



Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

## **FACULTAD DE AGRONOMIA**

### **Trabajo de Tesis**

## **Elaboración de mapas de compactación de suelo en la Unidad Experimental y Validación El Plantel-UNA, 2021-2022**

### **Autor**

Br. Jefredt Missael Perez Avila

### **Asesor(es)**

Ing. Elvin Antonio Lagos P.

Ing. MSc. Gerardo U. Murillo M.

Presentado a la consideración del honorable comité  
evaluador como requisito final para optar al grado de  
Ingeniero Agrícola

**Managua, Nicaragua**  
**Octubre, 2023**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la decanatura de la <Facultad de Agronomía> como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrícola

---

Miembros del Comité Evaluador

---

Ing. Álvaro Martínez  
Presidente

Ing. David López Campos  
Secretario

---

Ing. MSc. Carmen Castillo  
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 27/Octubre/2023

## **DEDICATORIA**

Brindo de todo corazón este trabajo de culminación de estudio primero a Dios por haberme brindado la vida, y guiarme espiritualmente en el desarrollo y crecimiento profesional.

A mi madre: Lic. Helen Dayana Avila Espinales por su amor incondicional, su esfuerzo, sacrificio y apoyo inmenso en mi formación personal y profesional, siendo ella la mayor inspiración que tengo todos los días de mi vida.

Br. Jefredt Missael Pérez Avila

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis principales formadoras de vida a mis abuelas: Patricia del Carmen Espinales y Vilma Efigenia Cabrera por haberme inculcado valores, principios y seguir el camino correcto para ser una mejor persona cada día y ayudarme a ver con más claridad cuáles son mis objetivos y metas en la vida.

A la Universidad Nacional Agraria por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para estudiar la carrera. Así mismo, a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y apoyo día a día, especialmente al Dr. Mauricio González Salazar, que además de brindarme sus consejos y enseñanzas me alentaron a ser un mejor alumno y amigo depositando toda su confianza en mí.

A mis asesores Ing. MSc. Gerardo U. Murillo M., Ing. Elvin Antonio Lagos P. por sus esfuerzos y dedicación al haber aportado sus conocimientos, confianza, tiempo y paciencia en la revisión de esta tesis.

A los estudiantes y/o investigadores que encuentren en este trabajo o algún dato útil y/o alicientes para futuras investigaciones.

Br. Jefredt Missael Pérez Avila

## INDICE DE CONTENIDO

<b>SECCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
<b>III. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>4</b>
3.1. Generalidades de la compactación	4
3.2. Impacto de la compactación del suelo	4
3.3. Efectos de la compactación del suelo	4
3.4. Indicios de la compactación del suelo	5
3.5. Prevención de la compactación del suelo	6
3.6. Propiedades físicas del suelo	7
3.7. Textura y estructura del suelo	7
3.8. Porosidad del suelo	8
3.9. Densidad del suelo	8
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>9</b>
4.1. Ubicación del estudio	9
4.2. Suelo	9

4.3. Diseño metodológico	10
4.4. Interpolación de datos	10
4.5. Resistencia a la penetración (RP) del suelo	10
4.6. Recolección de datos	12
4.7. Análisis de datos	12
<b>V. RESULTADOS</b>	<b>13</b>
5.1. Compactación en los diferentes perfiles de suelo descrito utilizando el penetrómetro de bolsillo	14
5.2. Mapas de resistencia a la Penetración del suelo (RPS)	16
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>20</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b>	<b>21</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b>	<b>22</b>
<b>IX. ANEXOS</b>	<b>26</b>

---

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1	Ubicación de la zona de estudio	9
2	Componentes del penetrómetro de golpe (CIMMYT, 2013).	12
3	Ubicación de perfiles de suelo	13
4	Compactación en $kg/cm^2$ en perfil 8	14
5	Compactación en $kg/cm^2$ en perfil 9	14
6	Compactación en $kg/cm^2$ en perfil 10	15
7	Compactación en $kg/cm^2$ en perfil 13	15
8	Mapa de resistencia a la penetración a 5 cm	16
9	Mapa de resistencia a la penetración a 10 cm	17
10	Mapa de resistencia a la penetración a 20 cm	18
11	Mapa de resistencia a la penetración a 30 cm	19

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Toma de muestra de suelo	26
2	Manipulación del penetrómetro	26
3	Toma de datos con el penetrómetro	26
4	Descripción de perfil de suelo	26
5	Manipulación del GPS	27
6	Mapa de compactación en $kg/cm^2$ en perfil 8	27
7	Mapa de compactación en $kg/cm^2$ en perfil 9	27
8	Mapa de compactación en $kg/cm^2$ en perfil 10	27
9	Mapa de compactación en $kg/cm^2$ en perfil 13	28
10	Análisis físicos del suelo, laboratorio de suelo y agua (LABSA)	29



## RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en la unidad de experimentación y validación finca El Plantel propiedad de la Universidad Nacional Agraria, con el propósito de diseñar gráficas y mapas de compactación en cuatro perfiles de suelo de 1 x 1 x 1.20 metros (120 cm) de profundidad, se diseñó una rejilla cuadrada en una de las paredes en decímetros (dm), utilizando el penetrómetro de bolsillo y para los mapas de compactación de suelo, utilizando el penetrómetro de golpe (CIMMYT 2013), en cuatro profundidades definidas; 5, 10, 20 y 30 cm de profundidad, en cuadrantes de 30 x 30 metros (900 m<sup>2</sup>), en un área de 32.49 hectáreas, la información de campo fue digitalizada en programa de Excel y el programa de ArcGIS 10.5, lo que generó gráficas y cuatro mapas de compactación por cada profundidad establecida utilizando el método de interpolación de Kriging. Los resultados muestran diferencia en los perfiles de suelo con rangos de 3 a 4.5 kg/cm<sup>2</sup>, encontrando piso de arado entre los 20 y 30 cm en el perfil 9 y 13 y talpetate generado de forma natural entre los 60 a 80 cm de profundidad en el perfil 10, en los mapas de compactación de suelo se encontró problemas de talpetate superficial en zona de pasto y en el subsuelo piso de arado a los 30 cm de profundidad en el área de cultivos anuales con 141.12 kg/cm<sup>2</sup> siendo esta área activa en producción agrícola.

**Palabras claves:** Compactación, suelo, penetrómetro, clase textural.

## ABSTRACT

The research was carried out in the experimental and validation unit of the El Plantel farm, property of the National Agrarian University, with the purpose of designing graphs and compaction maps in four soil profiles of 1 x 1 x 1 x 1. 20 meters (120 cm) deep, a gridded grid was designed in one of the walls in decimeters (dm), using the pocket penetrometer and for the soil compaction maps, using the blow penetrometer (CIMMYT 2013), in four defined depths; 5, 10, 20 and 30 cm deep, in quadrants of 30 x 30 meters (900 m<sup>2</sup>), in an area of 32. 49 hectares, the field information was digitized in Excel and ArcGIS 10.5 software, which generated graphs and four compaction maps for each depth established using the Kriging interpolation method. The results show differences in the soil profiles with ranges of 3 to 4.5 kg/cm<sup>2</sup>, finding plowed soil between 20 and 30 cm in profiles 9 and 13 and naturally generated talpetate between 60 and 80 cm deep in profile 10. In the soil compaction maps, problems of superficial talpetate were found in the pasture area and in the subsoil plowed soil at 30 cm deep in the area of annual crops with 141.12 kg/cm<sup>2</sup>, being this area active in agricultural production.

**Key words:** Compaction, soil, penetrometer, textural class.

## I. INTRODUCCIÓN

Santiago (2017) refiere que:

La compactación del suelo implica un reordenamiento de las partículas sólidas y como consecuencia la densidad aparente del suelo aumenta, es decir, el fenómeno de la compactación del suelo es el resultado de una fuerza aplicada que destruye la estructura y disminuye los poros, lo que limita el espacio para el almacenamiento o movimiento del aire y el agua en el suelo. Además, es una de las principales causas de restricción física del crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas (párr. 2).

La susceptibilidad de los suelos a la compactación varía con la textura, siendo los suelos arcillosos más vulnerables que los suelos arenosos. Los suelos con bajo contenido de materia orgánica tienden a ser más susceptibles a la compactación porque no forman agregados fuertes (párr. 4).

Según Álvarez (2020) sostiene que:

Las propiedades físicas del suelo determinan en gran medida su capacidad de uso. La condición física de un suelo establece la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (p. 2).

