

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Descripción de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos en algunas fincas productoras de mora (*Rubus robustus* C. Presl.) en la vereda Cúnuba, municipio Pamplona, Norte de Santander

Karen Melisa Novoa Pedroza

María Camila Jiménez Rangel

Programa de Ingeniería Agronómica

16 de junio de 2022

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Descripción de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos en algunas fincas productoras de mora (*Rubus robustus* C. Presl.) en la vereda Cúnuba, municipio Pamplona, Norte de Santander

Trabajo de grado bajo la modalidad de investigación presentado como requisito para optar por el título de ingeniero agrónomo

Karen Melisa Novoa Pedroza

CC. 1090990184

María Camila Jiménez Rangel

CC. 1050460646

Tutora

Dra. Ana Francisca González Pedraza

Programa de Ingeniería Agronómica

16 de junio de 2022

Dedicatoria

El presente trabajo de grado está dedicado primeramente a Dios por permitirnos culminar nuestra carrera, a nuestras madres (Deccy Rangel Garcés y Noris Pedroza García) porque gracias a sus esfuerzos y amor hemos podido realizar nuestro sueño, y finalmente a nuestros hermanos por su apoyo y motivación durante toda esta etapa estudiantil.

Agradecimientos

Gracias a Dios, a nuestras mamás y familia por apoyarnos a lo largo de nuestra carrera universitaria y durante toda nuestra vida, y a todas las personas que nos colaboraron de una u otra manera durante todo este proceso, especialmente a nuestra tutora de grado la Dra. Ana Francisca González Pedraza quien con su conocimiento, paciencia y dedicación nos guio para llevar a cabo este proyecto, y finalmente a los productores de mora uva de la vereda Cúnuba por habernos permitido realizar el estudio en sus fincas

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos	4
Resumen.....	12
Summary.....	13
1. Introducción	14
2. Problema	17
2.1. Planteamiento del problema	17
3. Justificación	18
4. Delimitación.....	19
5. Objetivos.....	20
5.1. Objetivo general	20
5.2. Objetivos específicos.....	20
6. Marco teórico.....	21
6.1. Antecedentes.....	21
6.1.1. Antecedentes internacionales	21
6.1.2. Antecedentes nacionales	22
6.1.3. Antecedentes regionales.....	23
7. Marco contextual	24

8.	Bases conceptuales.....	26
8.1.	Propiedades físicas de los suelos.....	26
8.1.1.	Textura del suelo.....	26
8.1.2.	Humedad gravimétrica del suelo.....	27
8.1.3.	Humedad volumétrica.....	27
8.1.4.	Densidad aparente del suelo.....	28
8.1.5.	Densidad real del suelo.....	28
8.1.6.	Resistencia a la penetración.....	28
8.1.7.	Porosidad del suelo.....	28
8.2.	Perfiles de suelo.....	¡Error! Marcador no definido.
8.3.	Propiedades químicas de los suelos.....	29
8.3.1.	pH.....	30
8.3.2.	Conductividad eléctrica.....	30
8.3.3.	Materia orgánica.....	30
8.3.4.	Carbono orgánico.....	¡Error! Marcador no definido.
8.4.	Calidad de suelos.....	31
8.5.	Impacto del mal uso sobre la calidad de los suelos.....	31
8.6.	Cultivo de mora.....	31
9.	Marco legal.....	33

9.1.	Normatividad sobre el recurso suelo	33
9.2.	Decreto 2811 de 1974.....	33
9.2.1.	Artículo 178.....	33
9.2.2.	Artículo 179.....	33
9.2.3.	Artículo 180.....	33
10.	Metodología	35
10.1.	Tipo de investigación.....	35
10.2.	Diseño metodológico y/o experimental y toma de muestras de suelos	35
10.3.	Características físicas de los suelos	37
10.3.1.	Textura	37
10.3.2.	Humedad gravimétrica (W):.....	37
10.3.3.	Humedad volumétrica (θ).....	38
10.3.4.	Densidad aparente:	38
10.3.5.	Densidad real.....	38
10.3.6.	Porosidad total (%).....	39
10.3.7.	Resistencia mecánica a la penetración	39
10.4.	Propiedades químicas de suelos	39
10.4.1.	pH.....	39
10.4.2.	Conductividad eléctrica.....	39

10.4.3. Carbono orgánico total	39
10.5. Identificación de las características físicas y químicas de los suelos más limitantes para la producción de mora	40
10.6. Análisis estadísticos.....	40
11. Resultados y discusión	41
11.1. Propiedades físicas de los suelos	41
11.1.1. Textura	41
11.1.2. Humedad y porosidad del suelo	44
11.1.3. Densidad aparente y densidad real	47
11.1.4. Resistencia mecánica a la penetración	50
11.2. Propiedades químicas de los suelos.....	52
11.2.1. pH.....	52
11.2.2. Conductividad eléctrica.....	53
11.2.3. Materia orgánica de los suelos	54
12. Factores de suelos limitantes para la producción del cultivo de uva mora	56
13. Conclusiones	58
14. Recomendaciones	59
15. Referencias.....	60
16. Anexos	66

