

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE  
SUELOS Y AGUA**



**DENSIDAD APARENTE COMO INDICADOR DE COMPACTACIÓN DE SUELOS  
AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE LUYANDO**

**Tesis**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**ALEX CAQUI ORDOÑEZ**

**Tingo María - Perú**

**2025**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 103-2025-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 04 de setiembre de 2025, a horas 8:00 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:

**“DENSIDAD APARENTE COMO INDICADOR DE COMPACTACIÓN DE SUELOS  
AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE LUYANDO”**

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

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

Tingo María, 19 de setiembre de 2025

  
**Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO**  
**PRESIDENTE**

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

  
**Ing. MSc. ERLE OTTO BUSTAMANTE SCAGLIONI**  
**MIEMBRO**



  
**Dr. NELINO FLORIDA ROFNER**  
**ASESOR**



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

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 331 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico 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 Conservación de Suelos y Agua

### Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
DENSIDAD APARENTE COMO INDICADOR DE COMPACTACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE LUYANDO	ALEX CAQUI ORDOÑEZ	09 % Nueve	Menor a 20 %

Tingo María, 24 de octubre de 2025.

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO  
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES  
JEFE

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



**DENSIDAD APARENTE COMO INDICADOR DE COMPACTACIÓN DE SUELOS**  
**AGRÍCOLAS EN EL DISTRITO DE LUYANDO**

<b>Autor</b>	: Bach. ALEX CAQUI ORDOÑEZ
<b>Asesor</b>	: Dr. NELINO FLORIDA ROFNER.
<b>Programa de investigación</b>	: Ciencias básicas.
<b>Línea de investigación</b>	: Física y química de suelo.
<b>Eje temático de investigación</b>	: Indicadores físicos y químicos del suelo
<b>Lugar de ejecución</b>	: Luyando
<b>Duración</b>	: Doce meses.
<b>Financiamiento</b>	: Propio.
<b>Monto</b>	: S/. 8 718, 60

**Tingo María – Perú**

**2025**



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE  
Y TESISISTA**

**I. Datos Generales de Pregrado**

<b>Universidad</b>	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
<b>Facultad</b>	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables
<b>Escuela Profesional</b>	:	Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua.
<b>Título de la Tesis</b>	:	Densidad aparente como indicador de compactación de suelos agrícolas en el distrito de Luyando.
<b>Autor</b>	:	Alex Caqui Ordoñez.
<b>DNI</b>	:	76166948
<b>Correo electrónico</b>	:	Alex.cqui@unas.edu.pe
<b>Asesores</b>	:	Dr. Nelino Florida Rofner.
<b>Programa de investigación</b>	:	Ciencias básicas.
<b>Línea de investigación</b>	:	Física y química de suelos.
<b>Eje temático</b>	:	Indicadores físicos y químicos del suelo.
<b>Lugar de ejecución</b>	:	Luyando.
<b>Duración</b>	:	Inicio : 1 de enero del 2023 Termino : 31 de agosto del 2023
<b>Financiamiento</b>	:	FEDU : S/. 0.00 Propio : S/. 3 253,80 Otros : S/. 0.00

**Tingo María, Perú, octubre 2025**

Alex Caqui Ordoñez

**Tesista**

Dr. Nelino Florida Rofner

**Asesor**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por estar presente en los momentos buenos y malos, por cada obstáculo que se me ha pasado en la vida, por darme la fuerza para seguir adelante y no rendirme en los problemas, enseñándome a enfrentar y superar sin perder mis valores.

A mis padres Gabriela Ordoñez y Alex Caqui por ser mi fortaleza para lograr mis objetivos y metas. A mis hermanos Antony Caqui Ordoñez, Niurka Caqui Ordoñez, Alexis Caqui Ordoñez, Helio Caqui Ordoñez y mis sobrinos que fueron la inspiración de superación para salir adelante cada día y seguir cumpliendo mis metas.

A mis abuelos Rayda Rituay, Ursino Ordoñez y Narcisa Cardenas por el apoyo incondicional y ser los mejores consejeros con sus palabras de aliento, animándome en todo momento especialmente aquellos momentos difíciles de mi etapa universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

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

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

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

A mis amigos, Pamela Fabian Huachaca, Anabel Cruz Juárez, Datriana Feliciano Aquino, María Estrella Leandro, Yuly Rafaela Pérez, Mishell Muñoz Lino, Cinthia Fernández Guevara, Franchescoly Rimachi Leguía, Jherson Salcedo Machuca y Sharon Espinoza Gamarra, por compartir momentos únicos durante estos cinco años, momentos que siempre perduraran en nuestra memoria, gracias por los conocimientos y consejos compartidos.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. El suelo .....	3
2.2. Propiedades físicas del suelo .....	3
2.2.1. Densidad aparente .....	3
2.2.2. Porosidad.....	4
2.2.3. Resistencia a la penetrabilidad .....	4
2.2.4. Conductividad hidráulica .....	5
2.2.5. Capacidad de retención de agua .....	6
2.2.6. Textura .....	6
2.2.7. Densidad real.....	7
2.2.8. Materia orgánica.....	7
2.3. Compactación del suelo.....	8
2.3.1. Procesos de compactación del suelo .....	9
2.3.2. Efecto de la compactación del suelo .....	9
2.3.3. Consecuencias de la compactación en los suelos agrícolas .....	9
2.4. Relación de la densidad aparente y la compactación del suelo .....	10
2.5. Estado del arte .....	10
2.5.1. Antecedentes nacionales .....	10
2.5.2. Antecedentes internacionales .....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
3.1. Ubicación.....	12
3.2. Características del área de estudio.....	12
3.3. Materiales y equipos .....	13
3.3.1. Materiales de campo.....	13

3.3.2.	Materiales de laboratorio.....	13
3.3.3.	Equipos de campo y laboratorio.....	13
3.3.4.	Reactivos .....	13
3.4.	Criterios y análisis de investigación .....	13
3.5.	Metodología.....	14
3.5.1.	Determinación del área en estudio .....	14
3.5.2.	Muestreo y análisis de suelos .....	15
3.5.3.	Determinación de la densidad aparente.....	16
3.5.4.	Indicadores que expresan proceso de compactación.....	17
3.5.5.	Análisis de correlación de person.....	17
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1.	Propiedades físicas y química del suelo .....	18
4.1.1.	Densidad aparente .....	18
4.1.2.	Indicadores que expresan proceso de compactación.....	19
4.2.	Correlación de Pearson.....	23
V.	CONCLUSIÓN .....	25
VI.	PROPUESTA A FUTURO .....	26
VII.	BREFERENCIAS .....	27
	ANEXOS .....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de la densidad aparente en los suelos .....	4
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de la porosidad del suelo .....	4
<b>Tabla 3.</b> Resistencia del suelo a la penetrabilidad. ....	5
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de conductividad hidráulica, según su rapidez de movimiento.....	6
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de la Densidad real .....	7
<b>Tabla 6.</b> Niveles de materia orgánica del suelo .....	8
<b>Tabla 7.</b> Número mínimo de muestras.....	14
<b>Tabla 8.</b> Métodos para determinar la DA .....	16
<b>Tabla 09.</b> Parámetros a evaluar.....	17
<b>Tabla 10.</b> Clasificación de la densidad aparente (Cairo, 1995).....	18
<b>Tabla 11.</b> Relación de la DA y el crecimiento de las raíces en función la textura del suelo...	19
<b>Tabla 12.</b> Estadística descriptiva de los indicadores que expresan proceso de compactación	22
<b>Tabla 13.</b> Coeficiente de correlación de Pearson.....	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Triangulo textural (USDA, 1999).....	7
2. Ubicación del área de estudio.....	12
3. Mapa de la distribución de los puntos de muestreo sobre el territorio de Luyando.....	15
4. Recolección de información del área en muestreo.....	33
5. Recolección de muestra para densidad aparente y conductividad hidráulica.....	33
6. Lectura in situ de la resistencia a la penetración del suelo.....	34
7. Secado de las muestras para densidad aparente (método de terrón parafinado).....	34
8. Muestras de densidad aparente en estufa.....	35
9. Pesado de muestras.....	35
10. Muestras con parafina sumergido a una probeta con agua destilada.....	36
11. Preparación de muestra para el análisis de conductividad hidráulica.....	36
12. Análisis de conductividad hidráulica.....	37
13. Análisis de conductividad hidráulica.....	37
14. Resultados del análisis de DA.....	39
15. Análisis estadístico de la densidad aparente.....	39
16. Resultados del análisis de indicadores físicos y químicos.....	41

## RESUMEN

Debido a la estrecha relación de la compactación del suelo agrícola, con la degradación física del suelo, siendo unas de las causas principales, en la alteración de la estructura del suelo, provocando la reducción de la porosidad y dificultando procesos esenciales como la infiltración del agua, la aireación y el desarrollo radicular de las plantas. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la densidad aparente como indicador de compactación en suelos agrícolas del distrito de Luyando. Se determinó la densidad aparente (DA), con 2 métodos diferentes, métodos del cilindro metálico y método del terrón parafinado; se evaluó la compactación mediante indicadores físicos y químicos como: porosidad total (PT), resistencia a la penetración (RP), conductividad hidráulica (K), capacidad de retención de agua (CRA), textura, densidad real (DR), materia orgánica (MO); por último se analizó la correlación de Pearson, para identificar la relación entre la densidad aparente y los indicadores que expresan proceso de compactación. Los resultados mostraron que la DA varío de baja a media con el método del cilindro metálico; mientras que para el método del terrón los valores variaron de media a muy alta. Los indicadores que expresan proceso de compactación dieron como resultados para textura del suelo que varío de arcilloso a arena franca; para la DA los suelos se caracterizaron ideal para el desarrollo de las raíces, que podrían limitar el crecimiento y que restringe significativamente para dicho desarrollo; la RP varío de suelos suave a extremadamente duro; la K de lenta a moderadamente rápida; la M.O de niveles bajo a alto; la PT clasificado de muy bajo a muy alto; la DR se caracterizó para horizontes minerales y la CRA se encontró porcentaje de 24.57% a 63.42%. El análisis de correlación de Pearson demostró que la DA tiene una correlación altamente significativa con la arcilla, K, MO, PT y la RP. En conclusión, la DA del suelo nos indica el estado del suelo por compactación, clasificando el distrito de Luyando con compactación que va de sin problema a grave.

**Palabras clave:** propiedades físicas del suelo, indicador

## ABSTRACT

Due to the close relationship of the compactness of agricultural soil with the physical degradation of the soil, which is one of the main causes in the alteration of the soil structure, provoking the reduction of porosity and making essential processes such as the infiltration of water, aeration and root development of the plants difficult. The objective of the present study was to evaluate the apparent density as an indicator of the compactness of agricultural soil in the Luyando district [of Peru]. The apparent density (AD; DA in Spanish) was determined using two different methods, the metallic cylinder method and the paraffin-clod method; the compactness was evaluated through physical and chemical indicators, such as: total porosity (TP; PT in Spanish), penetration resistance (PR; RP in Spanish), hydraulic conductivity (K), water holding capacity (WHC; CRA in Spanish), texture, real density (pp; DR in Spanish), organic matter (OM; MO in Spanish), and finally, the Pearson correlation was analyzed in order to identify the relationship between the apparent density and the indicators that express the compaction process. The results revealed that the pb (DA in Spanish) varied from low to average with the metallic cylinder method; meanwhile, for the clod method, the values varied from average to very high. The indicators that express the compaction process gave off results for the texture of the soil that varied from clay to loamy sand; for the pb, the soil was characterized as ideal for the root development, which could limit the growth and significantly restrict said development; the PR varied from soft to extremely hard soil; the K from slow to moderately rapid; the OM from low to high levels; the TP was classified as very low to very high; the pp was characterized for mineral horizons; and for the WHC, percentages were found from 24.57% to 63.42%. The Pearson correlation analysis demonstrated that the pb had a highly significant correlation with the clay, K, OM, TP, and the PR. In conclusion, the pb of the soil indicated the state of the soil from compaction, [where] the Luyando district was classified with compaction that goes from “without problems” to “severe.”