Pioneer (2012) expresa que:

El resultado final de la compactación del suelo es un menor potencial de rendimiento en la producción de cultivos. La pérdida de rendimiento puede variar ampliamente dependiendo de la extensión de la compactación del suelo y las condiciones ambientales que afectan al cultivo durante su desarrollo. Condiciones de crecimiento favorables, tales como precipitaciones en tiempo y una óptima fertilidad, pueden minimizar los efectos de la compactación (p. 2).

El objetivo de la investigación es facilitar información sobre el estado de compactación del suelo en el área de estudio ubicado en la unidad experimental y validación el Plantel, propiedad de la Universidad Nacional Agraria, para mostrar la compactación del suelo agrícola existente en la zona de estudio. Las herramientas utilizadas fueron el penetrómetro de golpe y el penetrómetro de bolsillo, se tomaron en cuenta los parámetros físicos y las condiciones de la zona; topografía, geología y suelo.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Elaborar mapas de compactación de suelo a diferentes profundidades utilizando el programa ArcGIS, en la unidad experimental y validación el Plantel-UNA, 2021-2022.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la resistencia del suelo a la penetración utilizando el penetrómetro de bolsillo mediante el uso perfiles de suelo en la finca el plantel.
  
- Identificar la resistencia del suelo a la penetración mediante la elaboración de mapas de compactación.

### **III. MARCO DE REFERENCIA**

#### **3.1. Generalidades de la compactación**

InfoAgro (2018) menciona que:

En condiciones naturales (sin intervención antrópica) se pueden encontrar en el suelo horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Sin embargo, bajo condiciones de uso agrícola intensivo este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas. (párr. 2)

Los principales factores en la actividad agrícola que tienen incidencia en la compactación son:

- Naturales.
- Consolidación durante procesos de formación de los suelos
- Encogimiento natural de los suelos al secarse.
- Asociadas a actividades humanas.
- Pisoteo por animales o humanos.
- Presiones y deformaciones causadas por ruedas o implementos de labranza.
- Carga de agua e impacto de gotas en agregados debilitados (lluvia, riego rodado o por aspersión).

#### **3.2. Impacto de la compactación del suelo**

Podemos decir que la estructura de suelo ideal se compone de un 50% del suelo, 25% de espacio de agua y 25% del espacio con aire. Pioneer (2012) afirma: “La compactación del suelo provoca la pérdida de rendimiento en la producción de cultivos mediante la restricción de crecimiento de las raíces y la reducción de la circulación del aire y el agua en el suelo” (p.1).

#### **3.3. Efectos de la compactación del suelo**

InfoAgro sostiene que:

La compactación del suelo produce un aumento en su densidad (densidad aparente), aumenta la resistencia mecánica, destruye y debilita su estructuración. Todo esto hace disminuir la porosidad total y la macro porosidad (porosidad de aireación) del suelo. Los

efectos que la compactación se traducen en un menor desarrollo del sistema radical de las plantas y, por lo tanto, un menor desarrollo de la planta en su conjunto, lo que redundaría en una menor producción. (párr. 3)

Los factores que van a tener un efecto directo sobre el crecimiento de las raíces son:

- Aumento de la resistencia mecánica del suelo.
- Disminución de la macro porosidad del suelo.

La disminución de la macro porosidad del suelo va a producir una baja capacidad de aireación y oxigenación de este, lo que va a producir una disminución de la actividad de las raíces y, consecuentemente, un menor crecimiento de éstas, un menor volumen de suelo explorado, una menor absorción de agua y nutrientes. Este efecto se puede agravar si se riega en forma excesiva, llegando a provocar la muerte de las raíces por asfixia. Esto es debido a que los escasos macroporos que pueden airear el suelo van a permanecer llenos de agua gran parte del tiempo. (InfoAgro, 2018, párr. 5)

### **3.4. Indicios de la compactación del suelo**

Proain (2020) afirma que:

La compactación del suelo afecta el crecimiento de las raíces de las plantas o cultivos, los indicios por encima del suelo pueden tomar muchas formas. Los signos de compactación pueden incluir:

- Plantas de menor tamaño, achaparradas y de escaso crecimiento en forma aislada o pequeños grupos de plantas con esta sintomatología rodeadas de plantas normales.
- El marchitamiento de las plantas en ciertas áreas de un campo puede ser señal de compactación. Esto puede deberse a que los sistemas radiculares poco profundos no permiten absorber la humedad en el subsuelo.
- Patrones visibles de parches o rodales de plantas achaparradas dentro del cultivo.

- Malformación en el crecimiento de las raíces, incluye raíces planas, cortas, delgadas y torcidas. Las raíces que crecen en un suelo con compactación subsuperficial pueden crecer más de manera horizontal que vertical y tener un sistema radicular poco profundo.
- El crecimiento por encima del suelo está directamente relacionado con el crecimiento de la raíz debajo del suelo. Si el crecimiento de raíces se ve perjudicado, el crecimiento vegetativo por encima del suelo es probable que se afecte.
- Falta de nutrientes en los cultivos puede ser otro signo de la compactación. Ya que las raíces son las vías para que los nutrientes del suelo lleguen al cultivo, las restricciones a las raíces pueden reducir la interceptación de estas a los nutrientes en el suelo. Deficiencias de fósforo, potasio y nitrógeno, pueden ser síntomas secundarios de la compactación del suelo.
- Agua en superficie o erosión causada por el agua, pueden deberse a una compactación del suelo. Al reducirse el espacio de los poros del suelo, entonces el agua no es absorbida con la misma facilidad.

### 3.5. Prevención de la compactación del suelo

InfoAgro (2018) indica que los aspectos que reducen la compactación son:

- **Incorporación de materia orgánica al suelo:** La materia orgánica incorporada al suelo actúa directa e indirectamente favoreciendo la formación y la estabilidad de la estructura del suelo, que puedan ayudar a prevenir la compactación.
- **Uso de cubiertas vegetales:** La penetración de las raíces y su posterior muerte producen poros continuos que ayudan al movimiento del aire y el agua en el suelo. Por medio de la cubierta vegetal, se incorpora también materia orgánica al suelo.
- **Uso de camellones:** Al construir camellones para el paso de las ruedas de la maquinaria se evita que el efecto de la compactación llegue a mayor profundidad.



- **Rotación de cultivos:** Alternando los cultivos de diferentes familias y con distintas necesidades nutritivas, se evita que el suelo se agote y tenga un periodo de descanso.

### **3.6. Propiedades físicas del suelo**

Rucks et al. (2004) afirma que:

Las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles. (párr. 1)

### **3.7. Textura y estructura del suelo**

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2006) define que:

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. (párr. 5)

La textura “es una de las propiedades permanentes del suelo, no obstante, puede sufrir cambios por laboreo (mezcla de horizontes), erosión eólica (suelos más gruesos por pérdida de material), erosión hídrica (deposición de materiales más finos)” (Pellegrini, 2019, p. 3).

FAO (2006) afirma que:

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño nombrados por peds. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción

térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas. (párr. 1)

### **3.8. Porosidad del suelo**

FAO (2006) sostiene que:

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y microporos donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micros poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas. (párr. 9)

### **3.9. Densidad del suelo**

Daniel y Jaramillo (2002) expresan que:

El valor de la densidad aparente es un parámetro necesario en varios cálculos relacionados con el suelo, como son:

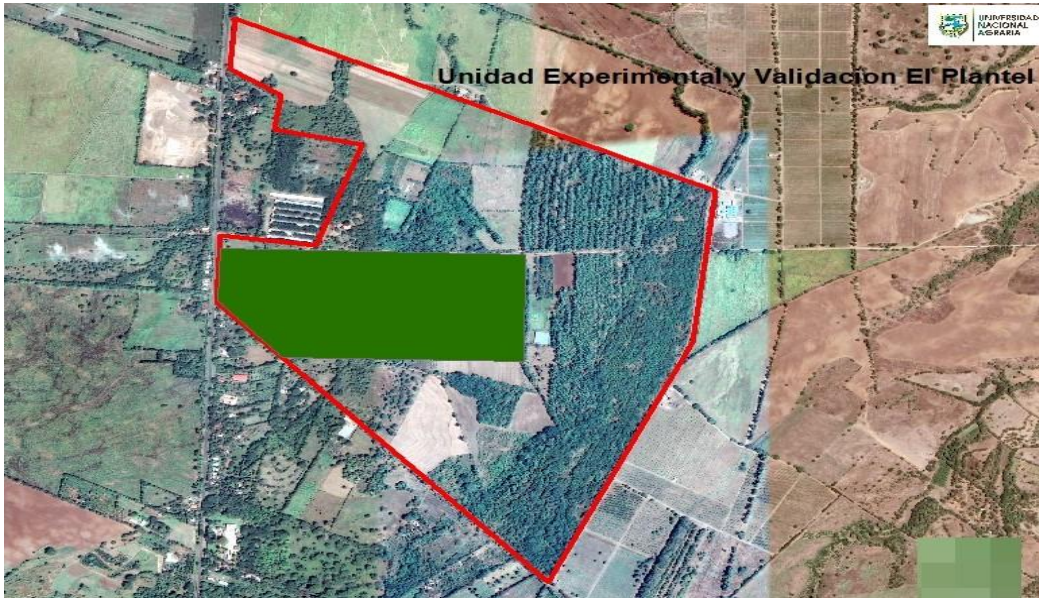
- Calcular el peso de un determinado volumen de suelo.
- Transformar el contenido de humedad gravimétrico del suelo, a contenido volumétrico.
- Calcular la porosidad total del suelo, cuando se conoce su densidad real.

