno del suelo (%).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
Nitrógeno	3	SUS <sub>1</sub>	0,11	6,00	1,70	0,6299
		SUS <sub>2</sub>	0,13	8,75		
		SUS <sub>3</sub>	0,13	9,00		
		SUS <sub>4</sub>	0,15	10,25		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 20 permite deducir que los métodos de utilización del suelo con *Theobroma cacao* en la variable nitrógeno del suelo son iguales estadísticamente, aunque se observa numéricamente un mayor valor en el método de uso de suelo con *T cacao* número cuatro, código SUS<sub>4</sub> con 0.15 %, de acuerdo con la Soil Survey Staff (1993) los sistemas de uso del suelo antes mencionadas tienen un nivel medio de nitrógeno, es posible que en los

métodos para el uso de suelo en sector Río Espino, distrito Monzón adicionen nitrógeno de distintas fuentes por las prácticas de manejo en *Theobroma cacao* que se viene sucediendo en las áreas por los proyectos productivos y eso condicione los resultados obtenidos.

Según Kotter y Schlesinger (2008) afirma que el N es el macroelemento más limitado en la producción de cultivos, también Derrick y Dumares (1999) señala que el nitrógeno es uno de los elementos más dinámicos del suelo, reaccionando veloz a diferentes tipos de manejo. Por otro lado, Ferrera y Alarcón (2001) afirman que el N es fundamental para el desarrollo de microorganismos y la descomposición de las sustancias orgánicas. Cuando esta última contiene un alto nivel de N, los microbios cuentan con los necesarios sustratos para acelerar la mineralización, ya que satisfacen por completo sus requerimientos en N, evitando que se convierta en un factor limitante. En cambio, si la cantidad de nitrógeno es baja, la tasa de desintegración de la sustancia orgánica disminuye considerablemente, y la mineralización del C orgánico dependerá de la adición de fuentes con nitrógeno. Por lo tanto, podemos concluir que los métodos de uso del suelo en el sector río Espino tienen suelos manejados de manera moderada.

**Tabla 20.** Comparaciones post-hoc para el nitrógeno del suelo (%).

Zonas de cultivo	Medianas (%)	p> 0.05
SUS <sub>1</sub>	0,11	a
SUS <sub>2</sub>	0,13	a
SUS <sub>3</sub>	0,13	a
SUS <sub>4</sub>	0,15	a

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.2.4. Fósforo

El análisis de variabilidad unidireccional en el caso de la variable de P en el suelo sobre los sistemas de utilización con *Theobroma cacao*, realizado con un nivel de confianza del 95%, revela la existencia de evidencias estadísticas que permite concluir que las medianas de los valores de fósforo en los cuatro sistemas del sector río Espino, en el distrito de Monzón, son iguales. Esto significa que al menos uno de los sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* es comparable a los otros.

**Tabla 21.** Análisis de variancia para el fósforo total del suelo (ppm).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
Fósforo	3	SUS <sub>1</sub>	3,71	8,50	6,19	0,1022
		SUS <sub>2</sub>	6,29	12,75		
		SUS <sub>3</sub>	3,54	8,38		
		SUS <sub>4</sub>	1,86	4,38		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 22 permite deducir que los métodos de uso de suelo con *Theobroma cacao* en la variable P del suelo son iguales estadísticamente, aunque se observa numéricamente un mayor valor en los sistemas de utilización de suelos con *Theobroma cacao* número dos, código SUS<sub>2</sub> con 6,29 ppm, Sharma *et al.* (2013) menciona que el P es un elemento importante para el desarrollo y fortalecimiento en el crecimiento de plantas. Por su parte, Lozano et al. (2012) subrayan que comprender la dinámica del P en el suelo facilita un manejo más eficaz de los fertilizantes fosfatados, lo que pone de relieve la necesidad de realizar una evaluación adecuada para identificar cuál de las fracciones predomina en un suelo particular. En este sentido, emplean métodos de fracciones secuenciales, como el sugerido por Zhou *et al.* (2013), para evaluar la predisposición del fósforo a largo plazo, mediano y corto. Además Navarro (2003) señala que la manera única de introducir P en el sistema es a través de la aplicación de sustancias fosfatadas, mientras que la eliminación puede darse por la sustracción en los granos cosechados y también por desgate erosional, lixiviación y escurrimiento, aunque esta última tiene menor relevancia. En caso de este estudio los valores colocan a cada una de las zonas de cultivo en un nivel entre bajo y muy bajo contenido de fosforo, por lo que una recomendación sería aportar fosforo a través de fertilizaciones a cada una de las zonas, teniendo en cuenta también el requerimiento nutricional de *Theobroma cacao*. La selva baja tiene suelos pobres por defecto debido a la alta precipitación y las practicas poco eficientes de la agricultura migratoria, retirada la cobertura vegetal los suelos aceleran su erosión.

**Tabla 22.** Comparaciones post-hoc para el fósforo total del suelo (ppm).

Zonas de cultivo	Medianas (°C)	p> 0.05
SUS <sub>1</sub>	3,71	a
SUS <sub>2</sub>	6,29	a
SUS <sub>3</sub>	3,54	a
SUS <sub>4</sub>	1,86	a

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.2.5. Potasio

El análisis de varianza unidireccional para la variable de potasio en el suelo de los métodos con *Theobroma cacao*, realizado con un nivel de confianza del 95%, indica que hay evidencia estadística que sugiere que las medianas de los datos obtenidos en cuanto al potasio en los cuatro sistemas del sector río Espino, en el distrito de Monzón, son iguales. Esto implica que al menos uno de los sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* es similar a los demás.

**Tabla 23.** Análisis de variancia para el potasio total del suelo (kg/ha).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
Potasio	3	SUS <sub>1</sub>	67,45	7,25	4,13	0,2483
		SUS <sub>2</sub>	55,56	5,25		
		SUS <sub>3</sub>	94,14	11,50		
		SUS <sub>4</sub>	69,60	10,00		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 24 permite deducir que los métodos de uso de suelo con *Theobroma cacao* en la variable potasio del suelo son iguales estadísticamente, aunque se observa numéricamente un mayor valor en el método de uso de suelo con *T cacao* número tres, código SUS<sub>3</sub> con 94,14 kg/ha, Según Navarro (2003), este nutriente es fundamental en todos los seres vivos. Se requieren cantidades significativas de este elemento en las plantas, similar a lo que necesitan de nitrógeno, según la Soil Survey Staff (1993), todos los sistemas de uso

del suelo con *Theobroma cacao* tienen un nivel de potasio muy bajo, Hernández et al. (1988) dice que el potasio es absorbido por las plantas en mayor cantidad a comparación de otros nutrientes minerales, con excepción del Nitrógeno. La cantidad que se extrae de K en un cultivo generalmente es menor que lo que se encuentra en el suelo. Según el USDA (2017), el K cumple un rol fundamental en la disminución del potencial osmótico del H<sub>2</sub>O en las células, lo que ayuda a minimizar la disminución acuosa mediante las hojas y mejora la capacidad de las células de las raíces para retener H<sub>2</sub>O a. Con los resultados obtenidos podemos decir dada la importancia de este macroelemento que los sistemas de uso del suelo no tienen un manejo adecuado que podría ser solucionado con un plan de abonamiento efectivo a las plantas.

**Tabla 24.** Comparaciones post-hoc para el potasio del suelo (kg/ha).

Zonas de cultivo	Medianas (°C)	p> 0.05
SUS <sub>1</sub>	67,45	a
SUS <sub>2</sub>	55,56	a
SUS <sub>3</sub>	94,14	a
SUS <sub>4</sub>	69,60	a

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.2.6. Capacidad de intercambio catiónico

El análisis de varianza unidireccional para la variable de Capacidad de Intercambio Catiónico efectivo del suelo sobre los sistemas de utilización con *Theobroma cacao*, realizado con un nivel de confianza del 95%, indica la existencia prueba estadística que respalda la afirmación de que las medianas de los valores obtenidos para esta capacidad son diferentes entre los cuatro sistemas en el caserío río Espino, distrito de Monzón son iguales, es decir al menos uno de los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao* es similar.

**Tabla 25.** Análisis de variancia para la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g suelo).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
CIC	3	SUS <sub>1</sub>	3,05	3,25	7,57	0,0559
		SUS <sub>2</sub>	4,55	8,50		
		SUS <sub>3</sub>	6,58	12,00		
		SUS <sub>4</sub>	5,71	10,25		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis demostrado en la tabla 26 permite deducir que los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao* en la variable habilidad de intercambio catiónico del suelo son iguales estadísticamente, aunque se observa numéricamente un mayor valor en el método de uso de suelo con *T cacao* número tres, código SUS<sub>3</sub> con 6.58 meq/100gr suelo, de acuerdo con la FAO (2022) las características químicas que afectan más significativamente la fortificación del suelo son el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el proporción de sustancia orgánica y la acidez, según la Soil Survey Staff (1993), todos los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* tienen un nivel de capacidad de intercambio catiónico bajo, aun añade la FAO (2022) un suelo con reducido CIC afirma baja capacidad en contenido de abono, arenoso y pobre en abono orgánico, en nuestro caso de suelos con materia orgánica entre muy bajo y bajo, factor que genera estos valores obtenidos.

Según Arévalo y Gauggel (2014), la relevancia de determinar la (CIC) radica en la idea de que el suelo actúa como una reserva y fuente de nutrientes. Esta capacidad se incrementa a medida que aumenta la CIC del suelo, ya que una mayor CIC sugiere una mayor posibilidad de retener iones nutritivos. Gracias a la CIC, las raíces de las plantas pueden obtener los minerales esenciales para su crecimiento. Por otro lado, Fassbender (1987) señala una de las características más significativas del suelo es la CIC, habiendo una relación entre la textura del suelo y su capacidad de intercambio; esta capacidad tiende a ser mayor en suelos de textura fina y menor en suelos de textura gruesa. Las arenas y margas arenosas suelen tener baja cantidad de arcilla coloidal y, por lo general,

son deficientes en humus, lo que resulta en suelos con bajos niveles de materia orgánica. Por lo tanto, es normal encontrar valores bajos de CIC en todos los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao*.

**Tabla 26.** Comparaciones post-hoc para la capacidad de intercambio catiónico del suelo (meq/100 g suelo).

Zonas de cultivo	Medianas (°C)	p> 0.05
SUS <sub>1</sub>	3,05	a
SUS <sub>2</sub>	4,55	a
SUS <sub>3</sub>	6,58	a
SUS <sub>4</sub>	5,71	a

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.2.7. Calcio

Los resultados, analizados a través de un análisis de varianza unidireccional sobre los sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* en relación con la variable de calcio del suelo, indican que, con un nivel de confianza del 95%, hay prueba estadística que permite observar que las medianas de la variable Ca del suelo son diferentes entre los cuatro sistemas en el caserío río Espino, distrito de Monzón. Esto implica que al menos uno de los tratamientos presenta diferencias significativas.