**Keywords:** physical properties of the soil, indicator

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú presenta una superficie de 128,5 millones de hectáreas de las cuales gran parte del territorio presenta más de un problema de degradación: El 26,8% con problema de desertificación, erosión que va desde leve a muy severa y el 0,24% con problemas de salinización (El Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2017). Mientras que el problema de la degradación en el mundo que más afecta son la densificación y la compactación, siendo las principales causas el uso intensivo, el manejo de maquinarias agrícolas no idóneo para el laboreo del suelo.

MINAGRI (2017), manifiesta que Perú, del conjunto de recursos naturales renovables, el suelo con fines agrícolas es el recurso con tendencia limitada. Se calcula que solo el 7,6 millón de hectáreas (5,92% del territorio nacional) posee un potencial para el cultivo agrícolas y 17 millones con aptitud para pastos. El distrito de Luyando, muestra una producción agrícola compuesta por cultivos permanentes como el plátano, naranjos, café, cacao, etc; dentro de los cultivos transitorios las que resaltan son el maíz, yuca, frijol, arroz, etc; la utilización irresponsable del recurso natural y la agricultura intensiva sin protección degrada el suelo del distrito de Luyando, perjudicando la productividad de los cultivos, afectando las propiedades físico-químico del suelo. Actualmente las actividades ganaderas y la expansión agrícola están generando pérdidas de cobertura boscosa en la amazonia peruana (Rojas et al., 2019).

Debido a la importancia de la degradación del suelo y alteración del desarrollo de los cultivos, es necesario un diagnóstico para percibir el grado de compactación del suelo. La densidad aparente (DA) es una propiedad utilizada para analizar la degradación de suelos por compactación debido a las actividades agrícolas y ganaderas. Cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación experimenta pérdidas de volumen de poros, alteración de su estructura, aumenta su resistencia mecánica a consecuencia de fuerzas o presiones externas que actúan sobre él, disminuye la conductividad hidráulica, la capacidad de retención de agua y la baja aireación junto a la oxigenación del suelo.

Frente a la problemática expuesta la investigación se plantea la siguiente interrogante ¿La densidad aparente puede servir como indicador de la compactación de los suelos agrícolas del distrito de Luyando?

La investigación se justifica en la necesidad de conocer si los cambios de la densidad aparente tienen efecto en la compactación del suelo, sobre las raíces, crecimiento y desarrollo de

las plantas, de tal manera que los resultados de esta investigación ayudaran a tomar mejores decisiones en tanto a las prácticas de recuperación y restauración del suelo.

Los alcances de esta investigación contribuyen con nuevos conocimientos para la comunidad científica, con información que ponga la evidencia la relación de la densidad aparente, sobre procesos de compactación producto del manejo del suelo en condiciones locales. Esta información servirá de soporte técnico en formulación de planes de mejoramiento y restauración del suelo, por parte de entidades gubernamentales como la Dirección Regional de Agricultura (DRA) y los productores locales. En este contexto la investigación logró contrastar la hipótesis planteada en que la densidad aparente funciona como indicador de la compactación en suelos agrícolas del distrito de Luyando.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar la densidad aparente como indicador de compactación en suelos agrícolas del Distrito de Luyando.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar la densidad aparente, con diferente método (cilindro metálico y terrón parafinado).
- Evaluar la compactación del suelo mediante indicadores físicos y químicos como porosidad, resistencia a la penetración, conductividad hidráulica, capacidad de retención de agua, textura, densidad real y materia orgánica.
- Analizar la relación entre la densidad aparente y los indicadores de compactación del suelo mediante la Correlación de Pearson.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El suelo

El sistema suelo, físicamente son mezclas porosas inorgánicas, materiales orgánicos descompuestos, aire y agua. en términos de composición, el suelo es un cuerpo natural tridimensional formado por los cambios físicos y químicos graduales del material original o lecho rocoso en el transcurso del tiempo bajo condiciones climáticas y topográficas (Castillo, 2005).

Desde el punto de vista de la fertilidad, el suelo es una parte importante del sistema agrícola porque nutre las plantas que son la base de la vida y la economía de cualquier país. A pesar de que el suelo constituye un papel muy importante al servicio del ecosistema, su degradación amenaza a la producción mundial de alimentos, esta degradación es formada del mal manejo del suelo, la compactación y el uso intensivo del suelo, entre otros (Bautista et al., 2004).

### 2.2. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo están en función de la relación de los componentes del suelo, sólido, líquido (agua) y gaseoso (aire) (Bautista et al., 2004). Se determinan en gran medida el movimiento del aire, calor, agua y solutos a por medio del suelo, así como restricciones el desarrollo del sistema radicular, filtraciones, infiltración o movimiento de agua en el perfil, etc. (Castillo, 2005). Por ende, esta propiedad es de gran importancia tener en cuenta, ya que depende el comportamiento o el desarrollo de los cultivos.

#### 2.2.1. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo se calcula como la proporción entre la masa del suelo seco y el volumen total que ocupa en su condición natural, sin ser alterado. Se expresa en unidades como kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) o gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) (Salamanca y Sadeghian, 2005).

La densidad aparente es una propiedad que es utilizada como un indicador de compactación del suelo, causada por la alteración con el paso del tiempo, debido al manejo, el laboreo, uso maquinarias y el pastoreo de animales. A medida que aumenta la densidad del suelo, aumenta la compactación, lo que genera condiciones de retención de agua que limitan el crecimiento de las raíces (Gutiérrez, 2018). Para la determinación de la DA existe muchos métodos dentro de ellos encontramos el método del cilindro biselado, la cual se basa en sacar un volumen de suelo y el peso del suelo seco, el método del terrón parafinado y el método de

excavación y relleno. Estudios desarrollados demuestran que, al comparar los tres métodos para determinar la DA del suelo, se demostró que el método del cilindro nos demuestra menor error a comparación con los otros dos métodos (Rojas, 2012).

**Tabla 1.** Clasificación de la densidad aparente en los suelos

Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Clasificación
< 1.0	Muy bajo
1.0 - 1.2	Bajo
1.2 - 1.45	Medio
1.45 - 1.60	Alto
> 1.60	Muy alto

Fuente: Cairo (1995)

### 2.2.2. Porosidad

La porosidad del suelo se refiere a la cantidad de espacio vacío entre las partículas sólidas del suelo, ya sean de origen orgánico o inorgánico. Estos espacios, conocidos como poros, pueden estar ocupados por aire, agua o una combinación de ambos. Esta característica del suelo influye significativamente en la manera en que el agua se filtra hacia el interior del suelo y en la cantidad que escurre por la superficie (Gonzales et al., 2011).

El agua y el aire ingresan al suelo a través de espacios porosos adaptados por tamaño de poro, abundancia y distribución (clasificados por tamaño de poro, <0.1 µm cryptoporos, 0.1 a 5 µm, ultramicroporos; 5 a 30 µm, microporos; 30 a 75 µm, mesoporos y >75 µm macroporos), el total de la porosidad de los suelos está entre el 40% y el 60%, y la porosidad total de la arena es menor que la de la arcilla y suelos orgánicos (UNP, 2019).

**Tabla 2.** Clasificación de la porosidad del suelo

Porosidad (%)	Clasificación
< 40	Muy bajo
40 - 45	Bajo
45 - 55	Medio
55 - 65	Alto
> 65	Muy alto

Fuente: Cairo (1995)

### 2.2.3. Resistencia a la penetrabilidad

La resistencia del suelo a ser penetrado se refiere a su capacidad para soportar la presión sin dejarse atravesar por objetos sólidos. Esta característica se mide en unidades de presión como megapascals (MPa) o bares (bar), y suele utilizarse como un indicador de cuán

compactado está el suelo. Cuando la resistencia del suelo es alta, se dificulta el crecimiento de las raíces, ya que les resulta más complicado abrirse paso a través del suelo debido al aumento de la fuerza mecánica que deben vencer (López, 2002).

Evaluar la resistencia del suelo a ser penetrado es clave para comprender cómo interactúan el suelo, el agua y las plantas. Esta característica influye directamente en el ritmo al que crecen las plantas y puede dificultar que las raíces lleguen a zonas más profundas donde podrían absorber agua. La resistencia a la penetración tiende a aumentar cuando el suelo tiene una alta densidad aparente y está seco, mientras que disminuye cuando el suelo contiene más humedad.

**Tabla 3.** Resistencia del suelo a la penetrabilidad.

(Kg/cm <sup>2</sup> )	Nivel
< 1.00	Muy suave
1.00 - 2.00	Suave
2.00 - 3.00	Duro
3.00 - 4.00	Muy duro
> 4.00	Extremadamente duro

Fuente: ICT (2004)

#### 2.2.4. Conductividad hidráulica

Es el parámetro que describe la facilidad con la que un material permite el paso del agua a través de su estructura. En el contexto del suelo, esta propiedad se entiende como la velocidad a la que el agua se infiltra en un suelo saturado, bajo condiciones donde el gradiente hidráulico es igual a uno. Además, la conductividad hidráulica está influenciada tanto por las características del fluido como por las del material poroso, actuando ambos en conjunto. (Villon, 2006).

La conductividad hidráulica depende de la capacidad de un material para transportar el agua que se filtra en él y llega a las aguas subterráneas. También depende del número de poros y la saturación en el suelo, y sus valores son inversamente proporcionales a la porosidad, compactación y a la DA, teniendo en cuenta la humedad y el potencial hídrico, la conductividad hidráulica disminuye al reducir los dos últimos (Sánchez, 2019). La conductividad hidráulica se clasifica en distintos rangos y según Villón (2006) se clasifican de acuerdo con la textura y estructura del suelo o según su rapidez de movimiento.