Aparte de lo anterior, es un estimador del grado de compactación del suelo, ya que, si se está presentando este problema, la densidad aparente se incrementa; también es un indicador de altos contenidos de materia orgánica en el suelo, puesto que ellos reducen el valor de dicha densidad. (p. 191)

## IV. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en la unidad experimental y validación El Plantel, propiedad de la Universidad Nacional Agraria se encuentra localizada en el kilómetro 30 carreteras Tipitapa – Masaya, entre las coordenadas  $12^{\circ} 6'57.65''$  Latitud Norte y  $86^{\circ} 5'10.61''$  Longitud Oeste, a una altura de 114 m.s.n.mm (Méndez, 2021, p.15).



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio finca El Plantel

### 4.2. Suelo

Laguna y Mendoza (2020) afirman que:

Los terrenos de la unidad de producción son ondulados, con una pendiente que varía entre 1 y 15 %, con muy poca cobertura de suelo. La textura del suelo es franco arcilloso, con un pH de 7.25 muy ligeramente alcalino, materia orgánica 2.36 % en un rango medio. (p.10)

### **4.3. Diseño metodológico**

La investigación que se realizó es cualitativa no experimental, empleando procedimientos cuidadosos y metódicos para estudiar este fenómeno en profundidad y comprender la resistencia a la penetración del suelo en el área de estudio de una forma más efectiva, generando conocimientos e información que aporte al mejor desarrollo de los cultivos y aprovechamiento del agua de lluvia.

La presente metodología se desarrolló en dos campos;

El primero es determinar el efecto de la compactación hasta 120 centímetros para esto se elaboraron calicatas de un 1\*1\*1.20 metros y en una de las paredes se cuadrículo en decímetros (dm) hasta los 120 centímetros y en cada cuadrante se tomaron 5 muestras con el penetrómetro de bolsillo a nivel de campo los cuales fueron promediados los resultados ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ), posteriormente la información fue digitalizada en una hoja Excel (xlsx), y se transportó al programa para elaborar gráficas y mapas de compactación en cada perfil en estudio en la zona agrícola.

El segundo se basa en utilizar el levantamiento altimétrico que se realizaba en la zona agrícola de estudio, para esto la malla tiene cuadrículas de 30 x 30 m en un área de 32.49 hectáreas, obteniendo un total de 416 observaciones debidamente georreferenciada con valores de su coordenadas y resistencia a la penetración (X, Y, Z), la base de datos fue digitalizada en hoja Excel (xlsx) y exportada a ArcGIS ver. 10.5.

### **4.4. Interpolación de datos**

Existen varios métodos de interpolación en la cual se obtiene información más amplia. En este trabajo de investigación se utilizó el método de interpolación de Kriging. Zavaleta (2010) afirma que: ‘es un método de estimación que da la mejor estimación lineal insesgada de los valores de los puntos, esto es, elegir el promedio ponderado de los valores de las muestras la cual tenga la mínima varianza’ (p. 22).

#### 4.5. Resistencia a la penetración (RP) del suelo

La resistencia a la penetración es una señal del nivel de compactación que hay en un suelo y una de la forma de medir la resistencia a la penetración es con el penetrómetro de golpe.

El penetrómetro de golpe se coloca en postura vertical en el punto de observación, dejando caer la pesa a una distancia vertical de 40 cm en caída libre desde la parte superior hasta el tope inferior del aparato, esta acción se repite contando el número de golpes necesarios para empujar el cono del penetrómetro a una distancia pre-establecida dentro del, seguido a esto se anotan en una plantilla de campo los números de golpes y se reiteran a los siguientes puntos.

Para calcular la resistencia a la penetración se procedió aplicando la fórmula de Govaerts (2013):

Ecuación 1. 
$$R = \frac{N \times M \times g \times SD}{A \times PD}$$

R = la resistencia a la penetración (MPa)

N = el número de impactos

M = la masa de la pesa (kg)

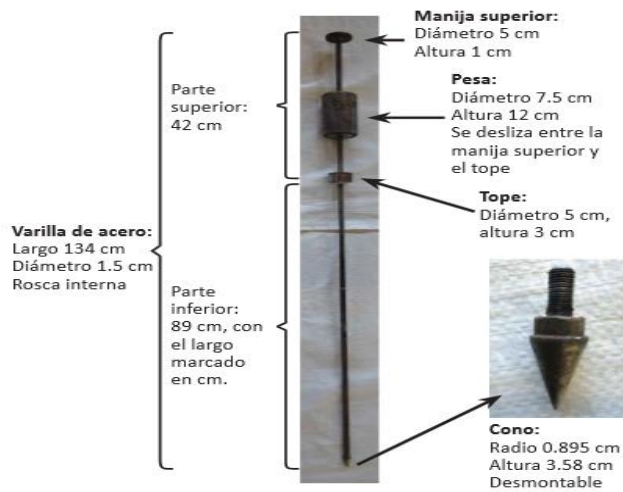
g = la gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

SD = la distancia que se desliza la pesa (m)

A = el área de la superficie del cono (m<sup>2</sup>)

PD = la distancia de penetración (m)

La masa de la pesa es de 5 kg, la distancia en la que se deslizo la pesa fue de 0.40 m, las profundidades de penetración fueron 5, 10, 20 y 30 cm, en la figura 2 podremos encontrar los componentes del penetrómetro de golpe.



**Figura 2.** Componentes del penetrómetro de golpe (CIMMYT, 2013).

#### 4.6. Recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo en el campo de la universidad nacional agraria en la finca experimental de validación el plantel (08/10/2021) recolectando un total de 416 puntos georreferenciada de cada punto, cada información generada en la observación fue de número de golpes por profundidad (5, 10, 20 ,30 cm) y obteniendo valores de resistencia a la penetración del suelo con la ecuación 1.

#### 4.7. Análisis de datos

Los datos de campo una vez recopilados se procedieron a la organización, revisión y digitalización de la información de campo. El procesamiento de los datos se realizó con el uso de herramientas de programas como Excel y ArcGIS 10.5, en la hoja de cálculo de Excel se digitalizo la información obtenida de las cuatro calicatas estudiadas y las gráficas de las mismas y los datos de número de golpe a profundidades de 5, 10, 20 y 30 cm, coordenadas y elevaciones, en el programa ArcGIS se elaboraron los mapas de compactación.

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

El área de estudio se ubica en el kilómetro 30 de la carretera Tipitapa – Masaya en la finca Unidad Experimental y Validación El plantel, siendo propiedad de la UNA, con una extensión de 163 ha, de la cuales se seleccionó para el presente estudio un total 32.49 ha.

En la siguiente imagen, se muestran los 14 perfiles que se han venido describiendo durante el período del 2020 al 2021, (Rivera y Dolmos, 2022, pág. 15) en donde se retomaron por su influencia dentro de este trabajo los perfiles P8, P9, P10, P13.

Es importante resaltar que las condiciones climáticas en el año 2021 no fueron las más idóneas en cuanto a la obtención del 100 por ciento de la información dentro de los perfiles ya que los perfiles P11, P12, P14 su análisis fue interrumpido por eventos lluviosos.



**Figura 3.** Ubicación de perfiles de suelo (Rivera y Dolmos, 2022, pág. 15).

### 5.1. Compactación en los diferentes perfiles de suelo descrito utilizando el penetrómetro de bolsillo.

Los resultados obtenidos con el penetrómetro de bolsillo en 12 dm de profundidad en los perfiles 8, 9, 10, 13 se muestran en las siguientes figuras, su comportamiento con relación a la textura, (anexo 10).