**Tabla 27.** Análisis de varianza para el calcio (meq/100g suelo).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
Calcio	3	SUS <sub>1</sub>	1,68	10,63	10,40	0,0559
		SUS <sub>2</sub>	1,47	6,75		
		SUS <sub>3</sub>	2,13	13,38		
		SUS <sub>4</sub>	1,19	3,25		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 28 permite deducir que los métodos de uso de suelo con *Theobroma cacao* en la variable

calcio del suelo son iguales estadísticamente, aunque se observa numéricamente un mayor valor en el sistema de uso de suelo con *T cacao* número tres, código SUS<sub>3</sub> con 2,13 meq/100g suelo, según Monge *et al.* (1994), el calcio es un elemento más común en la litosfera y su presencia en los suelos varía considerablemente, dependiendo en gran medida de la roca madre. De igual manera, Aparicio-Tejos *et al.* (2000) indica que el Ca es común en casi todos los suelos y pocas veces se considera un factor limitante, a excepción de los suelos acidificados, donde puede ser esencial incorporar sales de Ca. Los resultados obtenidos indican que hay una escasa disponibilidad de Ca en el suelo; cuando los cultivos presentan una baja cantidad de Ca, esto no solo representa un problema de disposición en el suelo, además, que también implica un déficit en cada parte de la planta.

Con lo obtenido según Sandoval *et al.* (2012) en general la utilización del calcio en forma de hidróxido sirve como método de estabilización para el mejoramiento de suelos ácidos, el suelo cambia considerablemente sus características, mejorando casi todas sus propiedades, de igual manera, Arun-Prasad *et al.* (1990) encontraron que la aplicación de carbonato de calcio en dosis bajas incrementó la materia seca en *Acacia* spp., mientras que en cantidades más elevadas redujeron el tamaño inicial de los vegetales. Por otro lado, Norris (1958) descubrió que el Ca promovía una adecuada nodulación a medida que se mantuviera a bajos niveles. Además, la adición de Ca podría ejercer un efecto inhibitorio al afectar negativamente a las familias de *Rhizobium*, lo que sugiere un antagonismo en la asimilación.

**Tabla 28.** Comparaciones post-hoc para el calcio del suelo (meq/100 g suelo).

Zonas de cultivo	Medianas (meq/100 g suelo)	p> 0.05		
SUS <sub>3</sub>	2,13	a		
SUS <sub>1</sub>	1,68	a	b	
SUS <sub>2</sub>	1,47		b	c
SUS <sub>4</sub>	1,19			c

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.2.8. Magnesio

El análisis de varianza unidireccional para la variable de magnesio (Mg) en el suelo de los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao*, realizado con un nivel de confianza del 95%, indica la existencia de evidencias estadísticas que respalda la afirmación de que las medianas de los valores de magnesio en los cuatro sistemas del sector río Espino, distrito de Monzón, son distintas.

**Tabla 29.** Análisis de varianza para el magnesio (meq/100g suelo).

Variable	GI	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
Magnesio	3	SUS <sub>1</sub>	0,17	8,63	7,81	0,0487
		SUS <sub>2</sub>	0,17	6,88		
		SUS <sub>3</sub>	0,31	13,75		
		SUS <sub>4</sub>	0,14	4,75		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 30 permite deducir que los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* en la variable magnesio del suelo son iguales estadísticamente, aunque se observa numéricamente un mayor valor en el sistema de uso de suelo con *T cacao* número tres, código SUS<sub>3</sub> con 0,31 meq/100gr suelo, comprobando esto que es un suelo con niveles de magnesio en un nivel bajo según la Soil Survey Staff (1993). De acuerdo con Tisdale y Nelson (1993) refiere que el magnesio forma parte de la molécula de clorofila, siendo fundamental en el proceso de fotosíntesis para la producción de carbohidratos, así mismo está relacionado con el nivel de K y la T° del suelo (Singh y Pathak, 2003). Según Vistoso y Martínez (2020) el magnesio resulta para las plantas un macronutriente que frecuentemente no se considera en el plan de fertilización y que puede restringir el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos agrícola, bajos niveles de magnesio en el suelo pueden generar deficiencias hasta en los animales. Así, en suelos que tienen un bajo contenido de magnesio, la aplicación de potasio puede provocar una deficiencia de este nutriente. Asimismo, se ha comprobado que las temperaturas bajas del suelo en la región de las raíces disminuyen la absorción de magnesio (Ross, 2006). Por lo tanto, en suelos con un bajo nivel de Mg, la

aplicación de K puede contribuir a una deficiencia de este nutriente. Además, las temperaturas bajas en el área radicular también evidenciaron una reducción en la absorción de Mg (Ross, 2006).

**Tabla 30.** Comparaciones post-hoc para el magnesio del suelo (meq/100 g suelo).

Zonas de cultivo	Medianas (meq/100 g suelo)	p> 0.05	
SUS <sub>3</sub>	0,31	a	
SUS <sub>1</sub>	0,17	a	B
SUS <sub>2</sub>	0,17		B
SUS <sub>4</sub>	0,14		B

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.2.9. Conductividad eléctrica

El análisis de varianza unidireccional para la variable de conductividad eléctrica del suelo en los sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao*, realizado con un nivel de confianza del 95%, revela la existencia de evidencia estadística suficiente para concluir que las medianas de los datos obtenidos para el fulgo eléctrico en los cuatro sistemas del sector río Espino, distrito de Monzón, son distintas.

**Tabla 31.** Análisis de varianza para la conductividad eléctrica (meq/100g suelo).

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p≤= 0.05
Conductividad eléctrica	3	SUS <sub>1</sub>	68,50	9,38	8,37	0,0388
		SUS <sub>2</sub>	64,00	8,00		
		SUS <sub>3</sub>	88,50	13,13		
		SUS <sub>4</sub>	31,00	3,50		

Fuente: Elaboración propia

Realizada la medida no paramétrica de Kruskal-Wallis demostrado en la tabla 32 permite deducir que los sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* en la variable conductividad eléctrica del suelo son iguales estadísticamente, aunque se observa numéricamente un mayor valor en el método de uso de suelo con *T cacao* número tres,

código SUS<sub>3</sub> con 88,50 meq/100g suelo, al respecto Bosch (2012) indica que la CE del suelo es la habilidad para conducir el flujo eléctrico, dicha característica está determinada por el número de iones positivos y negativos presentes en la solución del suelo. Por esta razón, la conductividad eléctrica de la solución del suelo sirve como un marcador de la composición de salinidad.

Tarr *et al.* (2005) señala que esta medida se ve dañado por la mezcla del contenido acuoso en el suelo, las sales disueltas, la cantidad de arcillas, los minerales y la temperatura del suelo. Por otro lado, Peralta *et al.* (2013) indica que la conductividad eléctrica está determinada por un grupo de características fisicoquímicas del suelo, de igual manera como la textura, la composición de la sustancia orgánica, la humedad, la habilidad de intercambio catiónico, el pH, la salinidad y los niveles de Calcio<sup>+2</sup> y Magnesio<sup>+2</sup>, así como distintos tipos de suelos, entre otros factores.

**Tabla 32.** Comparaciones post-hoc para la conductividad eléctrica (meq/100 g suelo).

Zonas de cultivo	Medianas (meq/100 g suelo)	p> 0.05	
SUS <sub>3</sub>	88,50	a	
SUS <sub>1</sub>	68,50	a	b
SUS <sub>2</sub>	64,00	a	b
SUS <sub>4</sub>	31,00		b

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis*

#### **4.2. Determinar la condición del suelo con la metodología del subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) en cuatro sistemas de uso con cultivo de *Theobroma cacao***

La condición del suelo se evaluó por medio del subíndice de uso sostenible del suelo para los cuatro sistemas de uso, utilizando el método propuesto por SAGARPA (2012). Esta metodología genera un subíndice para cada sistema, facilitando así la comparación entre los diferentes sistemas en el caserío río Espino, distrito de Monzón. Este método se basa en marcadores fisicoquímicos relacionados con la clase del suelo, calculando un promedio proporcional de sus valores normalizados (los valores medidos en diversas escalas se convierten a una escala común) para cada marcador del suelo.

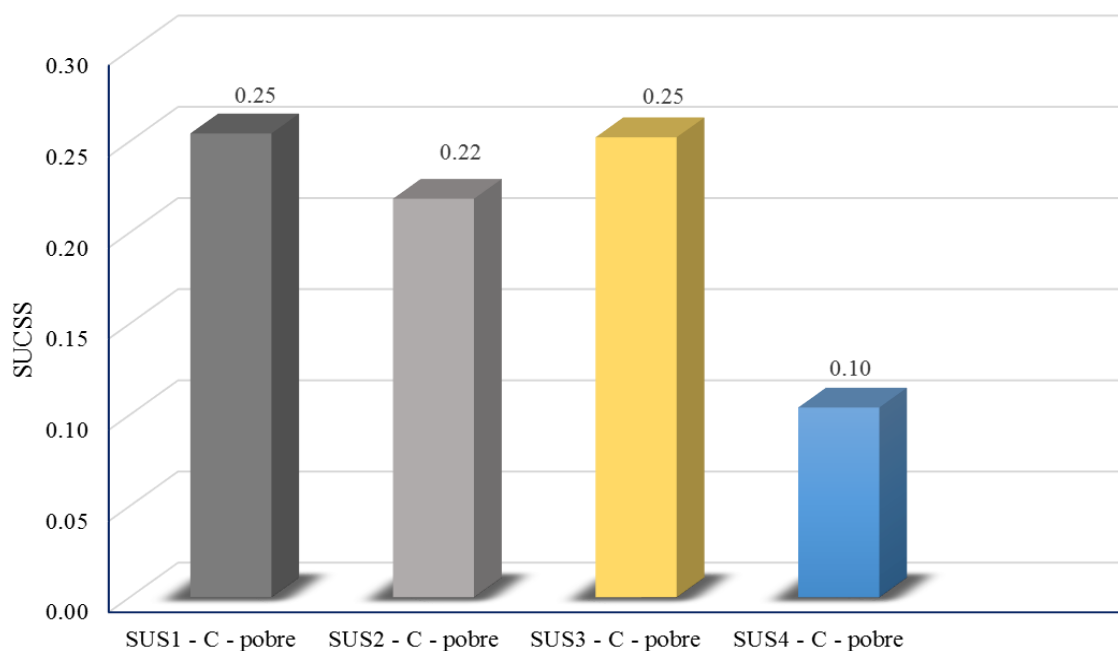
Los resultados arrojaron que el mayor valor en el sistema de uso de suelos número uno con código SUS<sub>1</sub> con 0,25, así mismo comparte el mismo valor el sistema de uso del suelo número tres con código SUS<sub>3</sub> también con 0,25, este sistema se clasifica como de calidad "pobre", lo que indica que los parámetros medidos en los sistemas están lejos de los valores óptimos. Asimismo, el sistema de uso del suelo número dos, con código SUS<sub>2</sub>, y el sistema número cuatro, con código SUS<sub>4</sub>, presentan valores que oscilan entre 0,10 y 0,22, también clasificándose como "pobre". En estos casos, los estándares de calidad están alejados de los rangos óptimos, por ende, sugiere que la calidad del suelo utilizados en agricultura está en riesgo (tabla 33 y Figura 2).