**Tabla 4.** Clasificación de conductividad hidráulica, según su rapidez de movimiento

Nivel	Conductividad hidráulica m/día
Muy lenta	< 0.03
Lenta	0.03 - 0.12
Moderadamente lenta	0.12 - 0.5
Moderada	0.5 - 1.5
Moderadamente rápida	1.5 - 3.00
Rápida	3.00 - 4.50
Muy rápida	> 4.50

Fuente: Villon (2007)

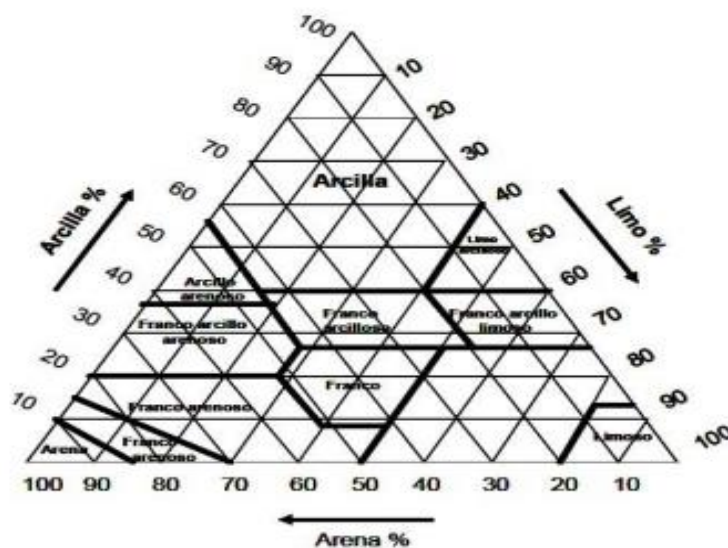
### 2.2.5. Capacidad de retención de agua

Es el parámetro que está estrechamente relacionado con la clase textural del suelo, ya que expresa las proporciones relativas de cada componente, de las partículas área, limo y arcilla, y por consecuencia da el origen de la distribución y tamaño de poros. La capacidad de retención de agua es también referida a la cantidad de agua que el suelo pueda almacenar en fase aprovechable para la planta (Arribillaga et al., 2013). El contenido de la materia orgánica, densidad del suelo y textura, genera una alta capacidad de retención de agua en el suelo, sin embargo, al tener una alta porosidad provocaría una disminución de la capacidad de retención del agua a consecuencia que la conductividad del agua será rápida (Lince, 2021).

### 2.2.6. Textura

La textura del suelo es una propiedad fundamental que hace referencia al porcentaje relativo de los distintos tipos de partículas minerales que lo conforman, como grava, arena, limo y arcilla (Molera & Llitjos, 1995). Esta característica se define por el tamaño de las partículas: la arena tiene un diámetro entre 2 mm y 0.05 mm, el limo entre 0.05 mm y 0.002 mm, y la arcilla posee un diámetro inferior a 0.002 mm. Aunque generalmente se considera una propiedad estable, la textura del suelo puede alterarse por factores como el trabajo agrícola o los procesos de erosión, tanto hídrica como eólica. De acuerdo con el USDA (1999), la textura es importante porque influye en la fertilidad del suelo, en su capacidad de aireación y en cómo se comporta en cuanto al almacenamiento y movimiento del agua. La textura del suelo es acondicionada por el clima en función a su intensidad, así mismo el relieve determina el transporte de las partículas. Sagarpa (2012) señala que el suelo tiende a alterarse en el transcurso del tiempo,

por ende, aumenta la fracción arcilla. Las clases texturales dentro del sistema del USDA son 12 y se disponen en un triángulo de textura.



**Figura 01.** Triángulo textural (USDA, 1999)

### 2.2.7. Densidad real

La densidad real del suelo, corresponde a la relación que existe entre el peso seco del suelo y el volumen ocupado por los sólidos, excluyendo los espacios porosos entre las partículas. Tiende a representar la densidad de la fase sólida y actuar de acuerdo a los componentes minerales y el porcentaje de la materia orgánica. Gran parte de los suelos minerales, la densidad real es representada por un valor promedio de  $2,65\text{g/cm}^3$  (Villaseñor, 2016).

**Tabla 5.** Clasificación de la Densidad real

Densidad real	Horizontes
2.6 - 2.75	Mineral
1.1 - 1.4	Orgánico
2.75	Ricos en minerales pesados

Fuente: Porta et al. (2003)

### 2.2.8. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo está formada por desechos de plantas y animales que se encuentran en distintos grados de descomposición, proceso que es llevado a cabo por diversos tipos de microorganismos. Este proceso da lugar al humus, una sustancia compuesta por grandes moléculas en forma coloidal, que incluye elementos como proteínas, azúcares, ácidos

orgánicos y minerales, los cuales están en constante transformación tanto de descomposición como de formación (Fassbender, 1975). La presencia y composición de la materia orgánica en el suelo dependen de factores como el clima, el tipo de vegetación, las características del terreno, el material geológico original y el manejo del suelo. Las temperaturas es un condicionante de la descomposición de la materia orgánica ya que bajas temperatura y alta altitudes tardan en la descomposición, lo contrario de este mismo aceleran la descomposición de los residuos vegetales (Zavaleta, 1992). La MO del suelo interfiere en las propiedades físicas del suelo, mejorando la infiltración del agua en suelos arcillosos y aumentar la capacidad de retención en suelos arenosos, dando un impacto positivo en productividad del suelo.

**Tabla 6.** Niveles de materia orgánica del suelo

Nivel	% M.O.
Muy Bajo	< 1
Bajo	$1 \leq - < 2$
Medio	$2 \leq - < 3$
Alto	$3 \leq - < 5$
Muy alto	$\geq 5$

Fuente: Bazán (2017)

### 2.3. Compactación del suelo

La compactación del suelo se produce cuando se aplica presión sobre su superficie, lo que provoca un aumento en su densidad y una disminución en el espacio entre sus partículas (porosidad). Como consecuencia, se ve afectado el buen funcionamiento de las capas superiores e inferiores, lo que dificulta el desarrollo de las raíces y afecta el intercambio de agua y gases en el suelo (Pennock et al., 2015).

La compactación es el proceso de comprimir el suelo debido a las cargas o tensiones aplicadas. Físicamente, la presión reduce el tamaño de los poros, cambia la estructura de los poros y aumenta la DA. El examen microscópico puede observar cambios en la forma y continuidad de los poros, especialmente una disminución en el tamaño y número de macroporos (Blanco, 2009).

La compactación es el proceso de reorganización de las partículas del suelo mediante la reducción del espacio debido a la carga superficial, y las partículas sólidas del suelo entran en estrecho contacto entre sí, provocando el colapso estructural, aumentando la DA y reduciendo el área de poros (Gutiérrez, 2018).

La compactación del suelo se refiere al proceso mediante el cual el suelo se comprime, reduciendo su volumen. Este cambio provoca un aumento en la densidad y ocasiona alteraciones en la estructura del suelo, así como en su habilidad para transmitir calor, agua y gases (López, 2002).

### **2.3.1. Procesos de compactación del suelo**

Los procesos de compactación del suelo están determinados en gran parte por factores relacionados con el uso de maquinaria. Diversas actividades humanas pueden inducir esta compactación, especialmente en contextos de producción agrícola. Entre las causas más comunes se encuentran el pastoreo continuo, el uso frecuente de equipos agrícolas pesados, el tráfico de vehículos en campos de cultivo, la labranza intensiva, el uso excesivo del suelo y la eliminación de la cobertura vegetal natural. Estas prácticas deterioran la estructura del suelo, reduciendo su capacidad para sostener cultivos de manera eficiente (Masola, 2020). Se estima que alrededor de 68 millones de hectáreas de suelo del mundo están afectado por compactación debido al uso de maquinarias agrícolas.

### **2.3.2. Efecto de la compactación del suelo**

Esta es la razón más común para restringir físicamente el crecimiento y desarrollo de las raíces al reducir el espacio poroso en el suelo. Si los poros están comprimidos, de 0,2 a 0,3 mm de diámetro, es difícil que las raíces del cultivo penetren libremente en el suelo. La presión normalmente reduce el diámetro de los poros en el suelo, limitando el crecimiento de las raíces, pero sin influir demasiado en el paso del agua. La disminución en el tamaño de estos poros provoca una notable reducción en la velocidad con que el agua de lluvia penetra el suelo, dependiendo de cuánta porosidad haya en la superficie (Simone, 2005).

### **2.3.3. Consecuencias de la compactación en los suelos agrícolas**

La compactación del suelo afecta el crecimiento de la vegetación, el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Es el campo agronómico, en el cual se han realizado numerosos estudios de compactación, en particular sobre el efecto del tráfico de ruedas de la maquinaria agrícola sobre los índices de resistencia del suelo y su impacto en la emergencia, el desarrollo y el rendimiento del cultivo. Los datos que se recolectan incluyen resistencia del suelo o índice de cono (CI), densidad aparente del suelo, contenido de humedad del suelo, emergencia de la planta, altura de la planta y rendimiento del cultivo. En general, los resultados muestran que

los diferentes cultivos que crecen en un campo sin labranza desarrollan mejor que el caso de cultivos sometidos a labranza intensiva (Medina, 2016).

La FAO elaboró estudios en el campo forestal sobre densidad aparente. Afirma que el estrés provoca un aumento de la cohesión y, por tanto, un aumento de la resistencia al corte, lo que inhibe la formación y el desarrollo de la regeneración. Otra consecuencia es la reducción de la permeabilidad debido a la reducción de la macroporosidad, lo que significa menos humedad del suelo y mayor escorrentía por la misma ruta. La severidad del daño depende de la humedad del suelo y la frecuencia de carga. Cuanto mayor es la saturación del suelo, mayor es la pérdida de porosidad.

#### **2.4. Relación de la densidad aparente y la compactación del suelo**

Fundamentalmente, la compactación es un cambio en el volumen del suelo y la densidad aparente (DA) se utiliza como una simple medición física para la detección de la compactación. Junto con las variaciones en DA, ocurren otros cambios, como cambios en la estructura del suelo y la resistencia a la penetración. La DA cuantifica los cambios en el volumen, pero no es del todo apropiado para medir el impacto de compactación cuando se consideran diferentes texturas del suelo, puesto que la DA cambia con la textura (Salamanca y Sadeghian, 2005)

#### **2.5. Estado del arte**

##### **2.5.1. Antecedentes nacionales**

Velásquez (2019), menciona en su trabajo de investigación que tiene como principal objetivo evaluar la densidad y diversidad biológica en sistemas de uso del suelo en la localidad de Palo Acero, distrito de Monzón; los sistemas de suelo evaluados fueron el pasto, cultivo de plátano, cacao y maíz, como resultado se determinó que las características del suelo son sensible al cambio en el manejo agrícola, donde la densidad aparente y la materia orgánica es relacionado estrechamente con la macrofauna del suelo, y producto de ello nos sirve como indicador de la actividad biológica importante para su calidad de suelo y en tanto a la conservación.

Cuya (2011), evaluó “La densidad aparente del suelo como indicador ecológico para la restauración de plataformas y campamentos de petróleo en el bosque húmedo tropical” aplicaron el método del cilindro por ser uno de los más utilizado, ser fácil de determinar, muestrearon en 12 puntos revegetados situados en áreas de campamentos volantes y helipuertos. las zonas intervenidas tienen mayores valores de densidad aparente (DA); sin embargo, es

necesario tener en cuenta que la DA depende de la textura del suelo. Puesto que los suelos de las áreas de campamentos y helipuertos corresponden al grupo de texturas arcillosas.