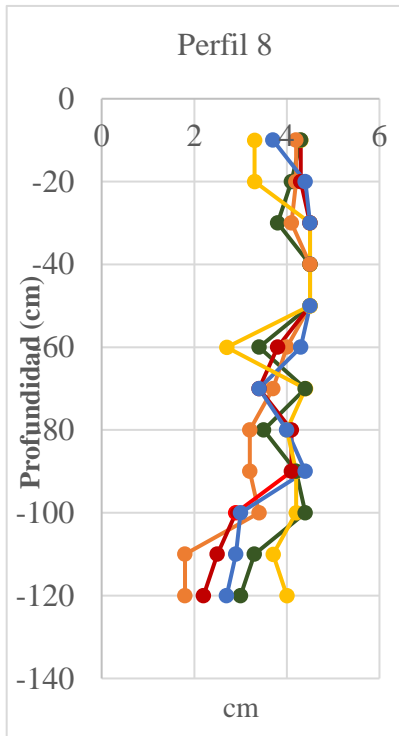


Figura 4. Compactación en  $kg/cm^2$  en perfil 8

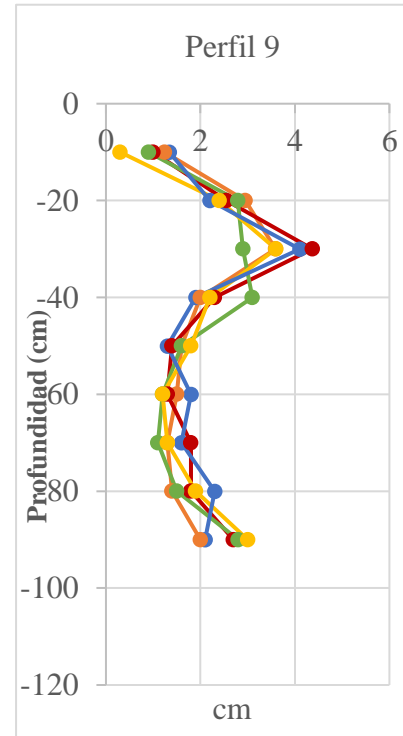


Figura 5. Compactación en  $kg/cm^2$  en perfil 9

El perfil 8 ubicado en la plantación de guayaba, muestran los valores más altos de compactación de 10 a 80 cm de profundidad ( $3.9$  a  $4.5 kg/cm^2$ ). También se muestra una disminución de los valores a los 60 cm de profundidad debido a un aumento del contenido de arena total (13.71 %) (Véase anexo 10). También, podemos asumir que el laboreo histórico en la zona con la maquinaria antes de la plantación de guayaba ha sido mantenido a una misma profundidad ya que la clase textural del suelo es arcillo limosos en todo el perfil.

Es importante resaltar que en las últimas tres décadas no ha sido utilizada el área para cultivos tradicionales de granos básicos, por tanto, su proceso está más ligado a una compactación natural hasta la actualidad.



El perfil 9 analizado, muestra valor alto de compactación a los 30 cm de profundidad (3.5 a 4.4  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) debido a alta presencia de limo (32.54 %) y arcilla (49.21 %) (Véase anexo 10). Podemos asumir que a esta profundidad se encuentra un piso de arado ya que en esta área donde se ubica el perfil actualmente es activa en producción agrícola y al laboreo constante de maquinaria siendo la clase textural arcillo limoso. También se muestra una disminución de los valores a partir de los 40 cm de profundidad.

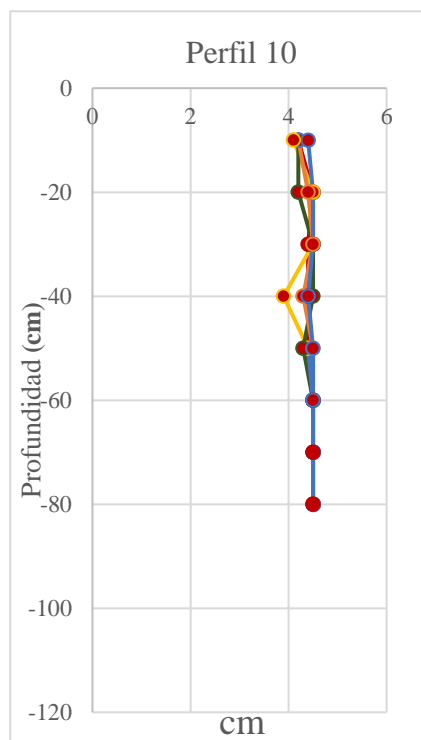


Figura 6. Compactación en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en perfil 10

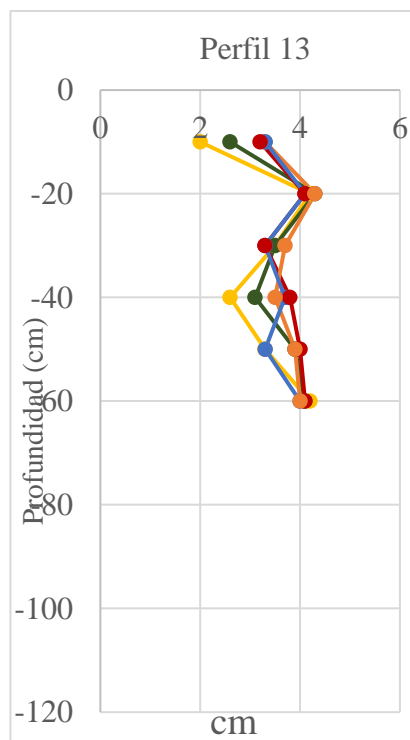


Figura 7. Compactación en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en perfil 13

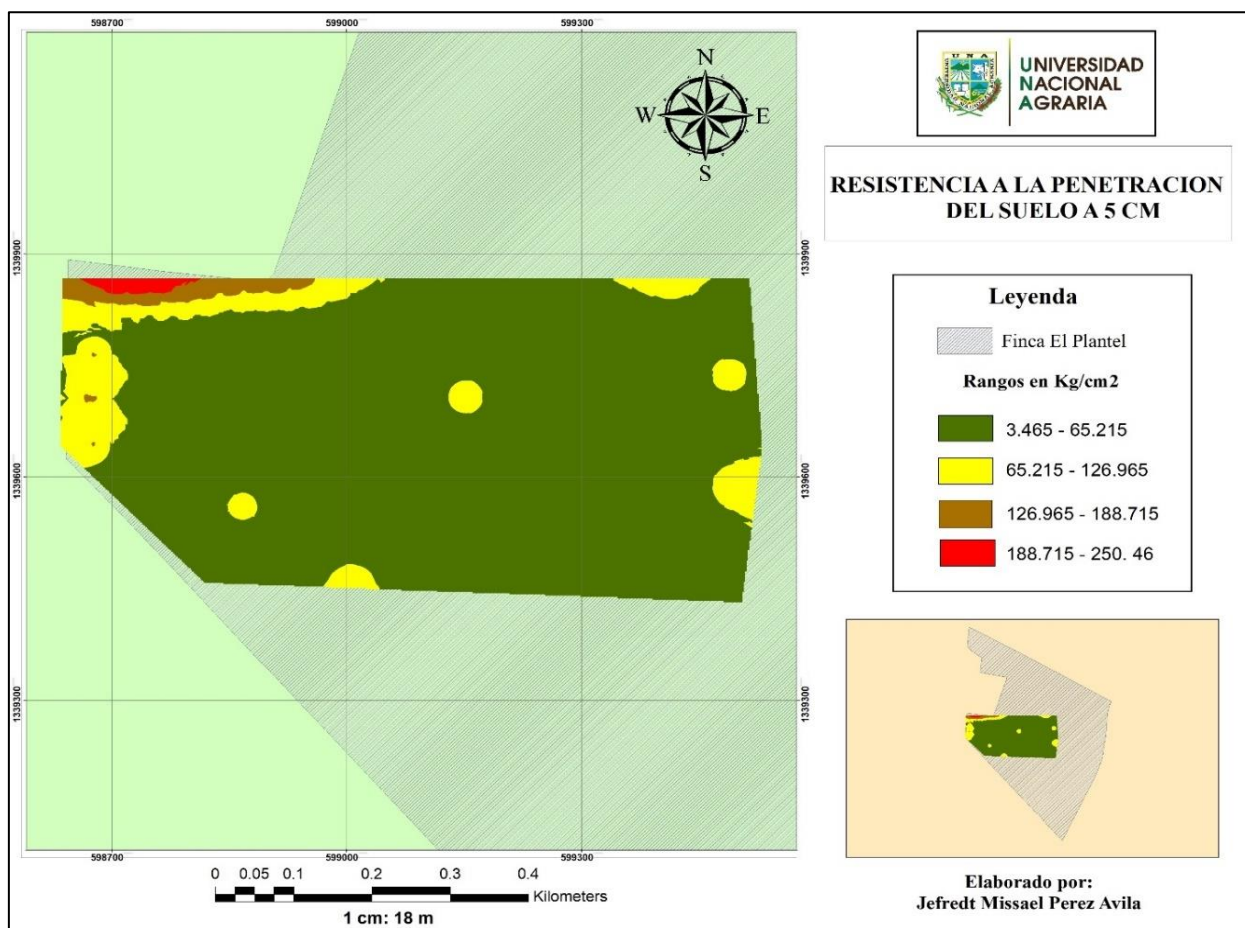
El perfil 10 está ubicado en la plantación de maíz muestra valores altos de compactación a partir de los 10 cm a 68 cm de profundidad (4.3 a 4.5  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), sin embargo, a los 40 cm hay una disminución de los valores debido al aumento de limo total (44.24 %) (Véase anexo 10). También a partir de los 68 cm a 80 cm de profundidad presenta un proceso natural de una capa de talpetate generado por cenizas volcánicas.