**Tabla 33.** Rangos interpretativos del Subíndice de la utilización sostenible de SUSS para la capacidad del suelo.

<b>Sistemas de uso</b>	<b>SUCSS</b>	<b>Calidad</b>
SUS1	0,25	Pobre
SUS2	0,22	Pobre
SUS3	0,25	Pobre
SUS4	0,10	Pobre

Fuente: Elaboración propia

La investigación sobre el impacto de los métodos de uso en las características físico - químicas del suelo, llevada a cabo por Rivera (2018) utilizando el método SUSS, reveló que el sistema Bosque tiene una clase sensible (0,75); cacao presenta una calidad marginal (0,60); papaya también es marginal (0,52); palta (0,49) y plátano (0,50) son marginales; mientras que el sistema ex cocal se clasifica como de calidad pobre (0,25). Por otro lado, el estudio titulado "Uso sostenible del suelo en diferentes sistemas de cultivo en el distrito de Padre Felipe Luyando – Naranjillo", realizado por Yaros (2016), afirma que el cacao tiene un SUSS sensible (0,65), mientras que los plátanos, bosques secundarios y cítricos tienen un SUSS marginal (0,59, 0,56 y 0,50). Finalmente, el ex cocal y cocal presentaron un SUSS pobre (0,41 y 0,38).



**Figura 2.** Calidad del suelo mediante el método subíndice de utilización sustentable SUSS.

En resumen, se concluye que los cuatro sistemas de utilización del suelo en el sector río Espino han sido perjudicados por el deterioro constante debido a años de cultivo de hoja de coca y el uso de elementos tóxicos que impactaron en las características del suelo. Además, también se vieron afectados por las condiciones ambientales, como la precipitación alta, lo que provocó un lavado de abonos y la acidez del suelo, y otros efectos.

#### **4.3. Relacionar las características fisicoquímicas que más afectan en la capacidad del suelo con cultivo de *Theobroma cacao***

La matriz de correlación de Spearman se emplea principalmente en la evaluación de datos. Este coeficiente evalúa la fuerza y la dirección de la relación entre 2 variables categóricas, mostrando los pares combinados de cada una de las características químicas y físicas del suelo sobre los cuatro métodos de utilización del suelo en el caserío río Espino, distrito de Monzón (tabla 34), donde:

**Tabla 34.** Matriz de correlación de Spearman para las propiedades físicas y químicas del suelo sobre los cuatro sistemas de utilización con T de uso con *Theobroma cacao*.

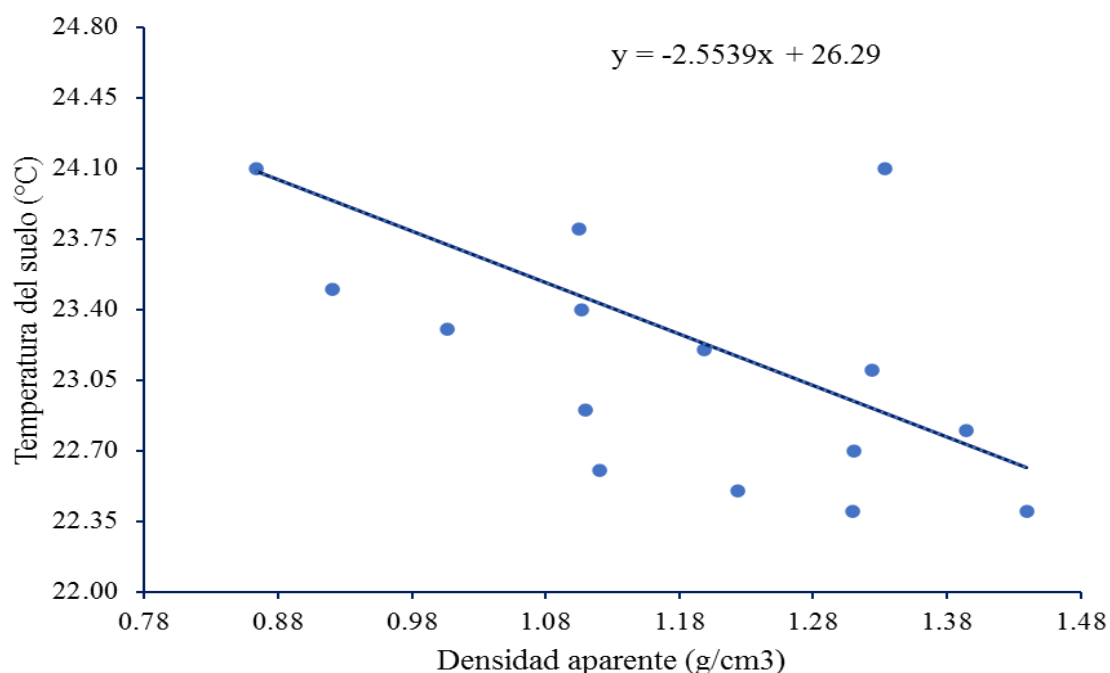
Variable	Da	Rps	T°	pH	Mo	N	P	K	CIC	Ca	Mg	Ce
<b>Da</b>	1	-0,44	0,60*	0,32	0,02	-0,01	0,70*	-0,05	-0,19	0,45	0,33	0,52*
<b>Rps</b>	-0,44	1	0,26	-0,36	0,15	0,14	-0,22	0,37	0,37	-0,30	-0,18	-0,27
<b>T°</b>	0,60*	0,26	1	-0,49*	0,31	0,34	-0,28	0,11	0,34	-0,46	-0,22	-0,29
<b>pH</b>	0,32	-0,36	-0,49*	1	-0,12	-0,09	0,25	0,01	-0,41	0,64	0,44	0,36
<b>Mo</b>	0,02	0,15	0,31	-0,12	1	0,99*	0,15	0,20	0,14	0,01	0,24	-0,10
<b>N</b>	-0,01	0,14	0,34	-0,09	0,99*	1	0,15	0,15	0,15	0,02	0,26	-0,12
<b>P</b>	0,70*	-0,22	-0,28	0,25	0,15	0,15	1	0,15	-0,16	0,28	0,30	0,32
<b>K</b>	-0,05	0,37	0,11	0,01	0,20	0,15	0,15	1	0,20	0,18	0,15	0,33
<b>CIC</b>	-0,19	0,37	0,34	-0,41	0,14	0,15	-0,16	0,20	1	0,11	0,27	0,14
<b>Ca</b>	0,45	-0,30	-0,46	0,64	0,01	0,02	0,28	0,18	0,11	1	0,91*	0,65*
<b>Mg</b>	0,33	-0,18	-0,22	0,44	0,24	0,26	0,30	0,15	0,27	0,91*	1	0,51*
<b>Ce</b>	0,52*	-0,27	-0,29	0,36	-0,10	-0,12	0,32	0,33	0,14	0,65*	0,51*	1

Variables: Da, densidad aparente; Rps, resistencia a la penetración del suelo; T°, temperatura; pH; MO; materia orgánica, P; fósforo, K; potasio, CIC; capacidad de intercambio cationico, Ca; Calcio, Mg; magnesio, Ce; conductividad eléctrica. \*Indica correlación.

Según Juarixje et al. (2013) aducen que los sistemas agrícolas tradicionales en todo el mundo siempre se han caracterizado por el manejo intensivo de la tierra, lo que se deriva en una afectación a la capacidad del suelo. De acuerdo con Torres et al. (2006) esa afectación se produce en los parámetros físicas y químicas, esto, a su vez, impacta la

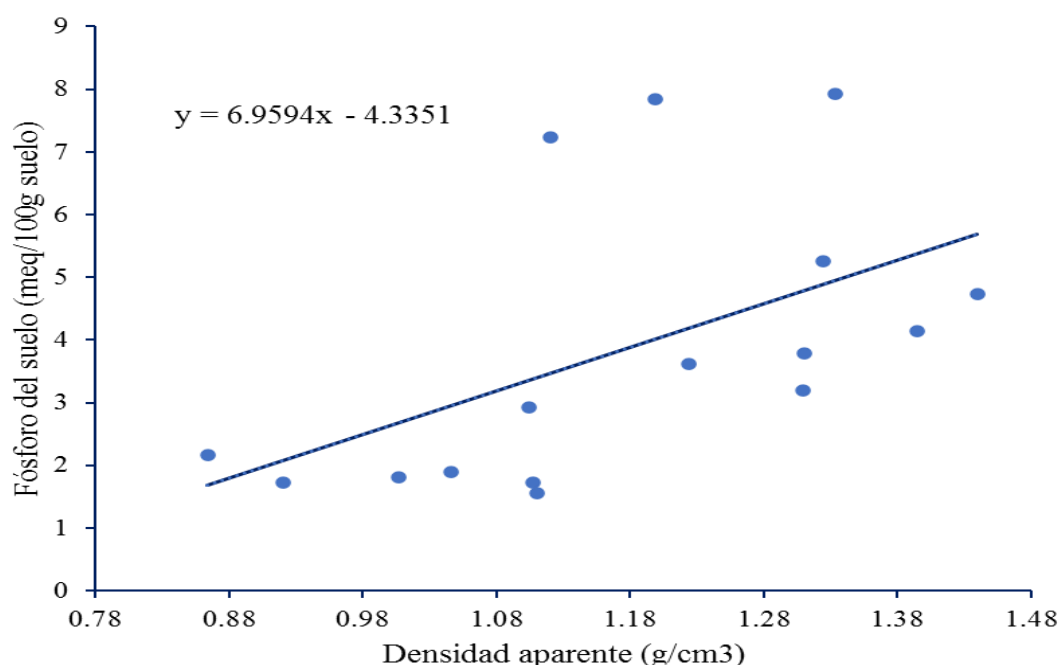
actividad biológica, dado que los microorganismos son sensibles a las variaciones en la calidad del suelo, evaluar las relaciones entre ellas permite conocer la respuesta del suelo al cultivo.