### **2.5.2. Antecedentes internacionales**

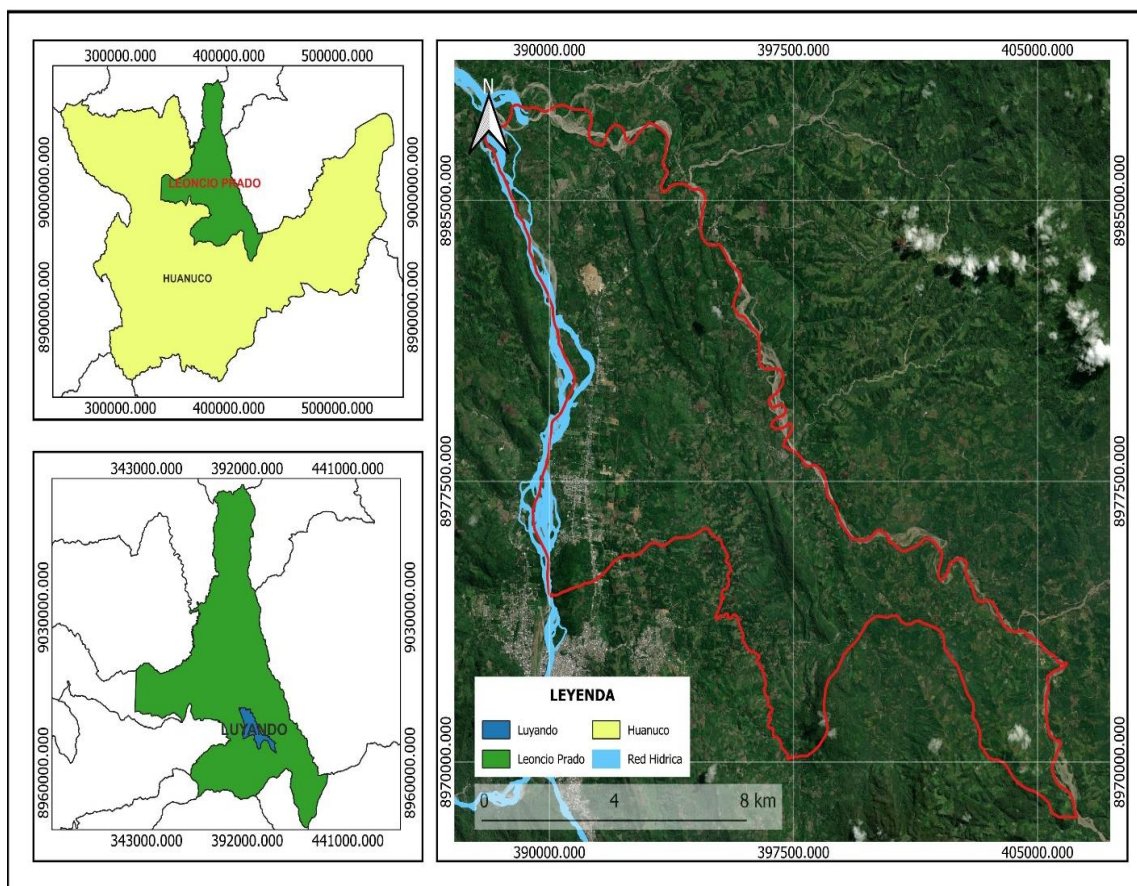
Aguero & Alvarado (1983), evaluó la compactación y compactibilidad de suelos en las tierras bajas de Guanacaste, Costa Rica. Analizaron muestras para contenido de materia orgánica, pH en H<sub>2</sub>O, cationes intercambiables, humedad contenida, características de agua del suelo (0,33 y 15 bares), densidad aparente y resistencia a la penetración. También se estimaron los límites de Atterberg y la compactibilidad de Proctor en cuatro de los 36 suelos representativos de la Provincia. La mayoría de los valores de resistencia a la penetración y densidad aparente estaban por encima los valores que limitan el rendimiento del cultivo mencionados en la literatura. En ganado la compactación de áreas ( $X = 62 \text{ kg / cm}^2$ ) duplica los valores encontrados en las tierras de cultivo ( $X = 30 \text{ kg / cm}^2$ ). El material original influyó en este parámetro; los valores más altos se encontraron en suelos derivados de la toba volcánica, seguidos por la materia de la Nicoya Complejo y las inundaciones del Valle del Tempisque. Vertisoles con el mayor índice plástico ( $P I = 46$ ) se vieron menos afectados por la compactación que la toba volcánica suelos derivados ( $P I = 8.8$ ).

Báez et al. (2018) realizaron una investigación sobre “Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca Chiapas, Mexico” Los suelos se clasificaron según su compactación (sin problema, leve, moderada y grave) considerando la textura y la densidad aparente, siguiendo criterios del USDA (1999). Los resultados muestran una compactación generalizada, tanto superficial como en el subsuelo, causada por el laboreo intensivo y la baja materia orgánica. Los Luvisoles y Acrisoles son más susceptibles por su alto contenido de arcilla en el subsuelo.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

La investigación se desarrolló en la jurisdicción del distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado, departamento Huánuco; El área se encuentra comprendida entre las coordenadas geográficas, 9° 14' 55.4'' latitud Sur, 75° 59' 37.4'' longitud Oeste a 647 m.s.n.m. (Figura 2).



**Figura 2.** Ubicación del área de estudio

#### 3.2. Características del área de estudio

Según el Informe Geológico Geotécnico del distrito de Luyando (2012), la geología del área de estudio tiene formaciones geológicas de litología y secuencia definidas secuencias calcáreas de caliza, limo arcillitas y lutitas distribuidos en grupos y los depósitos de conglomeración cuya edad está determinada desde el mesozoico, constituido por depósitos aluviales conformada por rocas y secuencias sedimentarias, conformados por terrazas de media altura y hacia las partes bajas los depósitos fluviales que discurre la cuenca Huallaga. Esta zona presenta un clima tropical y cálido propio a la selva alta con temperaturas que varían entre 17 y

29°C, 17°C, el cual corresponde a la temperatura mínima anual en promedio, y 29°C correspondiente a la temperatura máxima actual en promedio, la precipitación promedio anual de 3500 mm, siendo la temporada de invierno (octubre-abril), según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2020). El área estudiada pertenece a Bosque muy Húmedo Premontano Tropical (bmh – PT), de acuerdo con la clasificación de zona de vida y formaciones vegetales (Holdrige, 1997).

### **3.3. Materiales y equipos**

#### **3.3.1. Materiales de campo**

Pala recta, machete, wincha de 5m, bolsa de polietileno, libreta de campo, etiqueta de papel, plumones indelebles, botas de jebe.

#### **3.3.2. Materiales de laboratorio**

Probeta de 1000 cm<sup>3</sup>, vaso dispersante, cilindro metálico de 4 y 10 cm de alto x 6 cm de diámetro, sifón, pipeta y tamiz de 2 mm.

#### **3.3.3. Equipos de campo y laboratorio**

GPS, balanza gramera y analítica, estufa, cámara fotográfica, hidrómetro de Bouyoucos, termómetro, penetrómetro de cono, cronometro y permeámetro de laboratorio.

#### **3.3.4. Reactivos**

Parafina, hexametfosfato de sodio al 10%,

### **3.4. Criterios y análisis de investigación**

#### **a. Enfoque de la investigación**

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar la compactación del suelo mediante indicadores físicos y químicos (Hernández et al., 2014).

#### **b. Tipo de investigación**

Según Supo Quispe (2017), la investigación es de tipo aplicada, ya que busca analizar la relación entre la densidad aparente y los indicadores de compactación del suelo, determinando cómo una variable influye en la otra.

#### **c. Nivel de investigación**

Corresponde a un nivel de investigación descriptiva, ya que se describirá la densidad aparente y su relación con la compactación de suelos del distrito de Luyando (Hernández et al., 2014).

**d. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental - transversal, ya que se basa en la observación y análisis de datos en un solo punto temporal, sin intervención en las variables estudiadas (Hernández et al., 2014).

**e. Población y muestra**

La población y muestra estará constituida por 11, 300 hectáreas de superficie del distrito de Luyando, con una muestra de 43 puntos que representa 43 hectáreas de cultivo.

**f. Variable en estudio**

- Densidad aparente
- Indicadores de que expresan proceso de compactación

**3.5. Metodología**

**3.5.1. Determinación del área en estudio**

Para la determinación el tamaño de muestra se aplicó la fórmula propuesta por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019), en función de la superficie total de la zona a trabajar. Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$N = a + b (S)$$

N: Superficie total de la muestra (ha)

S: Superficie total a evaluar del área de la zona de interés (ha)

a: 5

b: 0.001

**Tabla 7.** Número mínimo de muestras

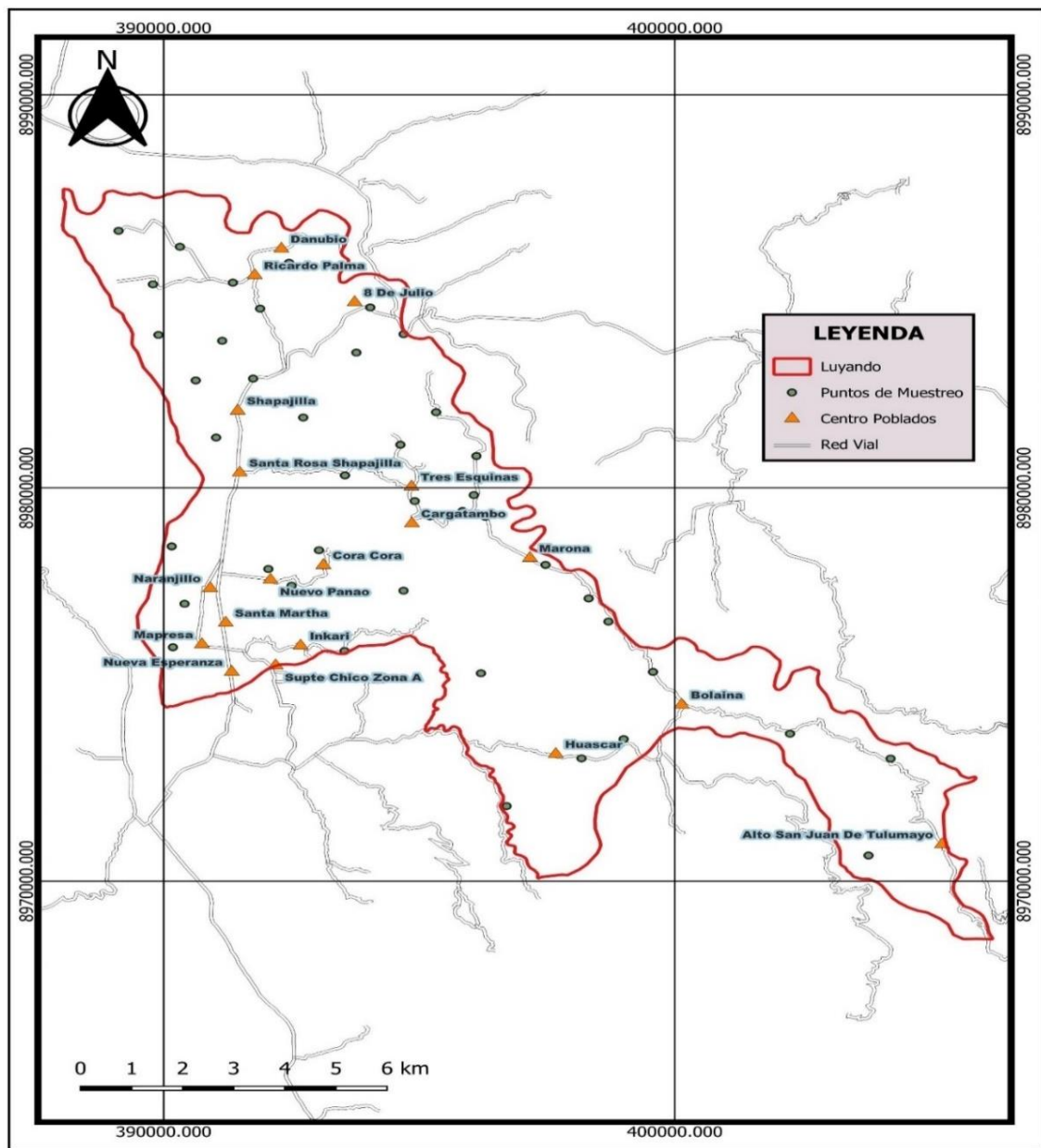
A	Constante	S (ha)	N
5	0.001	< 1 000	6
5	0.001	5 000	10
5	0.001	10 000	15
5	0.001	20 000	25
5	0.001	30 000	35
5	0.001	>50 000	55

Fuente: MINAM (2019)

Siendo un total de 11, 300 Ha de superficie, dándonos como resultado un total de 17 muestras, para que los resultados sean significativos estadísticamente se muestrearon 43 puntos.