El perfil 13 está ubicado en la plantación de pasto, muestra valores altos de compactación a partir de los 20 cm de profundidad (3.8 a 4.3  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), encontrando un piso de arado. También muestra una disminución de los valores a partir de los 40 cm de profundidad debido al aumento

de limo total (39.91 %) (Véase anexo 10), sin embargo, a partir de los 60 cm de profundidad se encontró talpetate generada naturalmente.

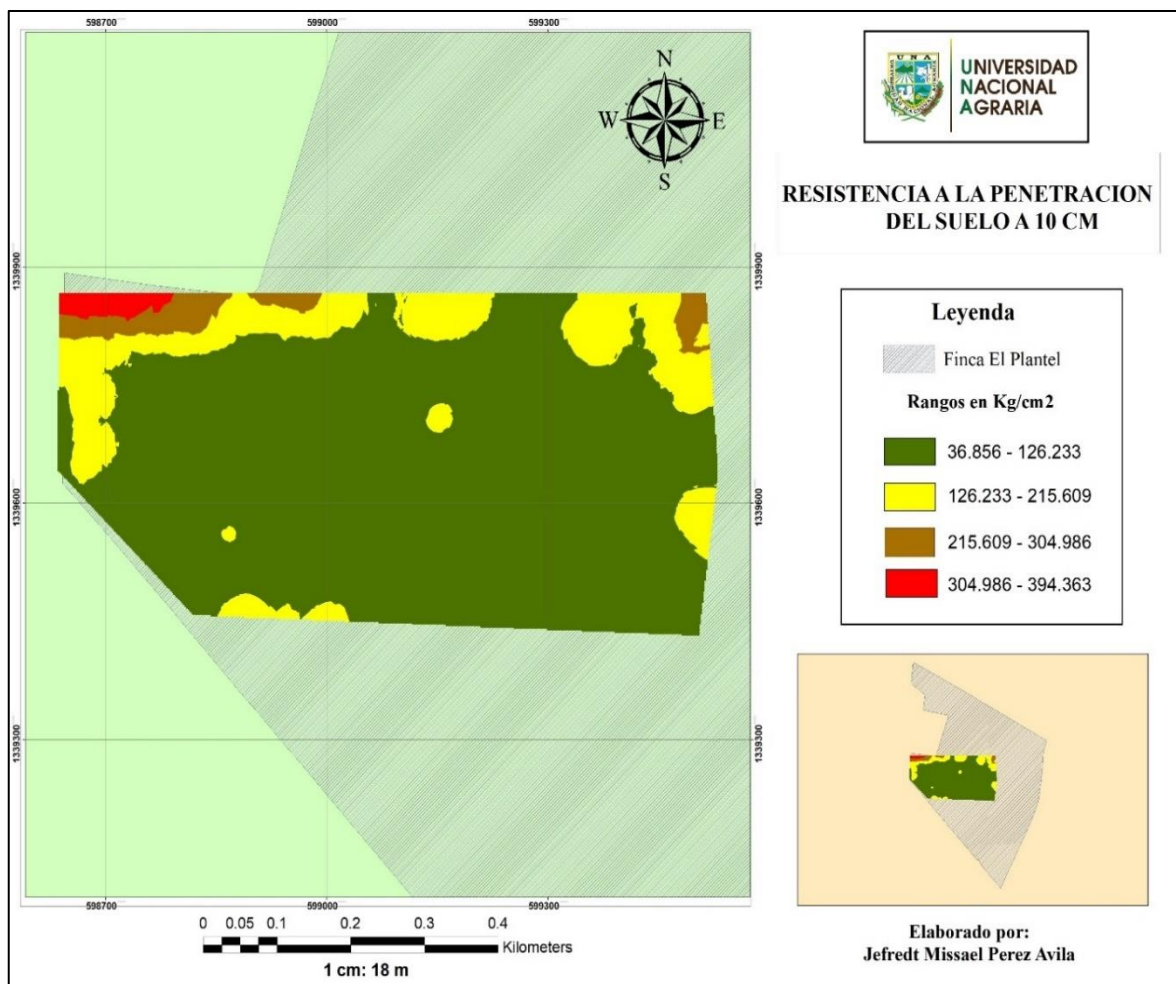
## 5.2. Mapas de resistencia a la Penetración del suelo (RPS)

Se generó información sobre resistencia a la Penetración del suelo actual en las diferentes profundidades evaluadas y se pueden visualizar en la figura 8 a la 11, representadas en mapas con su modelo de interpolación Kriging correspondiente y cuál su incidencia en las diferentes áreas de la zona: bosque, cultivo y pasto.



**Figura 8.** Mapa de resistencia a la penetración a 5 cm

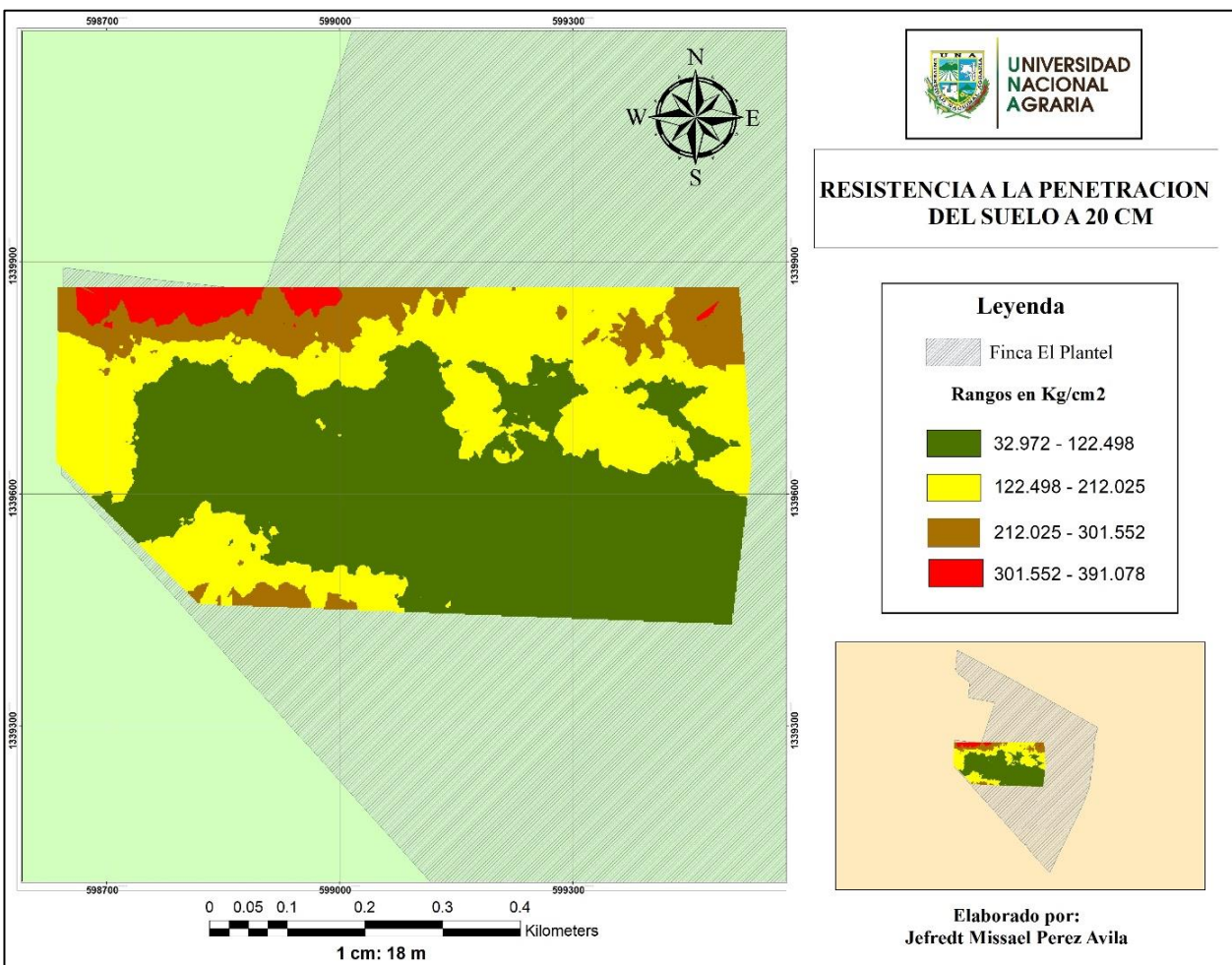
Los resultados obtenidos a los 5cm de profundidad, no se presentan niveles considerables de compactación con valores que oscilan en un rango de  $3.46\text{kg/cm}^2$  a como se observa en la figura 8, sin embargo las zona más compacta a esta profundidad se encuentran en el área de pasto con rango de  $188.71\text{kg/cm}^2$  siendo esta la zona más compacta a esta profundidad, por lo tanto estas áreas están más ligada a una compactación natural que antrópica debido a la clase textural del suelo y talpetate superficial en algunas áreas.