En la presente investigación se halló una conexión lineal desfavorable estadísticamente relevante, fuerte moderada débil ( $p$ -valor 0,0144), entre la densidad aparente y la  $T^\circ$  del suelo en los sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* (figura 3), con un valor de -0.60. según Salamanca (2005) principalmente las practicas del manejo de suelo están relacionas con la densidad aparente, ya que es una propiedad física , ampliamente utilizada en cultivos agrícolas, en tanto que la temperatura del suelo es un factor fundamental por las características cambiantes que presenta y las horas sol que pueda ocurrir, haciendo que se produzcan efectos en la siembra, germinación y la rol de los microorganismos de los suelos, así mismo según Stine y Weil (2002) La densidad aparente se ve afectada tanto por las partículas duras como por el espacio poroso, que a su vez está esencialmente influenciado por la materia orgánica del suelo. Esto significa que, si el espacio poroso aumenta, la temperatura disminuye, y lo contrario también es cierto.



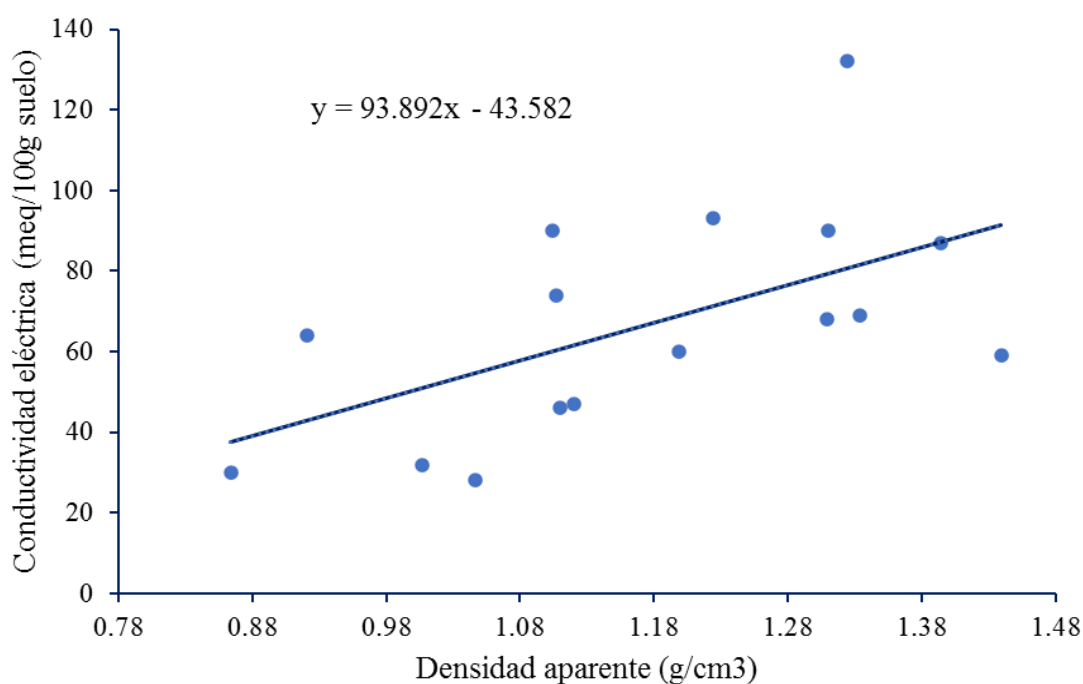
**Figura 3.** Correlación de la densidad aparente versus la temperatura sobre los cuatro sistemas de utilización del suelo.

En el estudio se halló una relación lineal positiva estadísticamente significativa, fuerte moderada (p-valor 0,0023), entre la densidad aparente y el P (fosforo) del suelo en los sistemas de utilización del suelo *con Theobroma cacao* (figura 4), con un valor de 0,70. Al respecto Cazorla et al. (2017) aduce que la densidad aparente es una propiedad física de los suelos que más impacto tienen en la productividad de los cultivos están fuertemente relacionadas con otras características del suelo. Además, Wolf y Snyder (2003) afirman que, además de la materia orgánica y la textura, la variación de la densidad aparente está vinculada a las prácticas agrícolas en una parcela, al respecto podemos afirmar que las prácticas agrícolas con anterioridad sobre los cuatro sistemas de utilización del suelo han deteriorado sobremanera el suelo, con la llegada de los proyectos alternativos empezó un proceso de recuperación a través de fertilización a los cultivos que se instalan, esto se materializa sobre los sistemas de utilización del suelo con *Theobroma cacao* en la utilización de roca fosfórica dentro del plan de fertilización de *Theobroma cacao* haciendo combinaciones de acuerdo al cultivo, no siendo la excepción el cultivo de *Theobroma cacao*.



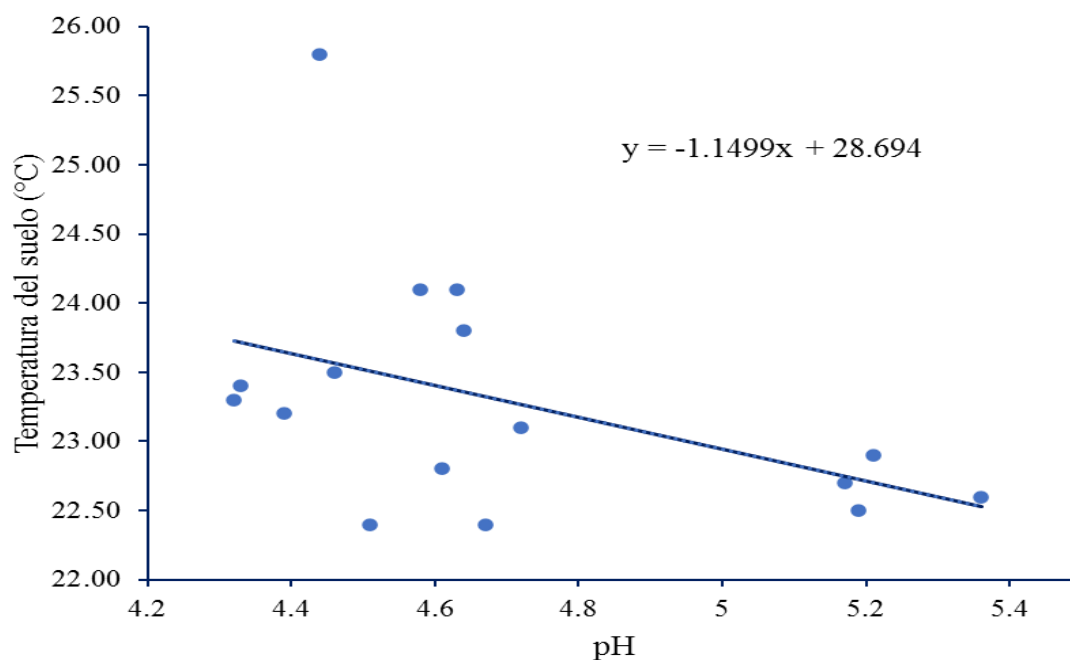
**Figura 4.** Correlación de la densidad aparente versus el P (fosforo) sobre cuatro sistemas de la utilización del suelo.

Mediante la evaluación de correlación de Spearman se encontró una relación lineal positiva estadísticamente significativa, relevante moderada (p-valor 0,0398), entre la densidad aparente y la CE (conductividad eléctrica) sobre los métodos de utilización del suelo *con Theobroma cacao* (figura 5), con un valor de 0,52. al respecto Peralta *et al.* (2013) argumenta que la CE se ve afectada por un conglomerado de características físico-químicas del suelo, que incluyen la textura, la composición de la sustancia orgánica de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, salinidad, humedad y pH, así como las concentraciones de Calcio+2 y Magnesio+2, y los distintos tipos de suelo, entre otros factores, esta propiedad química tiene que ver con la composición de la sustancia de manera indirecta ya que la densidad aparente depende del material sólido que lo compone, en nuestro caso suelos arcillosos con materia orgánica media permiten un desempeño del cultivo de *Theobroma cacao* con ciertas deficiencias, encontrando que están relacionadas en una proporción aceptable, la zona de río Espino con una fisiografía ondulada y presencia de suelos con arcillas con buenas prácticas agrícolas se puede mejorar los valores para la correlación entre estas dos variables que representaría el éxito de este cultivo en la zona.



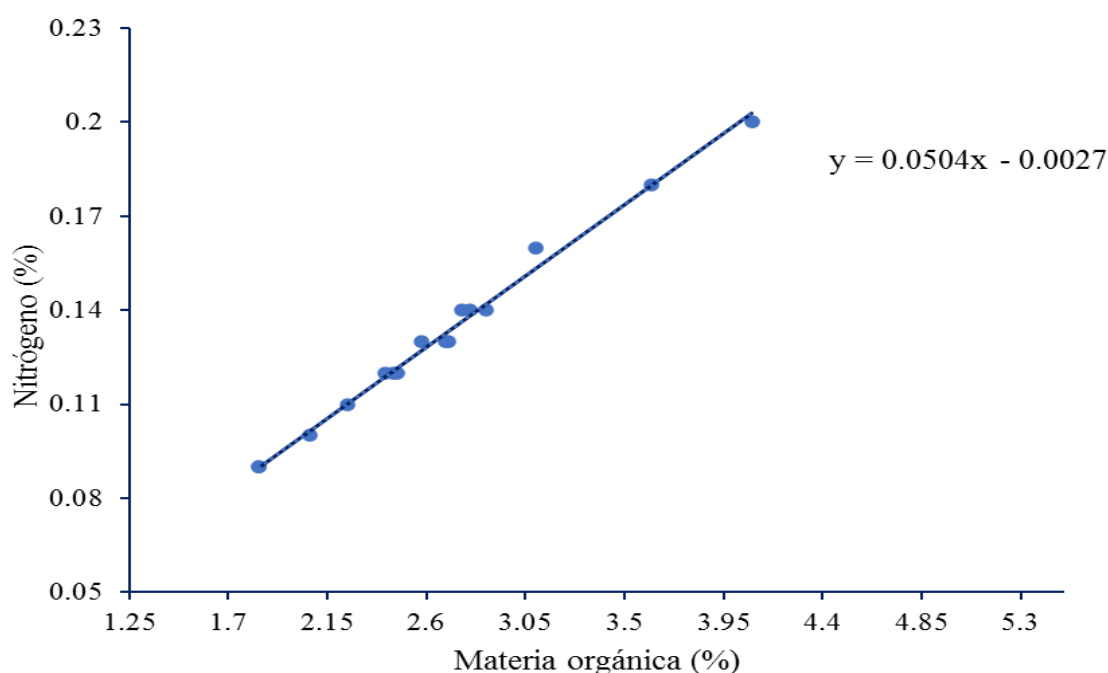
**Figura 5.** Correlación de la densidad aparente versus la conductividad eléctrica en los sistemas de la utilización del suelo.