### 3.5.2. Muestreo y análisis de suelos

Para los puntos de muestreo se seleccionó áreas agrícolas dentro del territorio del distrito de Luyando, áreas con cultivos de plátano y cacao. Del área en estudio, el número de muestra fue de 43 puntos de muestreo de manera aleatoria (0,00 a 0,20 m) de la capa arable, donde se seleccionan 43 sitios, de manera que cada miembro de una población tiene la misma independiente probabilidad de ser elegido, de esa forma tener resultados significativos. En la Tabla 10 y 11, se muestra los parámetros físicos y químicos a evaluar.



**Figura 3.** Mapa de la distribución de los puntos de muestreo sobre el territorio de Luyando

### 3.5.3. Determinación de la densidad aparente

Para la determinación de la DA, se usaron 2 métodos como se observa en el siguiente cuadro.

**Tabla 8.** Métodos para determinar la DA

Metodología	Descripción
Método de cilindro metálico	Consiste en tomar un volumen de suelo inalterado con ayuda de un cilindro metálico, conocer su peso y posteriormente ser llevado al horno a 105° C durante 24 horas. La densidad se determina por la relación entre el peso seco obtenido y el volumen correspondiente del cilindro (Villaseñor, 2016).
Método de terrón	Se sustraer un terrón del suelo inalterado, secarlo a temperatura ambiente, una vez seco el agregado, atarlo con ayuda de un hilo y conocer su peso del agregado, sumergirlo en la parafina fundida para impermeabilizarlo toda la superficie, una vez solidificada conocer su peso he introducirlo en una probeta graduada con un volumen conocido, para medir el volumen desplazado al sumergir el terrón (Villaseñor, 2016).

- Cálculo de la densidad aparente con el método del cilindro metálico.

$$DA = \frac{M_{ss}(\text{gr})}{V(\text{cm}^3)}$$

Donde:

DA = Densidad aparente

M<sub>ss</sub> = Masa o peso del suelo seco

V = Volumen del cilindro

- Cálculo de la densidad aparente con el método terrón parafinado.

$$DA = \frac{M_{ss}}{V_d - \left(\frac{M_{ssp} - M_{ss}}{0.9}\right)}$$

Donde:

DA = Densidad aparente  
 Mss = Masa o peso del terrón seco  
 Vd = Volumen desplazado  
 Mssp = Peso del suelo + parafina  
 0.9 = Densidad de la parafina

### 3.5.4. Indicadores que expresan proceso de compactación

Para evaluar la compactación del suelo se determinó los indicadores físicos y químico con los siguientes métodos:

**Tabla 09.** Parámetros a evaluar

Indicadores	Método de análisis
Resistencia a la penetración	Penetrómetro de cono
Conductividad hidráulica	Permeámetro de laboratorio
Capacidad de retención de agua	Doran y Linconl
Porosidad	Indirecto
Densidad real	Picnómetro
Textura	Bouyoucos
Materia Orgánica	Walkley y Black

La resistencia a la penetrabilidad del suelo se determinará por el método de penetrómetro de cono (USDA, 1999); la conductividad hidráulica con el método de permeámetro laboratorio Eijelkgamp; la capacidad de retención de agua con el método de (Doran y Linconl, 1999); la porosidad por el método indirecto; la densidad real se determinará con el método picnómetro (Villaseñor, 2016); la textura por el método del Hidrómetro de Bouyoucos (USDA, 1999) y la materia orgánica con el método de Walkley & Black (Bazán. 2017).

### 3.5.5. Análisis de correlación de person

Nos servirá para contrastar la hipótesis y se realizará la clasificación de correlación según, Hernández et al. (2014). El coeficiente “r” de Pearson puede variar de -1,00 (negativamente perfecta) a +1,00 (positiva perfecta) y 0.00 (no existe correlación).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Propiedades físicas y química del suelo

#### 4.1.1. Densidad aparente

Los resultados presentados en la Figura 14 muestran los valores de densidad aparente obtenidos mediante los métodos del cilindro metálico y del terrón parafinado. Los valores oscilan entre 0.92 y 2.07 g/cm<sup>3</sup> (Figura 15), y la mayoría de las muestras se clasifican en rangos de densidad baja a media para el método del cilindro metálico. Por otro lado, al utilizar el método del terrón parafinado, los valores obtenidos van de 0.99 a 2.94 g/cm<sup>3</sup> (Figura 15), y un mayor número de muestras se agrupan en categorías de densidad media a muy alta, según Cairo (1995).

**Tabla 10.** Clasificación de la densidad aparente (Cairo, 1995)

Clases	Densidad aparente	
	Método cilindro metálico	Método del terrón parafinado
Muy bajo	4	1
Bajo	11	5
Medio	18	19
Alto	5	6
Muy alto	5	12
Total	43	43

DA: densidad aparente

La determinación de la densidad aparente, mediante los dos métodos, se observa que el método del terrón parafina arroja valores más elevados a comparación del método del cilindro metálico. Esta diferencia en los resultados coincide con lo reportado por Solgi et al. (2018), quienes observaron que el método del terrón parafinado generaba valores de densidad aparente superiores en comparación con el cilindro metálico. Según Zefanias et al. (2019), la diferencia observada puede explicarse por la penetración de la parafina en los poros de los terrones, lo que reduce el volumen medido y, por ende, incrementa la densidad aparente del suelo. Esta interacción entre la parafina y los poros podría alterar las mediciones, provocando que el método del terrón parafinado arroje valores más altos que el del cilindro metálico, como se ha evidenciado en investigaciones anteriores.

#### 4.1.2. Indicadores que expresan proceso de compactación

Para evaluar la compactación del suelo como indicador de su condición física, se utilizaron los valores de densidad aparente obtenidos mediante el método del cilindro, cuyos resultados se presentan en la Figura 14. La densidad aparente promedio, calculada a partir de las 43 muestras analizadas, fue de 1,29 g/cm<sup>3</sup> (Tabla 12), lo que corresponde a una clasificación de densidad media según los criterios propuestos por Cairo (1995). El valor máximo encontrado de la densidad aparente fue de 2.07 g/cm<sup>3</sup>, corresponde a una muestra obtenida de un suelo de textura arcillosa (Figura 16), los suelos arcillosos, al poseer las partículas más pequeñas y poros de menor tamaño, son más susceptible a compactarse, los suelos al compactarse experimentan disminución en la porosidad y a consecuencia de esto aumenta la densidad aparente (Castillo, 2005). Actualmente estos suelos vienen siendo cultivado con cacao y con antecedentes de haber sido utilizado para el cultivo de coca, el cual requiere una preparación intensiva del suelo, ya que la actividad humana, particularmente el cultivo continuo acompañado de prácticas de manejo inapropiadas, tiene un impacto negativo en las propiedades físicas del suelo, alterando su estructura del suelo y generando aumento en la densidad aparente (Ocampo et al., 2020).

**Tabla 11.** Relación de la DA y el crecimiento de las raíces en función la textura del suelo.

Clase textural	Total, casos	DA Ideal	DA que puede afectar el crecimiento radicular		DA que restringe crecimiento radicular		
		(g/cm <sup>3</sup> )	casos	(g/cm <sup>3</sup> )	casos	(g/cm <sup>3</sup> )	casos
Arcillo limoso	3	< 1.1	0	1.39 - 1.58	1	> 1.58	
Arcilloso	7	< 1.1	0	1.39 - 1.47	1	> 1.47	3
Franco, franco-arcillo, franco arcillo arenoso	22	< 1.4	15	1.6 - 1.75	3	> 1.75	1
Franco arcillo limoso, franco limoso	6	< 1.4	6	1.55 - 1.65	0	> 1.65	0
Franco arenoso	5	< 1.4	5	1.63 - 1.8	0	> 1.8	0
Total	43		26		5		4
%	100		60.47		11.63		9.30

USDA(1999).

Estos valores elevados de densidad aparente que coinciden con los resultados reportados por (Gracey, 2010; Camayo, 2011), quienes utilizaron el método del cilindro para determinar la densidad en suelos de la provincia de Leoncio Prado, bajo el mismo tipo de cultivo de coca. En sus estudios, los autores obtuvieron un valor promedio de 1.87 g/cm<sup>3</sup>. Por otro

lado, el valor mínimo de la densidad aparente fue de  $0.92 \text{ g/cm}^3$  (tabla 12), es una muestra colectada en una zona al margen del río Huallaga, zonas con cultivo de plátano, con una textura de franca (Figura 16). De acuerdo con los rangos establecidos por el USDA (1999), el 60% de las muestras se encuentra dentro del rango considerado ideal para el desarrollo de las raíces. No obstante, un 11% de las muestras presentó valores de densidad aparente que podrían limitar el crecimiento radicular, mientras que en el 9% la compactación es tal que representa una restricción significativa para dicho desarrollo (Tabla 11).

De acuerdo con los resultados obtenidos, 33 de las muestras analizadas presentan una textura franca, como se detalla en la Figura 16, y registran una densidad aparente inferior a  $1,4 \text{ g/cm}^3$ . Este valor sugiere que estos suelos no presentan indicios de compactación significativa, lo cual es favorable para el desarrollo de raíces. Por otro lado, 10 muestras corresponden a suelos de textura arcillosa, con densidades aparentes superiores a  $1,47 \text{ g/cm}^3$ , lo que indica una compactación de grado moderado, conforme a los rangos establecidos por el USDA (1999). Este parámetro resulta particularmente relevante, ya que los suelos con mayor contenido de arcilla tienden a ser más susceptibles a la compactación en comparación con aquellos de textura más arenosa (Richart et al., 2005; Bergamin et al., 2010).

Los 43 puntos de muestreo evaluados a una profundidad de 0–20 cm, registraron una resistencia promedio a la penetración de  $2,72 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 12), lo que ubica al suelo dentro de la categoría “duro”. No obstante, los valores individuales oscilaron entre  $1,25 \text{ kg/cm}^2$  a  $4,31 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 12) estando en un nivel de suave a extremadamente duro, propuesta por ICT (2004). El punto de muestreo 2 presentó la menor resistencia, mientras que el punto 11 mostró la mayor (Figura 16), lo cual indica una compactación especialmente elevada en este último, clasificándose como “muy duro” rango. Estudios previos sugieren que resistencias entre 1,5 MPa y 3 MPa ya dificultan significativamente el crecimiento del sistema radicular (Ishaq et al., 2001; Pedrotti et al., 2001). De hecho, buena parte de las muestras sobrepasó los  $2 \text{ kg/cm}^2$ , confirmando la presencia de capas del suelo con compactación que pueden limitar el desarrollo vegetal. Estos resultados permiten la identificación de las capas compactadas del suelo de las zonas evaluadas (De León et al., 1998).