**Figura 9.** Mapa de resistencia a la penetración a 10 cm

Así mismo, la figura 9 muestra que a partir de los 10 cm de profundidad los valores de resistencia a la penetración del suelo (RPS) va incrementando en las zonas más compactas, siendo estas el área del bosque con  $126.23\text{kg/cm}^2$  y en el cultivo de pasto con  $215.60\text{kg/cm}^2$ , no obstante el valor más alto a esta profundidad es de  $394.36\text{kg/cm}^2$  debido a presencia de talpetate producido

de forma natural, en donde se encuentran los cultivos perennes presenta zonas compactas probablemente a la presencia de arcilla ( Horizonte A 24.02%) (Véase anexo 10).

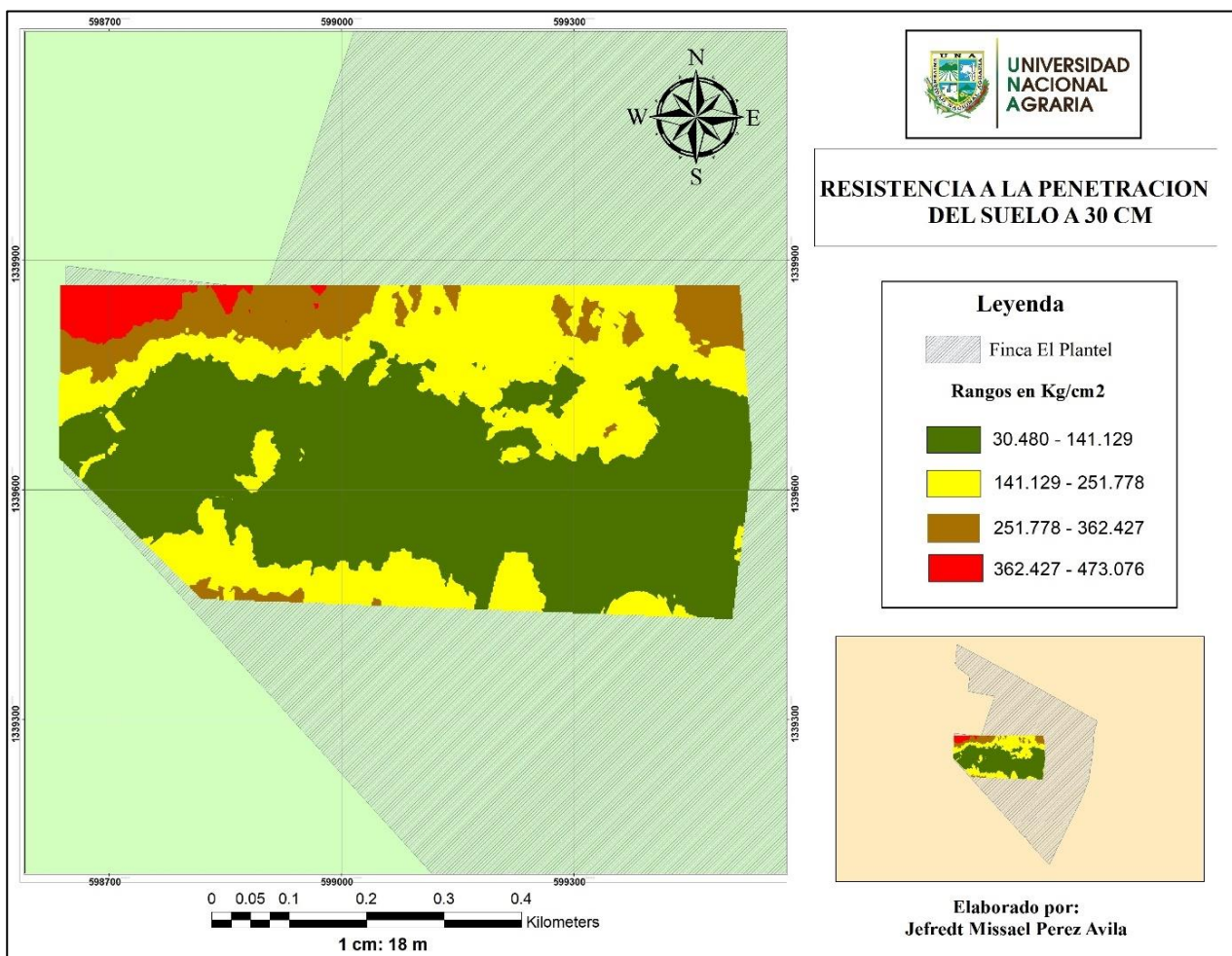


**Figura 10.** Mapa de resistencia a la penetración a 20 cm

Los resultados a los 20cm de profundidad, muestra que la resistencia a la penetración del suelo (RPS) va cubriendo más áreas de bosque y cultivos (anuales y perennes) disminuyendo con rangos de  $122.49 \text{ kg/cm}^2$  a como se observa en la figura 10, siendo estos suelos clase VII en el área de cultivos perennes y con baja fertilidad (Rivera y Dolmos, 2022, pág. 26) y con una clase textural franco limoso (Véase anexo 10).

Sin embargo, podemos observar que a los 30 cm de profundidad las mismas áreas van incrementando su compactación con rangos de  $141.12 \text{ kg/cm}^2$  a  $251.77 \text{ kg/cm}^2$  con esto podemos asumir que es debido al laboreo constante de maquinaria agrícola ya que en el área de

cultivos anuales actualmente es activa en producción agrícola influyendo la clase textural siendo arcillo limosos.



**Figura 11.** Mapa de resistencia a la penetración a 30 cm

## VI. CONCLUSIONES

Existe una diferencia notable en los valores de compactación en los cuatro perfiles de suelo, con rangos de 3 a 4.5 kg/cm<sup>2</sup>, encontrando piso de arado entre los 20 cm a 30 cm de profundidad en el perfil 9 y 13 y talpetate generado de forma natural entre los 60 cm a 80 cm de profundidad en el perfil 10, siendo este último con mayor resistencia a la penetración.

Los mapas de compactación permiten identificar la resistencia del suelo a la penetración a diferentes profundidades, a los 5 cm con 3.46kg/cm<sup>2</sup> , 10 cm incremento la resistencia en el área de bosque con 126.23 kg/cm<sup>2</sup> y cultivo de pasto con 215.60 kg/cm<sup>2</sup>, 20 cm disminuye la resistencia con 122.49 kg/cm<sup>2</sup> y a los 30 cm encontrando problemas de piso de arado en el área de cultivos anuales con 141.12 kg/cm<sup>2</sup>, siendo esta zona activa en producción agrícola.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Los problemas de compactación requieren de una estrategia integral de carácter correctivo y preventivo para evitar la degradación del suelo en el área de estudio.
  