En la investigación se halló una conexión desfavorable estadísticamente relevante, débil (p-valor 0,0050), entre pH y la T° del suelo en los métodos de utilización en el suelo *con Theobroma cacao* (figura 6), con un valor de -0.49, de acuerdo con el resultado obtenido podemos relacionar la temperatura con el pH a través del rol microbiano en el suelo ya que según Jenkinson (1992), Los elementos que afectan el rol microbiano, como la T°, el pH, la humedad, la concentración de O<sub>2</sub>, los nutrientes inorgánicos y el acceso al abono, cumple un papel primordial en la desintegración de las materias orgánicas. Se ha comprobado que el pH del suelo y las disoluciones acuosas con nutrientes establecen la solubilidad de estos. En suelos con un pH entre 4.0 y 5.0, considerados altamente ácidos, la solubilidad de minerales como el Al, F y el Mg aumenta, lo que puede resultar tóxico en los vegetales. Además, altas temperaturas agravan este problema. Los cultivos suelen enfrentar deficiencias nutricionales cuando el pH se encuentra fuera del parámetro permitido. En general, la zona donde se estudió el impacto de los sistemas de uso del suelo está en un área de selva alta, donde el clima tiene una gran influencia. Factores climáticos como la T°, la precipitación, los rayos solares y las variaciones estacionales afectan el pH del suelo; por ejemplo, una lluvia excesiva puede lavar los nutrientes cruciales de la capa arable. Muchos nutrientes, como los carbonatos de calcio, son esenciales y su pérdida del suelo provoca una mayor acidez.



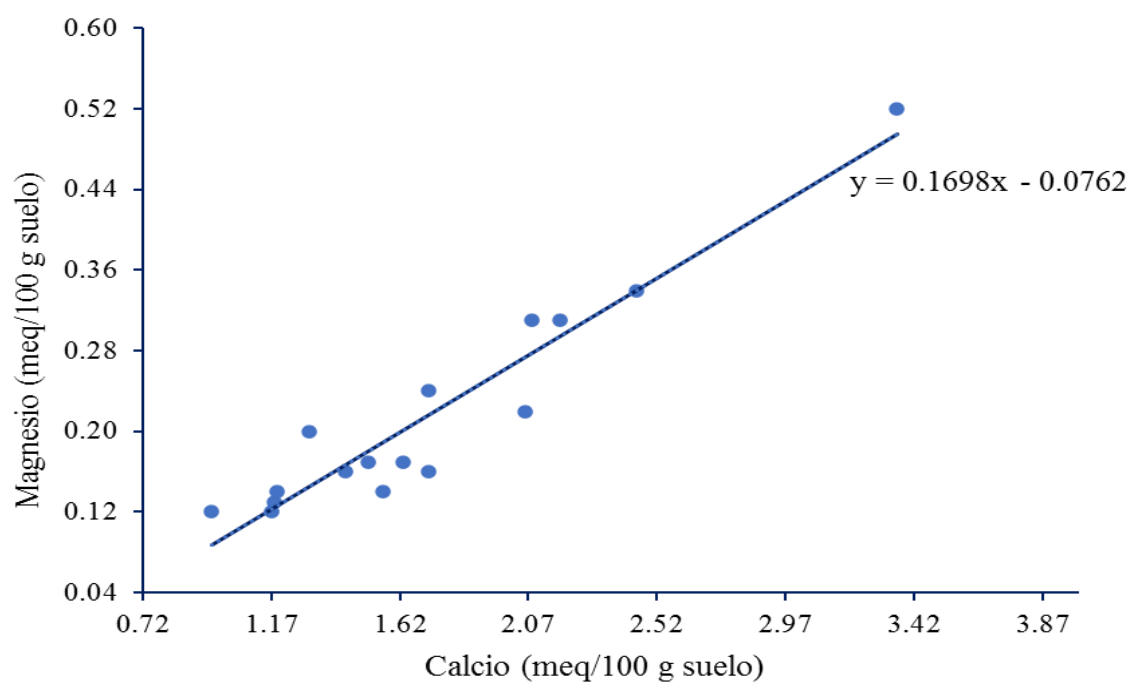
**Figura 6.** Correlación del pH versus la T° sobre los cuatro sistemas de utilización del suelo.

En la investigación se halló una relación lineal favorable estadísticamente significativa, entre fuerte y perfecta (p-valor 0,0001), entre la sustancia orgánica y el nitrógeno de los suelos en los sistemas de la utilización del suelo *con Theobroma cacao* (figura 7), con un valor de 0,99, Según Wan *et al.* (2021) La sustancia orgánica tiene asociación con los que es la acidez del suelo porque reduce el crecimiento microbiano del suelo lo que reduce aún más la estabilidad espacial de los suelos agrícolas.



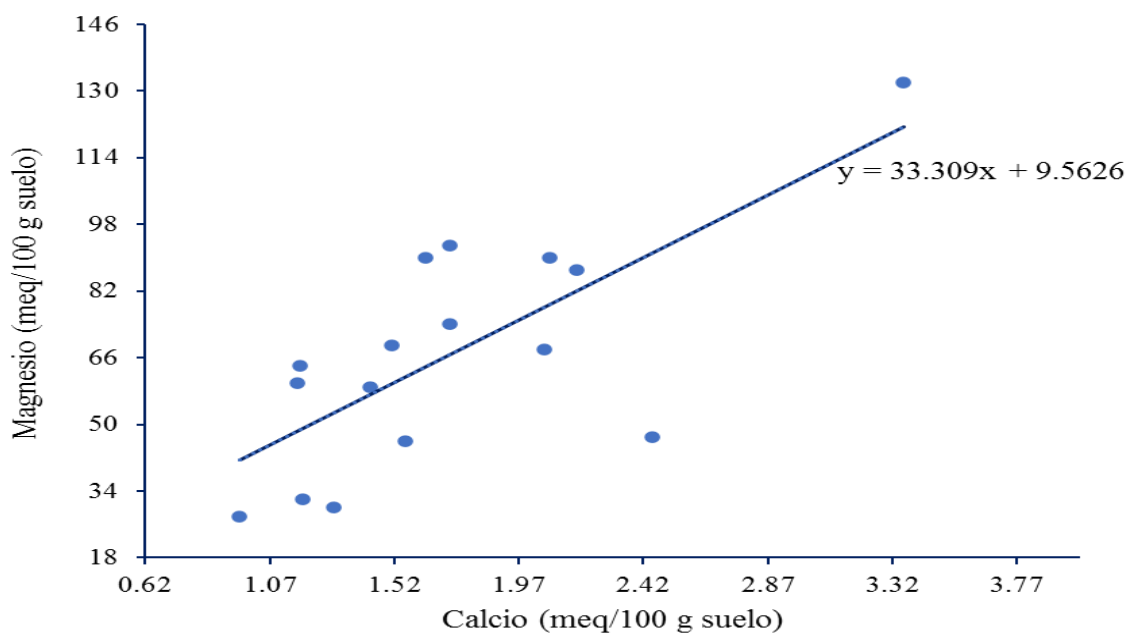
**Figura 7.** Correlación de la materia orgánica versus el nitrógeno sobre cuatro sistemas de utilización de los suelos.

Se detectó una conexión lineal favorable y estadísticamente relevante, fuerte y casi perfecta (p-valor 0,0001), entre el contenido de C y Mg en el suelo de los sistemas de cultivo de *Theobroma cacao*, con un valor de 0,91 (Figura 8). Brady y Weil (2002) indican que el calcio cumple un rol crucial en las estructuras de los suelos, siendo el catión predominante en su complejo, excepto en suelos ácidos donde el aluminio es el catión principal. Cuando el nivel de calcio alcanza su umbral crítico, se incrementa el contenido de metales como Mg, Manganeso y Zinc en la solución del suelo, lo que puede llegar a niveles tóxicos e inhibir el crecimiento de los cultivos. Además, mencionan que, para asegurar una buena nutrición, la relación óptima es de 1/1 a 15/ 1.



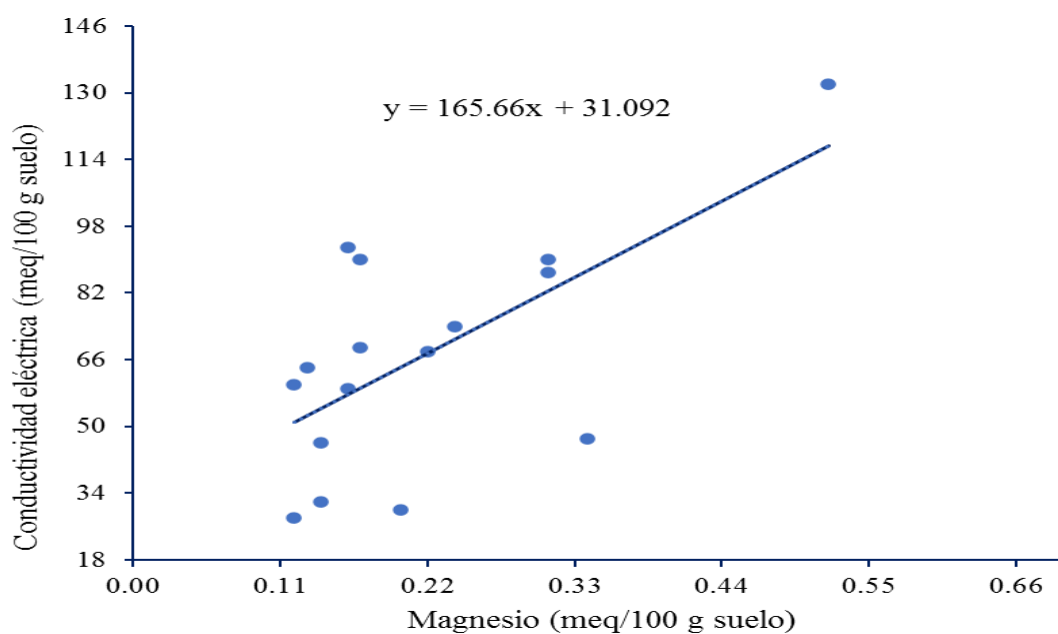
**Figura 8.** Correlación del calcio versus el magnesio sobre los cuatro sistemas de utilización del suelo.

Se halló una relación lineal positiva estadísticamente significativa regular (p-valor 0,0066), entre las variables calcio del suelo y la CE en los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* con un valor de 0,51 (Figura 9). Según Parr *et al.* (1992), diversas propiedades, biológicas y fisicoquímicas intervienen de forma elaborada, y entender esta interacción es fundamental, con el fin de promover la sostenibilidad y aumentar la habilidad productora de los suelos. En este sentido, Corwin *et al.* (1999) indica que la conductividad eléctrica está afectada por la composición acuosa, del contenido arcillosos y la composición de iones sustitutos en el suelo, o como sucede en la investigación los suelos van de arcillosos a Franco arcillosos y se vería hasta normal encontrar este tipo de relación entre estas dos variables.