La Figura 16 se presentan los valores de conductividad hidráulica (K) medidos en diversos puntos de muestreo. En la mayoría de los sitios, K es inferior a  $0,5 \text{ m/d}$ , lo que corresponde a una velocidad de flujo moderadamente rápida a muy lenta según Villon (2017),

mientras que el promedio fue de 0.62 m/d, estando en una clasificación de flujo moderado, mientras que los valores oscilaron entre 0.02 m/d a 2.03 m/d, presentando un flujo de muy lenta a moderadamente rápida. La muestra 1 y 11 registró el valor mínimo de 0,02 m/d a 20 cm de profundidad (Figura 16), lo que indica una conductividad muy lenta y sugiere una elevada retención de agua en la zona superficial del suelo asociada a la reducción de Macroporosidad y al incremento de la densidad aparente del suelo, factores que limitan el paso del agua (Cid-Lazo et al., 2020).

Se registró un promedio de 3.61 % de materia orgánica (MO) en los puntos de muestreo analizados, conforme a los datos presentados en la Tabla 12. De acuerdo con la clasificación propuesta por Bazán (1996), este valor corresponde a un nivel alto de MO. Se observó una relación inversa entre el contenido de materia orgánica y dos propiedades físicas del suelo: la densidad aparente y la resistencia a la penetración. Específicamente, los suelos con mayor contenido de MO presentaron menor densidad aparente y menor resistencia a la penetración. En contraste, los suelos con menor porcentaje de MO mostraron valores elevados en ambas propiedades. Un ejemplo representativo es la muestra 1, la cual presentó el valor más bajo de 1.29 % MO (Figura 16) y, simultáneamente, mostró alta densidad aparente y elevada resistencia a la penetración. Estos resultados indican la posible existencia de capas compactadas en el perfil del suelo, lo que podría restringir el desarrollo radicular y, por ende, el crecimiento vegetal. Esta relación se explica por el papel de la materia orgánica en la estructura del suelo, ya que posee propiedades aglutinantes que favorecen la formación de agregados estables. Como resultado, se mejora la estructura del suelo, se reduce su densidad y se incrementa su capacidad para resistir la compactación o mitigar sus efectos adversos (Braidá, 2004; Braidá et al., 2010; Menezes et al., 2020).

Mientras que los resultados de la porosidad total, se obtuvo un promedio de 50.26% clasificándolo una porosidad total alta, los valores individuales estuvieron en un rango de 23.15% a 65.23% clasificando una porosidad total de muy bajo a muy alto, propuesto por Cairo (1995). En los suelos que presentan indicios de compactación, se observa una disminución de la porosidad total, lo cual está relacionado con el incremento de la densidad aparente. Este comportamiento es evidente en la muestra 1, la cual presenta una densidad aparente elevada de 2.07 g/ cm<sup>3</sup> y una porosidad total de 23.15 % (Figura 16). En contraste, la muestra 20 registra la densidad aparente más baja de 0.97 g/ cm<sup>3</sup>, con una porosidad total de 65.23 % (Figura 16). Esta

relación inversa entre densidad aparente y porosidad total señala que a medida que aumenta la densidad del suelo, disminuye la porosidad total (Stone et al., 2002; Andreotti et al., 2010).

De acuerdo a los resultados de la tabla 12 se puede apreciar que la capacidad de retención de agua, tiene un promedio de 42.27%, este parámetro generalmente está relacionado con la estructura del suelo, porosidad y clase textural. Para los suelos con textura arenosa suelen tener un bajo porcentaje de humedad a comparación con los suelos de textura arcillosa este se debe principalmente a la distribución y tamaño de poros (Lince, 2021). Como se puede apreciar en la muestra 31 (Figura 16), presenta un porcentaje de humedad de 63.42% para un suelo de textura arcillosa, al dominar esta textura, en la porosidad total del suelo, existe mayor presencia de los microporos y los microporos son las encargadas de retener el agua, por otra parte la muestra 1 presenta el porcentaje más bajo de humedad (Figura 16), debido a la influencia con los otros parámetros, que han conllevado a la resistencia mecánica del suelo para retener al agua, debido a la alteración de su estructura (Rucks et al., 2004). También se determinó la DR la cual vario de 2.47 g/ cm<sup>3</sup> a 2.69 g/ cm<sup>3</sup> según la tabla 12, indicándonos como horizontes minerales (Porta et al., 2003), con un coeficiente de variación de 2.26%.

**Tabla 12.** Estadística descriptiva de los indicadores que expresan proceso de compactación

Parámetro	Und.	Media	Mínima	Máxima	CV (%)
Arena	%	33.84	4.96	77.30	48.94
Arcilla	%	28.64	8.64	61.32	52.92
Limo	%	37.52	12.06	54.00	21.75
Densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>	1.29	0.92	2.07	18.74
Densidad real	g/cm <sup>3</sup>	2.60	2.47	2.69	2.26
Resistencia a la penetración	kg/cm <sup>2</sup>	2.72	1.25	4.31	25.77
Conductividad hidráulica	m/día	0.62	0.02	2.03	80.82
Capacidad de retención de agua	%	42.27	24.57	63.42	21.97
Materia orgánica	%	3.61	1.29	4.94	26.05
Porosidad	%	50.26	23.15	65.23	18.10

DR: densidad real, RP: resistencia a la penetración, K: conductividad hidráulica, CRA: capacidad de retención de agua, MO: materia orgánica, CV: coeficiente de variación.

#### 4.2. Correlación de Pearson

En la Tabla 13 se presentan los resultados de correlación entre la densidad aparente y diversos indicadores relacionados con el proceso de compactación del suelo (Hernández et al., 2014). La densidad aparente (DA) muestra una correlación negativa significativa media a (-0.36\*) con el contenido de arena, esto se debe a que, al incrementarse la proporción de arena, los valores de DA tienden a disminuir, esto ocurre porque las partículas de arena, con diámetros que oscilan entre 0.05 y 2 mm, favorecen la circulación de aire y agua, incrementando la porosidad del suelo (Borges et al., 2014). Por otro lado, el contenido de arcilla presenta una correlación positiva altamente significativa media (0.45\*\*) con la DA, una mayor proporción de arcilla incrementa la densidad aparente, lo cual afecta negativamente al suelo. Esto se debe al menor tamaño de las partículas de arcilla, lo que reduce significativamente el tamaño de los poros y, en consecuencia, compacta el suelo (Bustamante León et al., 2018). Esta relación también se refleja en la conductividad hidráulica (K), que muestra una correlación negativa altamente significativa considerable con la DA (-0.57\*\*), altos valores de densidad aparente, asociados a una mayor concentración de arcilla en los puntos de muestreo, impactan negativamente la K, al reducirse la velocidad de infiltración del agua debido a la limitada capacidad de los poros (Villon, 2006).

**Tabla 13.** Coeficiente de correlación de Pearson

Parámetros	DA	Arena	Limo	Arcilla	K	M.O	DR	PT	CRA	RP
DA	1.00	-0.36*	-0.10	0.45**	-0.57**	-0.60**	0.14	-0.99**	0.02	0.71**
Arena		1.00	-0.41**	-0.87**	0.64**	0.53**	0.16	0.39*	-0.61**	-0.38*
Limo			1.00	-0.09	-0.05	0.06	-0.06	0.09	0.04	-0.07
Arcilla				1.00	-0.68**	-0.61**	-0.15	-0.47**	0.64**	0.45**
K					1.00	0.38*	0.12	0.60**	-0.38*	-0.49**
M.O						1.00	-0.01	0.60**	-0.09	-0.45**
DR							1.00	-0.02	-0.18	0.09
PT								1.00	-0.05	-0.71**
CRA									1.00	0.01
RP										1.00

DA: densidad aparente, K: conductividad hidráulica, MO: materia orgánica, DR: densidad real, PT: porosidad total, CRA: capacidad de retención de agua, RP: resistencia a la penetración.

La DA y PT presenta una correlación negativa altamente significativa perfecta (-0.99\*\*), los cambios de la DA provocan un desequilibrio en la relación DA y PT, con un alto valor

de la DA aumenta la resistencia mecánica del suelo y la porosidad tiende a disminuir (Rubio Gutiérrez, 2010). Mientras que la DA y RP presenta una correlación positiva altamente significativa considerable ( $0.71^{**}$ ), esto se debe por la estrecha relación que se tienen, la RP aumenta en función de la DA. Esto se evidencia con la correlación de la RP y la arcilla la cual muestra una correlación positiva altamente significativa media ( $0.45^{**}$ ), entre ambos parámetros, impacta negativamente en la DA (Castillo, 2005). La DA y M.O existe una correlación negativa altamente significativa considerable ( $-0.60^{**}$ ), esto se debe que a medida que los valores de M.O tiende a bajar, genera deterioro en la estructura, disminuyendo la porosidad total y aumenta la DA significativamente, afectando los suelos (Rubio Gutiérrez, 2010). De igual manera existe correlación altamente significativos entre la arena y la CRA ( $-61^{**}$ ), como también la MO y la PT ( $61^{**}$ ).

## V. CONCLUSIÓN

1. Se determinó la densidad aparente con los 2 métodos planteados, dando como resultado que el método del cilindro arroja valores más confiables para determinar la DA.
2. Los indicadores que expresan proceso de compactación dieron como resultados, textura del suelo que varió de arcilloso a arena franca, la DA dieron resultados muy característicos para suelo ideal para el desarrollo de las raíces, que podrían limitar el crecimiento y que restringe significativamente para dicho desarrollo, mientras que la RP varió de suelos suaves a extremadamente duro, la K varió de muy lenta a moderadamente rápida, la M.O se registró niveles que van de bajo a alto, la PT del suelo varió de muy bajo a muy alto, la capacidad de retención de agua estuvo en un rango de 24.57% a 63.42% y la DR se caracterizó para horizontes minerales.
3. La densidad aparente dio una correlación negativa significativa media con la arena, mientras que con la arcilla demostró una correlación positiva altamente significativa medio, con la conductividad hidráulica tuvo una correlación negativa altamente significativa considerable, para porosidad total dio una correlación negativa altamente significativa perfecta, la resistencia a la penetración dio una correlación positiva altamente significativo considerable y con la materia orgánica tuvo una correlación negativa altamente significativa considerable.
4. De acuerdo a los resultados la densidad aparente, nos indica y nos permite conocer el estado del suelo por compactación, debido a la estrecha relación que tiene con las otras propiedades del suelo, clasificando el distrito de Luyando con compactación que va de sin problema a grave.