- Realizar un plan de mantenimiento del suelo en cada ciclo agrícola y evitar el sellamiento subsuperficial (piso de arado) por maquinaria agrícola al preparar el suelo a una misma profundidad.
  
- Implementar obras de conservación de suelo como la integración de materia orgánica (MO) favoreciendo a la formación y estabilidad de la estructura del suelo y cubiertas vegetales que al penetrar sus raíces producen poros continuos favoreciendo el flujo de agua y aire en el suelo.
  
- Establecer cultivos estratégicamente con el fin de reestablecer el uso adecuado del suelo con el grado de compactación en el área de estudio.

## VIII. LITERATURA CITADA

Pellegrini, A. (2019). *Curso edafología*.

[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod\\_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf)

Álvarez Rasche, J. W.; Gómez, E. J.; Fatecha Fois, D. A. y Leguizamon Rojas, C. A. (2020).

Compactación del suelo y su efecto en el crecimiento vegetativo de soja, maíz y guandú. *Cielo*, 22(1), 13-21. <http://scielo.ics.una.py/pdf/ia/v22n1/2305-0683-ia-22-01-13.pdf>

Boletín Técnico Pioneer. (2012, 7 de septiembre). Compactación de

suelo. [https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Argentina/productos\\_y\\_servicios/Boletin\\_Compactacion\\_de\\_suelo.pdf](https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Argentina/productos_y_servicios/Boletin_Compactacion_de_suelo.pdf)

Cofrep-Pucha, F., *et al*, (2017). Fundamentos de SIG, Aplicaciones con ArcGIS.

<https://franzpc.com/wp-content/uploads/2018/05/Manual-de-ArcGIS-10.pdf>

Daniel, F. y Jaramillo, J. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. [Universidad Nacional De Colombia]. Facultad de ciencias Medellín.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FAO. (2006). Propiedades físicas del suelo.

<https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Omar, G. C.; Ciro, I. C.; Miguel, H. S.; Guillermo, U. S y Luis Héctor, H. G. (2015). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 18, núm. 2, 2009, pp. 57-63.

<https://www.redalyc.org/pdf/932/93215937011.pdf>



- Omar, G. C.; Ciro, I. C.; Miguel, H. S.; Guillermo, U. S. y Luis Héctor, H. G. (2011). Análisis de investigaciones realizadas para modelar la compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 20, núm. 2, 2011, pp. 70-74. Universidad Agraria de La Habana, Cuba. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93222228014.pdf>
- InfoAgro. (2018, 12 de agosto). La compactación de los suelos agrícolas (origen, efectos, prevención y corrección). [http://www.abcagro.com/riego/compactacion\\_suelos.asp](http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp)
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER. (2019). Resumen de temperatura máxima, media, mínima y precipitación diaria, Managua, NI. Dirección General de Meteorología. <https://www.ineter.gob.ni/boletines/Boletin%20climatico/decenal/2019/Febrero/Bol%20clim%20I%20dec%20FEB%202019.pdf>
- IPNI. (s.f.). Compactación de suelos, su prevención y manejo. Consultado el 04 de abril del 2022. [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/5645a8b1584def3305257e0e0068db6e/\\$FILE/AA%20-%206%20Junio-2014.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/5645a8b1584def3305257e0e0068db6e/$FILE/AA%20-%206%20Junio-2014.pdf)
- L. Rucks, F. Garcia, A. Kaplan, J. Ponce de León y M. Hill. (2004). Propiedades físicas del suelo. Montevideo-Uruguay <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Laguna González, J. S. y Laguna Mendoza, J. D. (2020). *Niveles de humedad en el cultivo de maíz (Zea mays L.), tomate (Solanum lycopersicum L.), y camote (Ipomoea batatas L.), en producción biointensivo, finca el Plantel, Masaya 2019*, Trabajo de Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. Repositorio UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/4094/1/tnp331182n.pdf>
- Méndez Ballester, O., Muñoz Sánchez, M. G. (2019). *Evaluación del estado actual de las plantaciones forestales establecidas en el centro de experimentación y validación de tecnología El Plantel, Nindiri, Masaya, Managua, Nicaragua*, Trabajo de graduación,

Universidad Nacional Agraria. Repositorio

UNA.<https://repositorio.una.edu.ni/4106/1/tnk10m538b.pdf>

Méndez Zelaya, N. A. (2021). *Estudio de la fertilización con biol y convencional en los cultivos de maíz (Zea mays L) y frijol (Phaseolus vulgaris L), bajo dos manejos de arvenses, finca El Plantel, Masaya 2017*, Maestría en Ciencias de la Innovación Agropecuaria, Trabajo de Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA.

Repositorio UNA.<https://repositorio.una.edu.ni/4487/1/tnf04m538e.pdf>

PASOLAC. Ficha Técnica 2010, Doc. N° 241. Manual de conservación de Suelos. Nicaragua.

Consultado el 05 de abril de

2022.[https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo\\_3\\_Manual\\_Conservacion\\_de\\_Suelos.pdf](https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conservacion_de_Suelos.pdf)

Proain tecnología agrícola. (2020, 7 de octubre). Impacto de la compactación del suelo agrícola.<https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/impacto-de-la-compactacion-del-suelo-agricola>

Rivera Gómez., y Dolmos Reyes. (2022). Efecto de las propiedades físicas del suelo en la infiltración del agua en la finca el plantel UNA 2020-2022 [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4542>

Santiago, J. D. (2017, 17 de enero). Compactación de suelo.

FertiLab.<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/153-Compactacion-del-suelo.pdf>

Viezaga, Fernando. (2012, 07 de noviembre). Introducción Compactación del suelo.[https://www.academia.edu/9353055/Introducci%C3%B3n\\_Compactaci%C3%B3n\\_del\\_suelo](https://www.academia.edu/9353055/Introducci%C3%B3n_Compactaci%C3%B3n_del_suelo)

Zavaleta Sánchez, j. (2010). Kriging: Un método de interpolación sobre datos dispersos.  
Universidad Nacional de México laboratorio de computo científico,  
F.C.<http://tikhonov.fciencias.unam.mx/presentaciones/2010sep23.pdf>

## IX. ANEXOS



**Anexo 1.** Toma de muestra de suelo.



**Anexo 2.** Manipulación del penetrómetro.



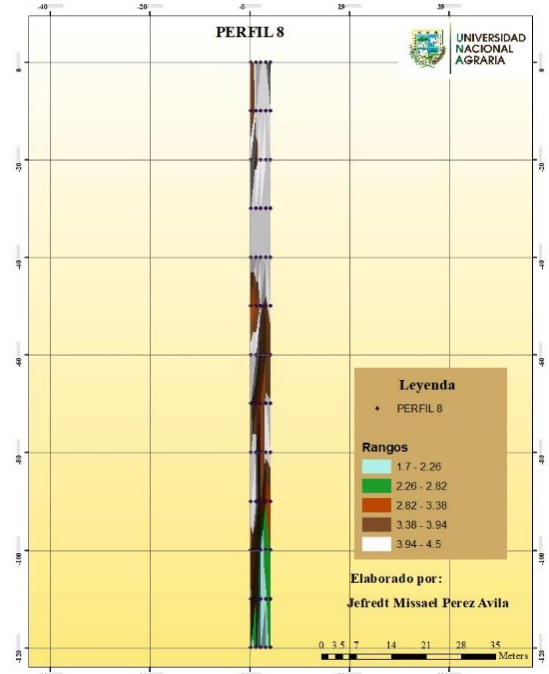
**Anexo 3.** Toma de datos con el penetrómetro.