**Figura 9.** Correlación del calcio versus la CE “conductividad eléctrica” sobre la utilización de los cuatro sistemas del suelo.

Se halló una relación lineal positiva estadísticamente significativa, entre moderada y fuerte (p-valor 0,0417), entre las variables Mg del suelo y la CE en los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* con un valor de 0,51 (Figura 10).



**Figura 10.** Correlación del magnesio versus la CE (conductividad eléctrica) sobre los cuatro sistemas de utilización de suelos

Bárbaro et al. (s.d) señala que la conductividad eléctrica se refiere a la habilidad de un elemento para transmitir el flujo eléctrico; su valor en mayor cuanto más fluida sea la circulación de la corriente a través de él. Esto implica que a la medida que la conductividad eléctrica aumenta, también lo hace la concentración de sales, este valor supone que existe una buena relación entre estas dos variables, es decir en los suelos de río Espino hay presencia de sales que están influenciando en los valores de la conductividad eléctrica, Soriano (2018) refiere que los sulfatos, magnésicos y sódicos, debido a su gran solubilidad, son muy peligrosos, estando presentes no sólo en el extracto del suelo. Rueda *et al.* (2011), añade de que el exceso de salinidad en los suelos lleva a su degradación y afecta a la productividad agrícola, además los serios problemas derivados de prácticas agrícolas inapropiadas contribuyen a una baja producción en diversos cultivos.

## V. CONCLUSIONES

1. Los sistemas de suelo con *Theobroma cacao* muestra una consistencia entre franco a franco arcillosa, el mayor valor en densidad aparente en el SUS<sub>2</sub>, el SUS<sub>4</sub> tuvo valores resistentes a la penetración, pH ácido, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y conductividad eléctrica con niveles bajo.
2. La calidad del suelo a través del índice de uso sostenible en cuatro sistemas de cultivo del *Theobroma cacao* corresponde a un suelo de calidad pobre.
3. La correlación lineal de Spearman muestra una relación significativa de las características fisicoquímicas evaluadas.

## VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Efectuar investigaciones incluyendo más indicadores fisicoquímicos, así como también los microbiológicos del suelo que sean evaluados en temporada seca y lluviosa.
2. Realizar estudios sobre la respuesta de la calidad en el suelo al emplear un plan de fertilización en todas las zonas de cultivo de *Theobroma cacao*.
3. Incluir especies forrajeras como el kudzu o maní forrajero para incorporar materia orgánica y nutrientes en el suelo, mediante el aporte de hojas de estos y adhesión de nitrógeno atmosférico.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo, E., Carrasco, M., León, O.; Silva, P., Castillo, G., Ahumada, I., Borie, G., González, S. (2005). Informe de criterios de calidad de suelo agrícola. Servicio Agrícola y Ganadero, Chile. 205 pp. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/>).
- Acevedo, J., Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. Serie ciencias agronómicas. [https://www.researchgate.net/publication/242377598\\_Sistema\\_de\\_Labranza\\_y\\_Productividad\\_de\\_los\\_Suelos](https://www.researchgate.net/publication/242377598_Sistema_de_Labranza_y_Productividad_de_los_Suelos).
- Altieri, M. (1997). Agroecología; Bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo. 2ed. Lima, Perú.
- Aparicio-Tejos, P., C. Arrese-Igor & M. Becama. (2000). Fijación de nitrógeno. In: J. Azcon-Bietos y M. Talón (eds.). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Mc Graw Hill. Barcelona. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=604625&pid=S1316-3361200300020000400001&lng=es](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=604625&pid=S1316-3361200300020000400001&lng=es).
- Arévalo, G. E., M. Sánchez. (2014). Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos de Zamorano. Documento Interno de trabajo. Zamorano, Honduras. 10 p.
- Arun-Prasad, N., T. K. Kapoor, P. Khatin, J. Chouham & A. Bhowmick. (1990). Effect of salts on the soil reaction and growth and dry matter yield of *Leucaena leucocephala* and *Acacia auriculiformis* in pot cultures. *Indian Forests* 116 (3): 227-232.
- Azañero, A. L., Ñique, A. M. & Florida, R. N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. Artículo original. *Revista Tayacaja* 3(1). ISSN: 2617 – 9156, 112 – 125. DOI: <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>.
- Azañero, A. L. (2016). Calidad del suelo en tres sistemas de uso en la localidad de río Espino - Monzón. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú.
- Bárbaro, L., Karlanian, M., Mata, D. (s.d). Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para las plantas. INTA. 11p.

[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf).

- Barrezueta, S., PAZ, A., Chabla, C. (2017). Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro-Ecuador. Ecuador. 3(1).
- Bautista, C., Etchevers, B., Del Castillo, R., Gutiérrez, C. (2004). La calidad de los suelos y sus indicadores. <http://www.aeet.org/ecosistema/>.
- Bazán, R. (1996). Manual para el Análisis Químico de Suelos, Aguas, Plantas. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina, Fundación para el Desarrollo Agrario.
- Bosch Mayol, M. (2012). Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. Ciencia del suelo, 30(2). [https://www.researchgate.net/profile/Virginia-Aparicio/publication/285773017\\_Relationship\\_between\\_spatial\\_variability\\_of\\_electrical\\_conductivity\\_and\\_soil\\_sodium\\_content/links/5b97ef60a6fdcc59bf85db21/Relationship-between-spatial-variability-of-electrical-conductivity-and-soil-sodium-content.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Virginia-Aparicio/publication/285773017_Relationship_between_spatial_variability_of_electrical_conductivity_and_soil_sodium_content/links/5b97ef60a6fdcc59bf85db21/Relationship-between-spatial-variability-of-electrical-conductivity-and-soil-sodium-content.pdf) .
- Brady, N and Weil, R. (2002). Soil acidity: Calcium and Magnesium as plant nutrients Cap 9:11 pg. 404- 410.
- Calderón, F. (1999). Metodologías para el análisis químico del suelo. Labs.
- Carbajal, Y., Escobar, J., Samboni, N. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímico como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación. Bogotá, Colombia.
- Cazorla, C. R., De Battista, J. J., Ferrari, M. C., Gudelj, O. E., Quiroga, A., Sasal, M. C., . . . Wilson, M. G. (2017). Protocolo básico común: Estructura del suelo. Web. [https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig\\_031c5a31fc30e916d981d8aa155ad019](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig_031c5a31fc30e916d981d8aa155ad019).
- Chen, Z. (2000). Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. FFTC. <http://www.fftc.agnet.org/>.
- Christensen, B.T. (1996). Physical fractionation of soil and organic matter in primary

particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.* 20:2-38.  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=246210&pid=S0365-2807200200020001100005&lng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=246210&pid=S0365-2807200200020001100005&lng=es).

Cobeñas, A., & Guerrero, J. (2018). Caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante variación del ácido y temperatura [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Tumbes. En Repositorio UnTumbes.

[http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/UNITUMBES/1042/QUILICHE CABANILLAS%20IRMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/UNITUMBES/1042/QUILICHE%20CABANILLAS%20IRMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Comision Nacional para el Desarrollo y Vida Sin Drogas [DEVIDA]. (2015). Estrategia de Desarrollo Alternativo Integral y Sostenible. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2015/huanuco/eer-huanuco-2015-isla.pdf>

Corwin, D.L.; Loague, K.; Ellsworth, T.R. (1999). Introduction: Assessing non-point source pollution in the vadose zone with advanced information technologies. In: Corwin, D.L.; Loague, K.; Ellsworth, T.R. eds. *Assessment of Nonpoint Source Pollution in the Vadose Zone*. Geophysical Monograph Series. Vol. 108. AGU, Washington, D.C., USA, p.1- 20.

Daza, J. (2018). Evaluación de indicadores de calidad del suelo y carbono orgánico en dos sistemas de uso de la tierra en el distrito Rupa Rupa – Tingo María. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú.

Decreto N° 3516. (2003). Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Quito, Ecuador.

Delgado, R., España, M. (1999). Evaluación de la biomasa microbiana por los métodos fumigación-incubación y fumigación-extracción y su relación con la disponibilidad de nitrógeno en suelos de Venezuela. Instituto de Investigaciones en Recursos Agroecológicas. Apdo. 4846. Maracay 2101. Estado Aragua. Venezuela.

Derrick, J. W. and D. C. Dumaresq. (1999). Soil properties under organic and conventional management in southern New South Wales. *Aust. J. Soil Res.* 37:

1047-1055.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&pid=S0187-5779201100030032500009&lng=en](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0187-5779201100030032500009&lng=en).

Doran, J., Lincoln, N. (1999). Guía para la evaluación de la calidad del suelo. USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi>).

Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

Fassbender, H. (1987). Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2ed. IICA. San José, Costa Rica. 404 p.

Fassbender, H., Bornemisza, E. (1994). Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ed. IICA. San José, Costa Rica. 163-164 p.

Folegatti, M.V.; Brasil, R.P.C. Do; Blanco, F.F. (2001). Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a Kandiualfic Eutrudox and a Typic Hapludox. *Scientia Agrícola* 58: 833-838.

Forsythe, W. (2002). Parámetros ambientales que afectan la temperatura del suelo en Turrialba, Costa Rica y sus consecuencias para la producción de cultivos. *Agronomía Costarricense* 26(1): 43-62. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43626105>.

García, L. (2014). Determinación de la influencia del abono orgánico (tropimax) en las propiedades del suelo y en el crecimiento del pino chuncho (*Schizolobium amazonicum*). [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú.

García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”. Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942012000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001)

Guzmán, G., Gonzales, M., Sevilla, E. (2000). Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. Ed. Aedos S.A. Ediciones Mundi prensa. Madrid,

España.