## **VI. PROPUESTA A FUTURO**

1. Ampliar la investigación con más puntos de muestreo, con el propósito de obtener información más precisa que ayude a tomar mejores decisiones de restauración de los suelos del distrito de Luyando.
2. Utilizar el método del cilindro metálico para analizar la densidad aparente del suelo ya que nos permite mostrar resultados más confiables del estado del suelo por compactación.
3. Establecer la relación de los sistemas de uso con el proceso de compactación, etc

## VII. REFERENCIAS

- Andreotti, M., Passos e Carvalho, M., Montanari, R., Carvalho Basso, F., Magalhães Pariz, C., Vieira Azenha, M., & Vercese, F. (2010). Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um Latossolo Vermelho do cerrado brasileiro. Brasil. [En línea]: <https://www.scielo.br/j/cr/a/ZyxcrZM3GsPqfBshcszX5cC/?format=html&lang=pt>
- Arribillaga, D. G., Hidalgo, D. A., Rozas, V. C., & INIA, T. A. (2013). Retencion de agua en las series de suelo del valle de Chile Chico. Chile: INIA TAMEL AIKE [En línea]: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/de26d7d4-a13b-4a33-a4dc-de90904217cd/content>
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R., Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. México. 13(2):90-97. [En línea]: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Bazán, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), 89. [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/BazanManual\\_de\\_procedimientos\\_de\\_los.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/BazanManual_de_procedimientos_de_los.pdf)
- Bergamin, A. C., Tadeu Vitorino, A. C., Franchini, J. C., Alves de Souza, C. M., & Régis de Souza, F. (2010). compactação em um latossolo vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. Brasil. [En línea]: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sgxJsJyxNqQjT6J7gQ8YHBb/?format=pdf&lang=pt>
- Borges, L., Moo, C., Ruíz, J., Osalde, M., González, C., Yam, C., & Can, F. (2014). Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. [En línea]: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952014000400001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000400001)
- Bustamante, M., Chabla, J., & Barrezueta, S. (2018). La densidad y humedad crítica como indicadores de la compactación de suelos cultivados con banano. Revista Científica Agroecosistemas, 6(1), 169–174. [En línea]: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/download/179/214/409>

- Blanco Sepulveda, R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. España: Universidad de Málaga. [En línea]: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S140531952009000300002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952009000300002)
- Braida, J. A. (2004). Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto. Brasil. [En línea]: [file:///C:/Users/A/Downloads/Tese\\_Doutorado\\_BraidaJA\\_1.pdf](file:///C:/Users/A/Downloads/Tese_Doutorado_BraidaJA_1.pdf)
- Braida, J., Reichert, J., Reinert, D., & Da Veiga, M. (2010). Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. Brasil. [En línea]: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/PvQL6HwB9LpK88DxJpYmz8t/?format=pdf&lang=pt>
- Cairo P. 1995. La Fertilidad Física de suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico. UNA - Managua, Nicaragua. 228p.
- Castillo Cerna, C. M. (2005). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca cuscama el tuma - la dalia matagalpa .Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. [En línea]: <https://repositorio.una.edu.ni/1094/1/tnp35c352.pdf>
- Camayo Salazar , E. J. (2011). cuantificación de la macrofauna en relación con las propiedades de los suelos residuales de la laguna los milagros - Aucayacu. Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Cid-Lazo, G., López-Seijas, T., Herrera-Puebla, J., & González-Robaina, F. (2020). Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos. Cuba. [En línea]: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586266250001/html/>
- De León González, F., Payán Zelaya, F., & Sánchez, R. (1998). Localización de capas compactadas en el perfil del suelo mediante penetrometría. Mexico : Terra Latinoamericana, vol. 16, núm. 4. [En línea]: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57316402.pdf>
- Fassbender, H. 1975. Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2ed. San José, Costa Rica. IICA. 404 p.
- Fernández Sampieri , R. (2014). metodología de la investigación . Mexico. [En línea]: <https://www.esup.edu.pe/wpcontent/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptistametodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

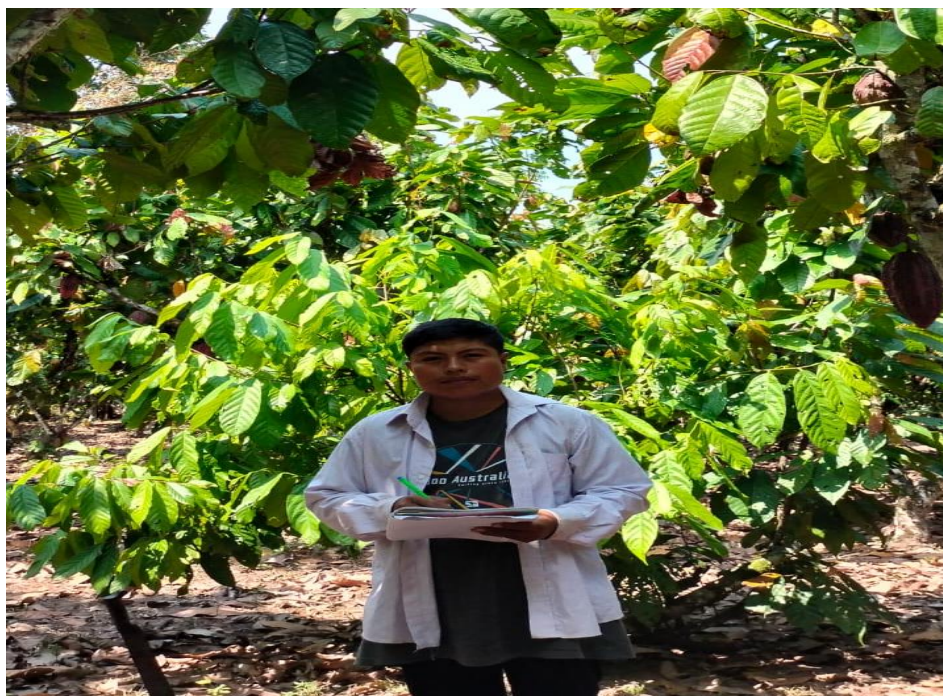
- UNP. (2019). Porosidad y aireacion, densidad real y aparente. Argentina: Universidad Nacional de la Plata. [En línea]: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod\\_resource/content/1/POROSIDAD%20Y%20AIREACION%2026-3-19.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod_resource/content/1/POROSIDAD%20Y%20AIREACION%2026-3-19.pdf)
- Geotecnico, I. G. (2012). Informe geologico geotecnico en el distrito de Luyando. Perú. [En línea]: <https://es.scribd.com/document/175795119/Informe-Geologico-Geotecnico>
- González Barrios, J. L., González Cervantes, G., Sánchez Cohen, I., López Santos, A., & Valenzuela Núñez, L. M. (2011). Caracterizacion de la porosidad edafica como indicador de la calidad fisica del suelo. Mexico: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. [En línea]: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57322342002.pdf>
- Guitierrez Marroquin, J (2018). Diagnóstico de la compactación de suelos arroceros del municipio de Campoalegre-Huila. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. [En línea]: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69299/1075251960.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gracey Coronado, J. R. (2010). la mesofauna y macrofauna en relaciona las propiedades físicas y químicas del suelo de ex cocal y bosque secundario en el sector de los milagros. Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (6.ª ed.). Mc Graw Hill Education.
- Holdridge, L. R. (1967). [En línea]: (<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19670604180> zone ecology)
- ICT. 2004. Manejo y transferencia de tecnología del cacao en el Perú. Instituto de cultivos tropicales - Chiclayo, Perú. 389 p.
- Lince, S. L. (2021). Capacidad de almacenamiento de agua en suelos cultivados en café y otras propiedades edáficas relacionadas. Colombia: Cenicafé. [En línea]: <https://www.cenicafe.org/es/publications/e72101.pdf>
- Ishaq, M., Ibrahim, M., Hassan, A., Saeed, M., Lal, R., 2001. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan. II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. Soil Till. Res., submitted for publication.

- López Falcón , R. (2002). Degradacion del suelo, causas, procesos, evaluacion e investigacion . Venezuela : Centro Interamericano de Desarrollo e Investigacion Ambiental y Territorial. [En línea]: <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libroselectronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Masola, M. J. (2020). Propagacion laterales de la compactacion por transito de la maquinaria agricola: ¿afecta la calidad del suelo, el intercambio gaseoso y la productividad de los cultivos? Mexico: Universidad Nacional del Litoral.
- Medina M., C. (2016). Efecto de la compactacion de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Colombia : Revista Colombiana de Ciencia Animal. [En línea]: <file:///C:/Users/alex/Downloads/admin,+reciav8n1a13.pdf>
- Menezes, K. C. (2020). A importância da elasticidade da matéria orgânica e de sua atuação na estabilidade dos agregados para o controle da compactação do solo. Brasil. [En línea]: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/14442/11993>
- MINAGRI (2017). Programa presupuestal multisectorial 0089: "Reduccion de la degradacion de los suelos agrarios". Peru. [En línea]: <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/programas-presupuestales/inf-programa/anexo2-pp89-2017.pdf>
- Molera, M. J., & Llitjos, V. A. (1995). Estudio de cuatro adaptaciones escolares de metodos de observacion y determinacion de la textura del suelo. España: Universidad De Barcelona . [En línea]: <file:///C:/Users/alex/Downloads/89229-Text%20de%20l'article-141708-1-10-20080801.pdf>
- Ocampo Quijano, L., Osorio Vega , W., Martinez Atencia , J., & Cabrera Torres , K. (2020). La densidad aparente y el tamaño de agregados del suelo controlan el crecimiento radical de *Megathyrus maximus*. Colombia. [En línea]: <https://www.redalyc.org/journal/1699/169975160013/html/>
- Pedrotti, A.; Pauletto, E. A; Crestana, S.; Ferreira, M. M.; Dias Junior, M. S.; Gomes, A. S.; Turatti, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.521-529, 2001.

- Pennock, D., & Mckenzie, N. (2015). Estado Mundial del recurso Suelo. Roma: Organización de las naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea]: <https://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf>
- Porta, J., et al. (2003). Edafología. (3.ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa
- Richart, A., Tavares Filho, J., Rodrigues Brito, O., Fuentes Llanillo, R., & Ferreira, R. (2005). Compactação do solo: causas e efeitos. Basil: Semina: Ciências Agrárias, vol. 26, núm. 3. [En línea]: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744077016.pdf>
- Rojas Briceño, N. B., Barboza Castillo, E., Maicelo Quintana, J. L., Oliva Cruz, S. M., & Salas López, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles. [En línea]: <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Rojas, J. M. (2012). Densidad aparente: Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa . Argentina : Centro Regional Formosa Estacion Experimental Agropecuaria. [En línea]: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-\\_densidad\\_aparente.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf)
- Rubio Gutiérrez, A. M. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. España. [En línea]: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill . (2004). Propiedades Físicas del Suelo .Uruguay. [En línea]: <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sagarpa, (2012). Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo. [En línea]: [http://smye.info/rn/ind\\_fin/suelos/Documento-metodologico\\_suelos.pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento-metodologico_suelos.pdf), 02 noviembre 2015
- Salamanca, J. A., & Sadeghian, K. S. (2005). La densidad aparente y su relacion con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Colombia: Cenicafe, 56(4):381-397. [En línea]: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>

- Sanchez Blandon , Y. A. (2019). Determinacion de la condctividad hidraulica para diversas nuestras de suelo caolinitico no saturado con adiccion de diatomeas por medio del filtrometro minidisco. Colombia : Universidad Catolica de Colombia. [En línea]: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23890/1/tg%20firma4.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (2020). Descarga de datos Meteorológicos a nivel nacional. [En línea]: <https://senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Simone. (2005). Solucion para la compactacion dels uelo . Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. [En línea]: [https://digital-library-drupal.s3.sa-east-1.amazonaws.com/library-content/soluciones\\_para\\_la\\_compactacion\\_del\\_suelo.pdf](https://digital-library-drupal.s3.sa-east-1.amazonaws.com/library-content/soluciones_para_la_compactacion_del_suelo.pdf)
- Solgi, A., Naghdi, R., Labelle, E., Tsioras, P., & Salehi, A. (2018). Comparación de los métodos de muestreo utilizados Para evaluar la densidad aparente del suelo forestal. Iran.
- Stone, L. F., Guimarães, C. M., & Moreira, J. A. (2002). Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. Brasil. [En línea]: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/5cMhQsJNc7HVbG4FJXvNYxv/?lang=pt>
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y la salud del suelo. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. 82 p. [En línea]: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Villon Bejar, M. (2006). Drenaje. Costa Rica: Editorial Tecnologica de Costa Rica. [En línea]: [https://books.google.com.pe/books?id=CmZpRBTAAn0C&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22M%C3%A1ximo+Vill%C3%B3n+B%C3%A9jar%22&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.pe/books?id=CmZpRBTAAn0C&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22M%C3%A1ximo+Vill%C3%B3n+B%C3%A9jar%22&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true)
- Zefanias, D., Bueno, S., Alves, R., Rodrigues, I., & Miranda, R. (2019). Uso de tuberías de PVC para determinar la densidad aparente en la gestión del riego. Brasil: Revista Ciência Agronômica, v. 50, n. 1, pág. 2737.
- Zavaleta, G. 1992. Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. Lima, Perú.