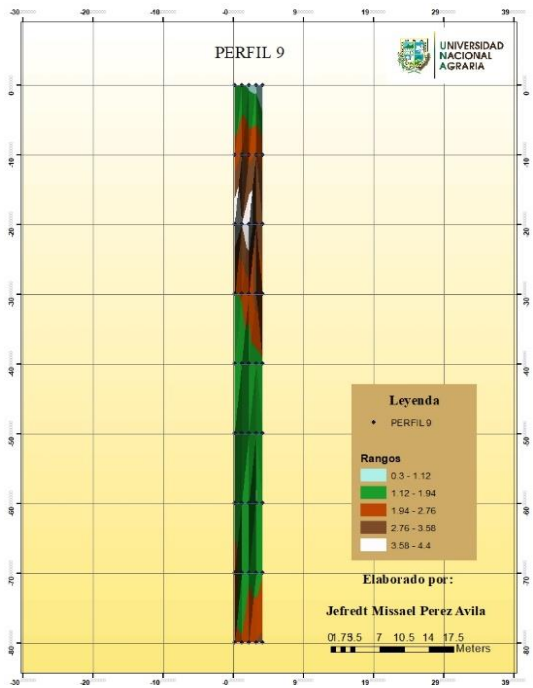
**Anexo 4.** Descripción de perfil de suelo



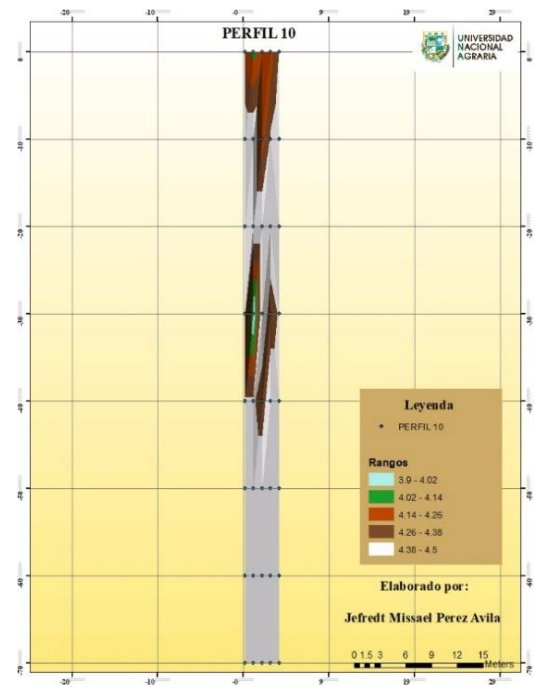
Anexo 5. Manipulación del GPS.



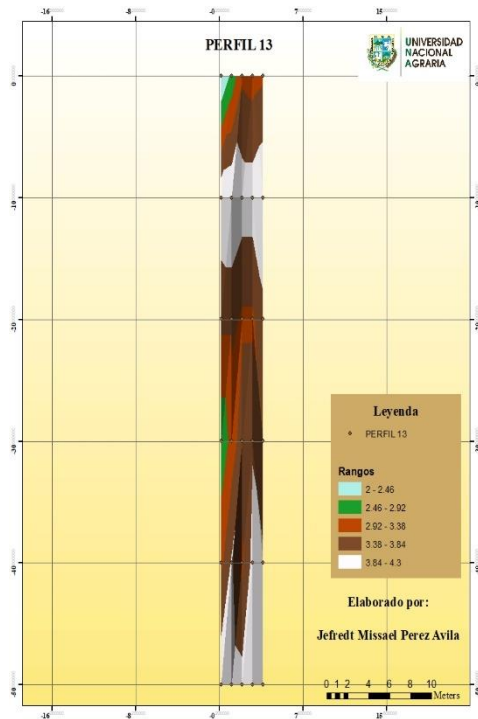
Anexo 6. Mapa de Compactación en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en perfil 8



Anexo 7. Mapa de compactación en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en perfil 9



Anexo 8. Mapa de compactación en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en perfil 10



**Anexo 9.** Mapa de compactación en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en perfil 13

**Distribución y tamaño de las partículas del suelo, resultados de laboratorio de Suelo y Agua. UNA**

Distribución y tamaño de partículas del suelo (µm)																
No.	Cod. LABS	Perfil	H*	Retención de humedad (%)		2000-1000	1000-500	500 -250	250 – 100	100 - 50	50 - 20		20 - 2	% Arcilla	Clase textural	
				CC**	PMP*	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	% Arena Total	Limo grueso	Limo fino			% Limo Total
1	557	1	A1	34.08	18.42	3.05	3.14	3.25	3.4	3.00	15.84	11.25	37.68	48.93	35.22	Franco Arcilloso Limoso
2	558	1	A2	31.85	17.22	2.54	4.46	4.96	7.22	7.14	26.42	7.09	30.79	37.88	35.7	Franco Arcilloso
3	559	2	A	35.26	19.06	0.71	0.4	2.85	2.94	0.82	7.72	8.02	50.88	58.9	33.37	Franco Arcilloso Limoso
4	560	2	B	26.31	14.22	5.86	6.56	7.57	8.27	10.94	39.28	3.94	28.37	32.31	28.41	Franco Arcilloso
5	561	3	A	34.33	18.56	1.74	1.14	6.52	3.06	0.29	12.75	7.90	45.38	53.28	33.96	Franco Arcilloso Limoso
6	562	3	B	35.71	19.3	3.48	3.02	2.25	2.49	0.54	11.82	7.85	43.12	50.97	37.21	Franco Arcilloso Limoso
7	563	4	A	29.75	16.08	3.79	4.75	4.95	5.22	5.17	23.95	10.8	36.94	47.74	28.3	Franco Arcilloso
8	612	5	A	27.49	14.86	4.82	4.46	4.48	4.27	7.37	25.54	15.9	35.53	51.43	23.02	Franco Limoso
9	613	5	BC	13.68	7.39	7.43	8.33	9.99	9.94	14.04	49.91	26.59	23.48	50.07	0.02	Franco Limoso
10	614	6	A	25.95	14.03	4.5	6.93	6.63	8.27	7.49	33.9	10.82	31.82	42.07	24.02	Franco
11	615	6	AB	19.39	10.48	6.49	6.4	6.00	8.28	11.31	38.49	25.46	27.34	52.8	8.70	Franco Limoso
12	616	6	Bt	16.62	8.98	8.85	7.82	8.69	10.96	13.11	49.46	22	20.62	42.62	7.91	Franco
13	617	7	A	29.57	15.99	4.15	4.38	4.81	5.02	6.86	25.35	12.72	33.24	45.96	28.69	Franco Limoso
14	618	7	AB	15.87	8.58	7.53	8.29	9.78	11.81	14.54	51.97	26.5	14.12	40.62	7.41	Franco
15	619	7	Bt	9.52	5.15	7.19	14.67	18.26	20.37	15.95	76.48	10.87	7.41	18.28	5.23	Franco limoso
16	436	8	A	37,91	22,15	0,30	0,26	0,23	0,26	0,53	7,78	11,51	38,77	50,29	41,93	Arcillo limoso
17	437	8	B	39,97	19,66	0,45	0,64	0,52	0,48	0,72	13,71	9,71	32,92	42,73	43,66	Arcillo limoso
18	438	9	A	40,64	20,01	0,11	0,45	0,39	0,45	0,60	10,02	8,23	32,54	40,77	49,21	Arcillo limoso
19	439	9	B	31,64	14,38	2,07	2,31	1,00	0,92	0,83	36,42	8,28	20,19	28,47	35,11	Franco Arcilloso
20	440	10	A	35,43	21,09	0,16	0,26	0,40	1,16	0,70	13,13	9,79	35,59	45,38	41,49	Arcillo limoso
21	441	10	B	26,05	16,04	0,62	0,78	1,06	2,44	1,94	34,43	14,78	29,46	44,24	21,33	Franco
22	453	11	A	34,46	23,90	0,22	0,41	0,39	0,39	0,68	10,83	10,76	36,40	47,16	42,02	Arcillo limoso
23	454	11	B	32,62	21,21	0,57	0,55	0,39	0,32	0,36	11,11	13,09	42,29	55,38	33,51	Franco arcilloso limoso
24	455	12	A1-2	30,25	16,45	0,27	0,34	0,47	0,07	0,65	14,24	9,86	39,15	49,02	36,75	Franco arcilloso limoso
25	456	12	B	30,93	15,85	0,87	0,90	0,69	0,07	0,90	22,76	10,87	42,39	53,26	23,99	Franco limoso
26	457	13	A	33,60	18,03	0,93	0,92	0,97	0,95	1,58	27,02	8,41	31,50	39,91	33,06	Franco arcilloso
27	458	13	B	40,62	23,23	0,25	0,37	0,30	0,40	0,35	8,57	5,62	34,00	39,62	51,81	Arcilloso
28	459	14	A	31,16	18,26	2,07	0,34	0,87	1,07	0,85	26,24	10,55	29,87	40,42	33,34	Franco arcilloso
29	460	14	B	28,60	10,17	2,01	1,97	0,74	1,88	1,23	45,98	15,40	21,84	37,25	16,17	Franco

**Anexo 10. Análisis físicos de suelo, laboratorio de suelo y agua (LABSA) (Rivera y Dolmos, 2022, pág. 33).**