- Hernández, R. (2007). Modelación Hidrológica En La Subcuenca Lempa Alto En Cooperación Con La Comisión Trinacional Del Plan Trifino, Universidad De El Salvador, Honduras Guatemala.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M.P. (2014). Metodología de la investigación. 6 ed. México, McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hernández, J., Casanova, O. Y Zamalvide, J. (1988). Capacidad e suministro de potasio en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Boletín de Investigación N° 19.
- Hosokay, M. O. (2012). Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge – Tingo María. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú.
- Huamán, O. (2016). Indicadores de la calidad de suelos en tres sistemas de uso de la tierra, sector Shitari, Huamalíes. Tesis Ing. en Recursos Naturales Renovables, mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 73 p.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina [INTA]. (2020). Metodología de muestreo de suelo y ensayo de campo: protocolos básicos comunes. 2da Ed. Entre Ríos: ediciones INTA. 21 – 52 P. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>
- ISO 14055-1. (2017). Norma Internacional de sistema de Gestión Ambiental- Directrices para el establecimiento de buenas prácticas para combatir la degradación y la desertificación de los suelos. Ginebra, Suiza.
- Janzen, H.H. y Pierce, F.J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. En Soil quality for crop production and ecosystem health (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Jaramillo, D. (2003). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., Contreras, J. (2013). Propiedades

- físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Biaogro* 25(1): 47-56.  
<https://ve.scielo.org/pdf/ba/v25n1/art06.pdf>.
- Jenkinson D. (1992). *La Materia Orgánica del Suelo: Evolución*. En: Wild A. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas*. Madrid. Mundi-Prensa.
- Jiménez, R. y González, V. (2006). *Edafología; La calidad de suelos como medida para su conservación*. Universidad Autónoma de Madrid. Dpto. de Geología y Geoquímica. Madrid, España, Vol. 13.
- Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R. y Schuman, G. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4 - 10.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>
- Kotter, J. P. & Schlesinger, L. A. (2008). *Choosing Strategies for Change*, Harvard Business Review, 86 (7-8).  
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=607525>.
- Larson, W.E., Pierce, F.J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In: *Evaluation for sustainable land management in the developing world, Vol. 2: Technical papers*. Bangkok, Thailand: International Board for Research and Management, 1991. IBSRAM Proceedings N° 12(2).
- Ley N° 8. (2007). *Ley de suelo*. España.
- Lozano, Z., R.M. Hernández, C. Bravo, C. Rivero, M. Toro y M. Delgado. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia* 37(11): 820-827.  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=692411&pid=S1316-3361201600020000400020&lng=es](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=692411&pid=S1316-3361201600020000400020&lng=es).
- Luters, A. y Salazar, J.C. (2000). *Soil quality test kit guide*. Área de cartografía de suelos y evaluación de tierras. Instituto de suelos CRN-CNIA-INTA.
- Martínez, E. (2003). *Reacción del suelo (pH)*. Rev. Batuco. Universidad de Chile. 1-34.
- Martínez, P. (2010). *Forestal, informe temático*. Proyecto Mesozonificación Ecológica y

- Económica para el Desarrollo Sostenible de la selva de Huánuco, convenio entre el IIAP, DEVIDA. Iquitos – Perú.
- Ministerio de Ambiente y Energía. [MINAE]. (2004). D.S. N°31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC. MINAE, (<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos77492.pdf>).
- Ministerio de Agricultura. [MINAG]. (2011). Cadena agropecuaria de papa. Manejo y fertilidad de suelos. Guía técnica de orientación al productor. Agroaldia, (<http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manualesboletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>).
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2020). Producción nacional de cacao en grano creció en la última década a un promedio de 12.6% al año. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/305143-produccion-nacional-de-cacao-en-grano-crecio-en-la-ultima-decada-a-un-promedio-de-12-6-al-ano>
- Monge, E., Val, J., Sanz, M., Blanco, A., Montañés, L. (1994). El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. An. Estac. Exp. Aula Dei 21 (3): 189-201.
- Moscatelli, G., Sobral, R., Nakama, V. (2005). Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos. INTA (<http://www.inta.gov.ar/>, Artículo).
- National Resource Conservation Soil [NRCS] (2004). What is soil quality. USDA, ([http://soils.usda.gov/sailsoil quality/what is/,pdf](http://soils.usda.gov/sailsoil%20quality/what%20is/,pdf)).
- Navarro, V. L., Florida, R. N. y Navarro, V. M. (2018). Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso. Livestock Research for Rural Development, 30(8) artículo #137). Recuperado de <http://www.lrrd.org/lrrd30/8/nelino30137.html>.
- Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 ed. Mundi Prensa, España.
- Nizama, K. M. (2015). Obtención y caracterización de pectina a partir de cáscara de cacao (theobroma cacao L.). Universidad Nacional De Piura, 1-110. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/675/IND-NIZ-YAM-15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Norris, D. (1958). Rhizobium needs magnesium not Calcium. Commonwealth Australia. Commonwealth and Industrial Research Organization. Nature 182: 734-736.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades químicas del Suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022). Levantamiento de suelos “Propiedades Químicas”. Portal de Suelos FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-desuelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (1996). Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Departamento de Desarrollo Sostenible de la FAO, Roma (Italia). Boletín de tierras y aguas de la FAO 5.
- Osorio García, M. y Á. López López (2012), Investigación turística. Hallazgos y aportaciones. Secretaría de Turismo-Centro de Estudios Superiores en Turismo, Facultad de Turismo y Gastronomía-Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México, Asociación Mexicana de Investigación Turística, México, 318 p., ISBN 978-607-422-269-2. <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n80/n80a13.pdf>.
- Parr, J.F.; Hornick, S.B.; Papendick, R.I. (1992). Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. Amer. J. Altern. Agric. 7(1-2):5-11.
- Peralta, N., Costa, J., Balzarini, M., Angelini, H. (2013). Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the Southeastern Pampas. Canadian Journal of Soil. Science. En prensa
- Plan de Manejo Ambiental [PMA], (2013). Calidad del suelo. Proyecto “Instalación Central Térmica Quillabamba y Sistemas de Transmisión Asociado-Santa Ana, la Convención, Cuzco”. Informe Final. CESEL Ingenieros. <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/DGGAE/ARCHIVOS/PMA%20%20ELECTRICIDAD%20DEL%20PERU%20ELECTROPERU%20>

S.A/4.4.12.%20Calidad%20suelos.pdf.

- Porta C.J., López-Acevedo R.M., Roquero D.C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. España. 3ª ed. 929 p. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=232838&pid=S0377-9424201100010001000011&lng=en](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=232838&pid=S0377-9424201100010001000011&lng=en).
- Portocarrero, J. (2013). Evaluación del efecto de tres sistemas de uso de la tierra sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el caserío de Puerto Rico, distrito Nuevo Progreso. Tesis para optar título de Ing. Recursos Naturales Renovables – Mención Conservación de Suelos y Agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 10 p.
- Rivera, D. (2018). Efecto de diferentes sistemas de uso en las propiedades fisicoquímicas del suelo con el método SUSS; en el sector Papayal, Castillo Grande, Leoncio Prado – 2018. [Tesis Ing. conservación de suelos. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. 102 p. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1555/RCDA\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1555/RCDA_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. y Mcsweeney, K. (1995). Howfarmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229- 236.
- Rosa, D. M., Pereira, N. L., Mauli, M. M., Piccolo, L. G. & Palczewski, P. F. (2017). Sustancias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. *Revista Ciencia Agronômica*, 48(2): 221-230. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rca/v48n2/1806-6690-rca-48-02-0221.pdf>.
- Ross, M. (2006). El magnesio en el cultivo del cereal. Disponible en [www.kali-gmbh.com](http://www.kali-gmbh.com).
- Rueda Saa, G.; Rodríguez Victoria, J.A.; Madrinan Molina, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: perspectivas para Colombia. *Acta Agronômica*. 60(3):203-217.
- Salamanca J., A.; Sadeghian Kh., S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-397.
- Sánchez, J. (2007). Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A.

19 p.

Sandoval, E., M., J. Dörner F., O. Seguel S., J. Cuevas B., y D. Rivera S. (2012). Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Chillán, Chile, número 5, 80 p.

Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [SAGARPA]. (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo- Metodología de Cálculo. Recuperado de [http://smye.info/rn/ind\\_fin/suelos/Documento\\_metodologico\\_suelos.pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf)

Schweizer, S. (2011). Muestreo y análisis del suelo para diagnóstico de su fertilidad. Biblioteca virtual, (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>).

Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. y Rogers, H.H. (1997). Quantification of Soil Quality. En *Soil Process and the Carbon Cycle* (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F., Stewart, B.A.). Boca Raton, Florida, EE.UU., CRC Press.

Sharma, S.B., R.Z. Sayyed, M.H. Trivedi y T.A. Gobi. (2013). Review. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. Springer Plus 2: 587. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=692424&pid=S1316-3361201600020000400033&lng=es](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=692424&pid=S1316-3361201600020000400033&lng=es).

Singh, R. y Pathak, R. (2003). Response of wheat (*Triticum aestivum*) to integrated nutrition of K, Mg, Zn, S and biofertilization. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 51(1): 56-60.

Soil Survey Staff. (1993). Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.

Soriano, M. Conductividad eléctrica del suelo. RiuNet. <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano%20-%20Conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Stevenson, F.J., and M.A. Cole. (1999). *Cycles of soil*. 427 p. 2nd ed.. John Wiley & Sons, New York, USA.

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=246264&pid=S0365-2807200200020001100031&lng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=246264&pid=S0365-2807200200020001100031&lng=es).

- Stine, M. A., and Weil, R. R. (2002). The relationship between soil quality and crop productivity across three tillage systems in south central Honduras. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40556324/The\\_relationship\\_between\\_soil\\_quality\\_an20151201-24576-1he09s6-libre.pdf?1449011704=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DThe\\_relationship\\_between\\_soil\\_quality\\_a\\_n.pdf](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40556324/The_relationship_between_soil_quality_an20151201-24576-1he09s6-libre.pdf?1449011704=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DThe_relationship_between_soil_quality_a_n.pdf).
- Tarr, AB; KJ Moore; CL Burras; DG Bullock & PM Dixon. (2005). Improving Map Accuracy of Soil Variables Using Soil Electrical Conductivity as a Covariate. *Precision Agriculture*, 6: 255-270.
- Tisdale, S. y Nelson, W. (1993). *Soil fertility and fertilizers*. MacMillan Publishing Company. New York.
- Torres, D., N. Rodríguez, H. Yendis, A. Florentino & F. Zamora. (2006). Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 18(2): 123-128.
- USDA (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. 12 ed. Estados Unidos.
- USDA. (1996). *Soil Survey laboratory methods manual*. Soil Survey Investigation Report N° 42. Washington. DC.USA, USDA-NRCS.U.S. Gov. Printing Office.
- USDA. (2014). *Claves para la clasificación de suelos*. 12 ed. Estados Unidos.
- USDA. (2017). *Soil Survey Manual*. 18 ed. Estados Unidos.
- Vallejo, V. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: - Experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*. Bogotá, Colombia. Vol. 16 (1).
- Vistoso E., Martínez-Lagos, J. (2020). Magnesio disponible y fertilización en suelos de la Región de Los Ríos. Instituto De Investigaciones Agropecuarias - Informativo N°

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67254/NR42460.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Jing WAN1\*, HUANG Cong2\*, LI Chang-you3 , ZHOU Hong-xu3 , REN Yong-lin1 , LI Zai-yuan4 , XING Longsheng2 , ZHANG Bin3 , QIAO Xi2 , LIU Bo2 , LIU Cong-hui2 , XI Yu2 , LIU Wan-xue5 , WANG Wen-kai4 , QIAN Wan-qiang2 , Simon MCKIRDY1 , WAN Fang-hao1. (2021). Biology, invasion and management of the agricultural invader: Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Integrative Agriculture*. Volume 20. Issue 20. 646 – 663 p. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311920633676>.