## ANEXOS



**Figura 4.** Recolección de información del área en muestreo



**Figura 5.** Recolección de muestra para densidad aparente y conductividad hidráulica



**Figura 6.** Lectura in situ de la resistencia a la penetración del suelo



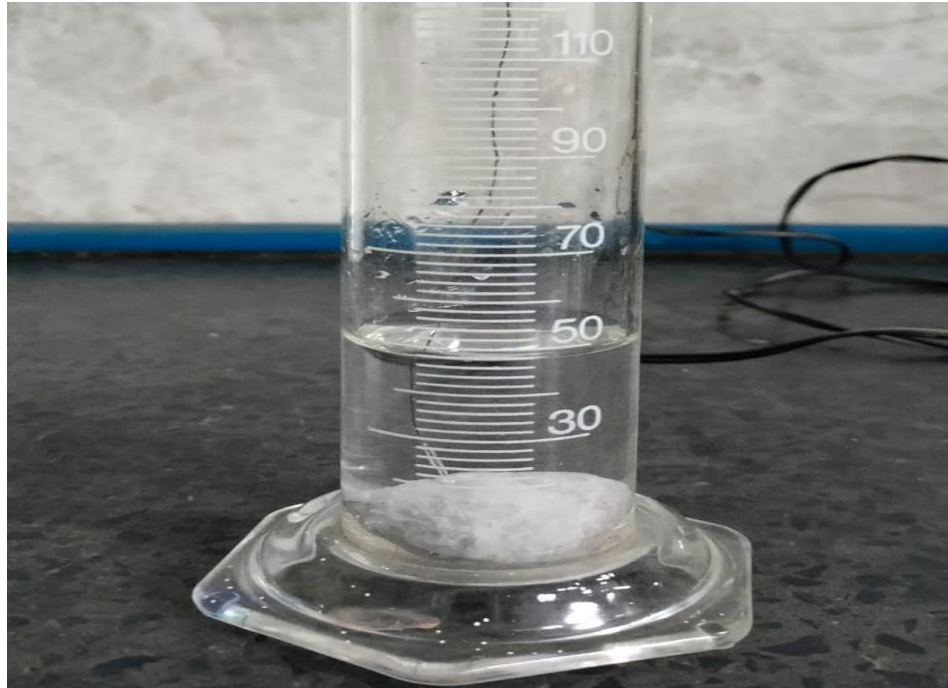
**Figura 7.** Secado de las muestras para densidad aparente (método de terrón parafinado)



**Figura 8.** Muestras de densidad aparente en estufa



**Figura 9.** Pesado de muestras



**Figura 10.** Muestras con parafina sumergido a una probeta con agua destilada



**Figura 11.** Preparación de muestra para el análisis de conductividad hidráulica



**Figura 12.** Análisis de conductividad hidráulica



**Figura 13.** Análisis de conductividad hidráulica

Punto	Este	Norte	D.A(Cilindro)	D.A(Terron)
1	398316	8977188	2.07	2.94
2	398703	8976600	1.28	1.55
3	399575	8975322	1.21	1.39
4	399001	8973612	0.97	1.25
5	393541	8975852	1.33	1.53
6	393040	8978414	1.14	1.20
7	392504	8977514	1.23	1.48
8	392049	8977937	1.20	1.32
9	397472	8978044	1.50	1.73
10	396292	8979269	1.31	1.37
11	395210	8979279	1.81	2.06
12	394913	8979667	1.48	1.60
13	393548	8980320	1.35	1.63
14	395848	8979414	1.30	1.37
15	396070	8979819	1.22	1.34
16	396120	8980811	1.66	2.03
17	395332	8981925	1.70	1.92
18	394695	8983910	0.94	0.99
19	390629	8982734	0.93	1.20
20	389899	8983891	0.92	1.00
21	389791	8985179	1.12	1.43
22	390319	8986133	1.13	1.18
23	391355	8985220	1.21	1.63
24	394043	8984590	1.64	2.05
25	391888	8984560	1.13	1.16
26	391751	8982780	1.08	1.40
27	391027	8981280	1.13	1.21
28	390182	8975948	1.03	1.07
29	390158	8978513	1.12	1.33
30	390409	8977053	1.43	1.52

31	392454	8985726	1.54	1.72
32	391146	8983741	1.23	1.32
33	398176	8973122	1.50	1.75
34	394694	8977387	1.42	1.55
35	404187	8973080	1.24	1.44
36	402232	8973759	1.20	1.28
37	394633	8981098	1.32	1.41
38	396642	8971942	1.28	1.30
39	389119	8986538	1.12	1.18
40	393771	8983442	1.15	1.41
41	392731	8981791	1.31	1.40
42	396209	8975288	1.14	1.43
43	403807	8970527	1.51	1.96

**Figura 14.** Resultados del análisis de DA.

Parámetro	Und.	Media	Mínima	Máxima	CV (%)
Densidad aparente (Método del cilindro metálico)	g/cm <sup>3</sup>	1.29	0.92	2.07	18.74
Densidad aparente (Método del terrón)	g/cm <sup>3</sup>	1.49	0.99	2.94	23.66

**Figura 15.** Análisis estadístico de la densidad aparente

Punto	Arena %	Arcilla %	Limo%	Textura	DA	DR	RP	K (M/D)	CRA	M.O%	Porosidad %
1	17	47	36	Arcilloso	2.07	2.69	4.24	0.02	24.57	1.29	23.15
2	31	35	34	Franco Arcilloso	1.28	2.53	1.25	0.13	56.08	3.59	49.37
3	29	23	48	Franco	1.21	2.64	1.32	0.59	45.80	4.13	54.14
4	43	21	36	Franco	0.97	2.57	1.51	0.68	38.73	3.97	62.27
5	21	33	46	Franco Arcillo Limoso	1.33	2.50	2.86	0.19	46.96	3.75	46.74
6	53	15	32	Franco Arenoso	1.14	2.47	2.51	0.92	36.62	4.67	53.83
7	39	19	42	Franco	1.23	2.51	2.87	0.59	39.32	4.35	51.08
8	41	19	40	Franco	1.20	2.68	2.21	0.59	38.73	4.22	55.14
9	39	23	38	Franco	1.50	2.61	2.88	0.32	27.69	2.91	42.58
10	25	31	44	Franco Arcillo Limoso	1.31	2.52	2.07	0.16	41.70	2.78	47.99
11	31	39	30	Franco Arcilloso	1.81	2.57	4.31	0.02	27.48	1.33	29.49
12	49	29	22	Franco Arcillo Arenoso	1.48	2.64	3.02	0.22	42.29	4.75	43.99
13	33	21	46	Franco	1.35	2.55	3.00	0.45	43.80	4.18	47.09
14	29	29	42	Franco Arcillo Limoso	1.30	2.61	2.81	0.24	51.98	3.81	48.19
15	27	23	50	Franco Limoso	1.22	2.69	2.85	0.43	46.51	4.24	54.63
16	31	23	46	Franco	1.66	2.65	3.15	0.31	40.41	3.21	37.47
17	39	27	34	Franco	1.70	2.68	3.40	0.24	44.23	3.43	36.58
18	77	11	12	Arena Franca	0.94	2.64	1.94	1.51	30.25	4.27	64.37
19	53	13	34	Franco Arenoso	0.93	2.65	3.00	1.06	38.11	4.75	64.85
20	51	13	36	Franco	0.92	2.65	1.83	1.09	47.38	4.29	65.23
21	37	21	42	Franco	1.12	2.64	2.86	0.55	40.49	4.29	57.64
22	47	15	38	Franco	1.13	2.68	2.50	1.07	37.58	4.94	57.80

23	49	19	32	Franco	1.21	2.66	2.12	0.66	30.05	4.18	54.47
24	53	23	24	Franco Arcillo Arenoso	1.64	2.63	3.83	0.38	33.92	3.84	37.70
25	43	17	40	Franco	1.13	2.55	2.82	0.81	38.34	4.94	55.70
26	39	17	44	Franco	1.08	2.50	2.62	0.78	35.08	4.83	56.84
27	43	15	42	Franco	1.13	2.56	2.73	0.75	32.88	3.75	55.80
28	59	9	32	Franco Arenoso	1.03	2.62	1.64	1.84	29.87	2.26	60.73
29	57	9	34	Franco Arenoso	1.12	2.54	1.92	2.03	31.50	3.81	55.83
30	49	11	40	Franco	1.43	2.64	2.22	1.79	44.14	4.62	45.88
31	21	55	24	Arcillosa	1.54	2.53	3.41	0.11	63.42	3.24	39.07
32	21	49	30	Arcillosa	1.23	2.53	2.85	0.18	52.23	3.85	51.34
33	10	55	35	Arcillosa	1.50	2.61	3.42	0.27	58.52	2.70	42.62
34	15	59	26	Arcillosa	1.42	2.64	3.25	0.14	59.11	2.12	46.21
35	15	42	43	Arcillosa limosa	1.24	2.61	2.64	0.43	47.37	2.70	52.73
36	5	57	38	Arcillosa	1.20	2.57	2.22	0.35	52.63	3.82	53.34
37	6	61	33	Arcillosa	1.32	2.57	3.26	0.30	57.89	2.00	48.67
38	34	26	40	Franco	1.28	2.61	2.41	1.09	44.12	3.21	50.92
39	34	22	44	Franco	1.12	2.66	2.86	1.49	40.25	4.18	57.75
40	9	48	43	Arcillosa limosa	1.15	2.61	3.00	0.40	42.11	3.43	55.96
41	12	34	54	Franco Arcillosa Limosa	1.31	2.59	3.44	0.69	41.70	2.74	49.47
42	19	36	45	Franco Arcillosa Limosa	1.14	2.57	2.25	0.57	42.45	3.75	55.54
43	12	47	41	Arcillosa limosa	1.51	2.55	3.46	0.37	53.41	2.28	40.81

**Figura 16.** Resultados del análisis de indicadores físicos y químicos.