Wolf, B. and Snyder, G.H. (2003) *Sustainable Soils the Place of Organic Matter in Sustaining Soils and Their Productivity*. Food Product Press, Haworth Press, Inc., New York. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1404430>.

Yaros, M., (2016). *Uso sustentable del suelo en diferentes sistemas de cultivo en el distrito de Padre Felipe Luyando –Naranjillo*. [Tesis Ing. conservación de suelos. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. 79p. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1067>.

Zavaleta, G. (1992). *Edafología. El suelo en relación con la producción*. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. Lima, Perú.

Zerpa, G., Sosa, O., Bernardi, J., Bolatti, J. P., Galindo, A., y Maldonadl, J. (2013). La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *EGROMENSAJES* 35 64-68. Sitio Argentino de Producción Animal.

Zerpa, G. (2006). *Degradación de suelos en uso pastoril*. [Tesis de Maestría]. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7310afb32c62918a032579030053e4a5/\\$FILE/Tesis%20MSc%20Guillermo%20Gerster%20UNR%202009.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7310afb32c62918a032579030053e4a5/$FILE/Tesis%20MSc%20Guillermo%20Gerster%20UNR%202009.pdf).

Zhou, J., Y. Wu, J. Prietzel, H. Bing, D. Yu, S. Sun, J. Luo y H. Sun. (2013). Changes of soil phosphorus stocks and speciation along a 120-yr soil chronosequence in the

Hailuoguo Glacier retreat area (Gongga Mountain, SW China). *Geoderma* 195-196: 251-259.  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=692432&pid=S1316-3361201600020000400041&lng=es](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=692432&pid=S1316-3361201600020000400041&lng=es).

## **ANEXOS**

### Anexo 1. Datos recolectados de la investigación

**Tabla 35.** Datos obtenidos para la densidad aparente en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
1,11	1,44	1,39	1,05
1,12	1,33	1,32	1,01
1,31	1,20	1,11	0,92
1,22	1,31	1,10	0,86

**Tabla 36.** Datos obtenidos para la resistencia a la penetración en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
2,50	3,32	2,95	4,60
3,50	2,80	3,50	3,25
2,50	3,25	3,60	4,25
3,80	3,00	2,80	3,90

**Tabla 37.** Datos obtenidos para la temperatura del suelo en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
22,90	22,40	22,80	25,80
22,60	24,10	23,10	23,30
22,70	23,20	23,40	23,50
22,50	22,40	23,80	24,10

**Tabla 38.** Datos obtenidos para el pH del suelo en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
5,21	4,51	4,61	4,44
5,36	4,63	4,72	4,32
5,17	4,39	4,33	4,46
5,19	4,67	4,64	4,58

**Tabla 39.** Datos obtenidos para la materia orgánica del suelo en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
1,84	2,07	2,87	4,08
2,58	2,76	2,70	2,24
2,80	2,47	2,69	2,45
1,84	3,10	2,41	3,62

**Tabla 40.** Datos obtenidos para el nitrógeno del suelo en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
0,09	0,10	0,14	0,20
0,13	0,14	0,13	0,11
0,14	0,12	0,13	0,12
0,09	0,16	0,12	0,18

**Tabla 41.** Datos obtenidos para el fósforo del suelo en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
1,55	4,74	4,14	1,90
7,24	7,93	5,26	1,81
3,79	7,84	1,73	1,73
3,62	3,19	2,93	2,16

**Tabla 42.** Datos obtenidos para el potasio del suelo en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
42,98	55,08	112,00	78,97
69,12	48,03	179,82	57,87
65,77	69,57	52,88	88,31
72,47	56,03	76,27	60,22

**Tabla 43.** Datos obtenidos para el calcio del suelo en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
1,56	1,43	2,18	0,96
2,45	1,51	3,36	1,19
1,63	1,17	1,72	1,18
1,72	2,06	2,08	1,30

**Tabla 44.** Datos obtenidos para el magnesio del suelo en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
0,14	0,16	0,31	0,12
0,34	0,17	0,52	0,14
0,17	0,12	0,24	0,13
0,16	0,22	0,31	0,20

**Tabla 45.** Datos obtenidos para la capacidad de intercambio catiónico (CICe) en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
2,87	4,35	3,80	5,35
4,11	4,74	6,80	6,06
2,97	4,06	6,66	6,58
3,12	6,07	6,50	4,10

**Tabla 46.** Datos obtenidos para la conductividad eléctrica en parcelas clonales con *Theobroma cacao*.

SUS <sub>1</sub>	SUS <sub>2</sub>	SUS <sub>3</sub>	SUS <sub>4</sub>
46,00	59,00	87,00	28,00
47,00	69,00	132,00	32,00
90,00	60,00	74,00	64,00
93,00	68,00	90,00	30,00

## Anexo 2. Panel fotográfico



**Figura 11.** Parcela con cultivo de *Theobroma cacao* del sr. Ignacio Moreno Bedoya



**Figura 12.** Muestreo de suelo en la parcela del sr. Ignacio Moreno Bedoya



**Figura 13.** Instalación del termómetro del suelo parcela del sr. Ignacio Moreno Bedoya



**Figura 14.** Temperatura del suelo parcela del sr. Ignacio Moreno Bedoya



**Figura 15.** Tomando nota de las características de la parcela de la señora Juana Fabián Bedoya



**Figura 16.** Parcela con cultivo de *Theobroma cacao* de la señora Juana Fabián Bedoya



**Figura 17.** Temperatura del suelo parcela de la señora Nilda Moreno Valencia



**Figura 18.** Medición de la resistencia del suelo parcela de la señora Nilda Moreno Valencia



**Figura 19.** Parcela de cultivo de *Theobroma cacao* de la señora Nilda Fabián Bedoya



**Figura 20.** Tomando apuntes de la parcela de la señora Juana Fabián Bedoya



**Figura 21.** Realizando las coordinaciones con la señora Mery Runco Trujillo



**Figura 22.** Toma de muestra de suelo parcela de la señora Mery Runco Trujillo



**Figura 23.** Muestreo de suelo en la parcela de la señora Mery Runco Trujillo



**Figura 24.** Realizando las coordinaciones con la señora Mery Runco Trujillo



**Figura 25.** Medición de la temperatura del suelo



**Figura 26.** Lectura del penetrómetro



**Figura 27.** Muestras de suelos para ser secados y analizados en el laboratorio



**Figura 28.** Cilindros de aluminio para el muestreo de densidad aparente



**Figura 29.** Marcando el cilindro de aluminio



**Figura 30.** Medición de la longitud del cilindro de aluminio



**Figura 31.** Pesado del cilindro vacío de aluminio



**Figura 32.** Pesado del cilindro con muestra de suelo



**Figura 33.** Cilindros de aluminio enrasado con muestras de suelos para ser secados en la estufa



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

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



**ANÁLISIS DE SUELOS**

SOLICITANTE:		JUSTO DOMINGUEZ MIRELLA LISBETH										PROCEDENCIA:		LEONCIO PRADO - TINGO MARIA										
N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%	
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	Arena	Arcilla	Limo	Textura	1:1	uS/cm	%	%	disponible			Ca	Mg	K	Na	Al	H		Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al	
			%	%	%						ppm	ppm												
1	S1239-1	M1 IGNACIO	43	26	31	Franco	4.61	87	2.87	0.14	4.14	112.00	----	2.18	0.31	0.159	0.045	0.96	0.15	3.80	71	29	25	
2	S1239-2	M2 IGNACIO	29	36	35	Franco Arcilloso	4.72	132	2.70	0.13	5.26	179.82	----	3.36	0.52	0.198	0.033	2.57	0.11	6.80	61	39	38	
3	S1239-3	M3 IGNACIO	15	42	43	Arcillo Limoso	4.33	74	2.69	0.13	1.73	52.88	----	1.72	0.24	0.190	0.099	3.95	0.46	6.66	34	66	59	
4	S1239-4	M4 IGNACIO	29	30	41	Franco Arcillo Limoso	4.64	90	2.41	0.12	2.93	76.27	----	2.08	0.31	0.212	0.106	2.52	1.27	6.50	42	58	39	
5	S1239-5	M1 JUANA	27	34	39	Franco Arcilloso	4.51	59	2.07	0.10	4.74	55.08	----	1.43	0.16	0.182	0.061	2.42	0.10	4.35	42	58	56	
6	S1239-6	M2 JUANA	23	26	51	Franco Limoso	4.63	69	2.76	0.14	7.93	48.03	----	1.51	0.17	0.160	0.078	1.93	0.88	4.74	41	59	41	
7	S1239-7	M3 JUANA	15	26	59	Franco Limoso	4.39	60	2.47	0.12	7.84	69.57	----	1.17	0.12	0.143	0.071	2.18	0.38	4.06	37	63	54	
8	S1239-8	M4 JUANA	25	26	49	Franco	4.67	68	3.10	0.16	3.19	56.03	----	2.06	0.22	0.168	0.087	1.82	1.71	6.07	42	58	30	
9	S1239-9	M1 MERY	25	48	27	Arcilloso	4.44	28	4.08	0.20	1.90	78.97	----	0.96	0.12	0.157	0.064	2.72	1.34	5.35	24	76	51	
10	S1239-10	M2 MERY	23	46	31	Arcilloso	4.32	32	2.24	0.11	1.81	57.87	----	1.19	0.14	0.191	0.070	3.14	1.33	6.06	26	74	52	
11	S1239-11	M3 MERY	27	44	29	Arcilloso	4.46	64	2.45	0.12	1.73	88.31	----	1.18	0.13	0.245	0.125	3.01	1.89	6.58	26	74	46	
12	S1239-12	M4 MERY	15	46	39	Arcilloso	4.58	30	3.62	0.18	2.16	60.22	----	1.30	0.20	0.206	0.080	1.92	0.40	4.10	44	56	47	
13	S1239-13	M1 NILDA	51	12	37	Franco	5.21	46	1.84	0.09	1.55	42.98	----	1.56	0.14	0.145	0.080	0.78	0.16	2.87	67	33	27	
14	S1239-14	M2 NILDA	47	14	39	Franco	5.36	47	2.58	0.13	7.24	69.12	----	2.45	0.34	0.267	0.063	0.51	0.49	4.11	76	24	12	
15	S1239-15	M3 NILDA	45	12	43	Franco	5.17	90	2.80	0.14	3.79	65.77	----	1.63	0.17	0.228	0.068	0.62	0.25	2.97	71	29	21	
16	S1239-16	M4 NILDA	47	16	37	Franco	5.19	93	1.84	0.09	3.62	72.47	----	1.72	0.16	0.262	0.090	0.56	0.33	3.12	72	28	18	

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO No. 001-0655692

TINGO MARIA, 15 DE AGOSTO 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo Maria



*[Signature]*  
 Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
 Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Figura 34. Análisis de suelos