Lista de figuras

FIGURA 1. MAPA DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA Y UBICACIÓN DE SUS RESPECTIVAS VEREDAS, ENTRE ELLAS CÚNUBA.....	25
FIGURA 2. DIAGRAMA TRIANGULAR DE LAS CLASES TEXTURALES BÁSICAS DEL SUELO, SEGÚN EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE ACUERDO CON EL USDA (1977).	27
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, ARENA, LIMO ARCILLA Y POROS (MACROPOROS Y MICROPOROS).....	29
FIGURA 4. DISEÑO DE MUESTREO DE LOS SUELOS EN CADA UNA DE LAS FINCAS DE LA VEREDA DE ESTUDIO	36
FIGURA 5. TEXTURA PROMEDIO DE 0-20 CM DE PROFUNDIDAD	41
FIGURA 6. COMPARACIÓN PROMEDIO DE LOS PORCENTAJES DE ARENA, LIMO Y ARCILLA ENTRE FINCAS A LA PROFUNDIDAD DE 20-40 CM 42	
FIGURA 7. COMPARACIÓN PROMEDIO DE LOS PORCENTAJES DE ARENA, LIMO Y ARCILLA ENTRE FINCAS A LA PROFUNDIDAD DE 0-40 CM . 43	
FIGURA 8. PROMEDIO DE LOS PORCENTAJES DE HUMEDAD VOLUMÉTRICA Y GRAVIMÉTRICA Y POROSIDAD ENTRE FINCAS DE 0-20 CM DE PROFUNDIDAD.....	45
FIGURA 9. PROMEDIO DE LOS PORCENTAJES DE HUMEDAD VOLUMÉTRICA Y GRAVIMÉTRICA Y POROSIDAD ENTRE FINCAS DE 20-40 CM DE PROFUNDIDAD.....	46
FIGURA 10. PORCENTAJES PROMEDIO DE HUMEDAD VOLUMÉTRICA Y GRAVIMÉTRICA Y POROSIDAD ENTRE FINCAS DE 0-40 CM DE PROFUNDIDAD.....	47
FIGURA 11. DENSIDAD APARENTE Y DENSIDAD REAL EN LAS DIFERENTES FINCAS DE 0-20 CM DE PROFUNDIDAD	48
FIGURA 12. DENSIDAD APARENTE Y DENSIDAD REAL EN LAS DIFERENTES FINCAS DE 20-40 CM DE PROFUNDIDAD	49
FIGURA 13. DENSIDAD APARENTE Y DENSIDAD REAL EN LAS DIFERENTES FINCAS DE 0-40 CM DE PROFUNDIDAD.	50
FIGURA 14. RESISTENCIA MECÁNICA A LA PENETRACIÓN EN LAS DIFERENTES FINCAS Y A LAS DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	51
FIGURA 15. PROMEDIO DE PH DE LOS SUELOS EN LAS DIFERENTES FINCAS A LAS DIFERENTES PROFUNDIDADES DE 0-20, 20-40 Y DE 0-40 (DATO GENERAL) CM.....	52
FIGURA 16. PROMEDIO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS SUELOS EN LAS DIFERENTES FINCAS A LAS DIFERENTES PROFUNDIDADES DE 0-20, 20-40 Y 0-40 (DATO GENERAL) CM	53
FIGURA 17. PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS EN LAS DIFERENTES FINCAS A LA PROFUNDIDAD DE 0-20 CM.....	54
FIGURA 18. PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS EN LAS DIFERENTES FINCAS A LA PROFUNDIDAD DE 20-40 CM.....	55

FIGURA 19. PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS EN LAS DIFERENTES FINCAS A LAS DIFERENTES PROFUNDIDADES 56

Lista de tablas

TABLA 1. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN LAS FINCAS EVALUADAS 36

TABLA 2. PORCENTAJE OBTENIDO DE ARCILLA, ARENA, LIMO Y CLASE DE TEXTURA DE CADA FINCA 44

Resumen

La mora uva (*Rubus robustus* C. Presl), es uno de los cultivos que ha alcanzado auge en el municipio de Pamplona - Norte de Santander, sin embargo, existe poca información sobre las características de los suelos en los cuales crece este cultivo. Es por ello que en este estudio se evaluó algunas características físicas y químicas de los suelos en la vereda Cúnuba del municipio Pamplona, Norte de Santander. Se seleccionaron cinco fincas (Pararrayo, Loma redonda, Estrella, Arturo y Arrayán) y en cada finca se delimitó una parcela de 1000 m². Dentro de cada parcela se tomaron 5 muestras simples de suelos por cada profundidad de 0-20 cm y de 20-40 cm, para un total de 10 muestras por parcela. Se midió humedad volumétrica en campo y resistencia mecánica a la penetración, este método se realizó con un penetrometro de bolsillo tomando 4 puntos en cada profundidad. También se tomaron muestras de suelos con cilindros para determinar la densidad aparente, además, se halló densidad real por el método del picnómetro; pH y conductividad eléctrica en una relación agua y suelo 2:1 y la materia orgánica por el método de pérdidas de suelos por ignición. A los datos se les realizó un análisis descriptivo. Los suelos resultaron ser arenosos a franco arenoso. La humedad volumétrica y la gravimétrica estuvieron entre 30 y 40 % y 40 y 50 %, respectivamente. La densidad aparente estuvo por debajo de 2,0 g/cm³ en todas las fincas evidenciando cierto riesgo de compactación en algunas fincas. La resistencia mecánica en las fincas (Loma redonda, Arturo y Arrayan) estuvo por encima de 2 kg/cm², teniendo en cuenta que los valores en los suelos agrícolas oscilan entre los 0,5 y 3 Kg/cm², considerándose 3 Kg/cm² un suelo compactado. La porosidad osciló entre 40 y 50 %. El pH de los suelos en las diferentes fincas estuvo entre 5 y 6 moderadamente ácido. No hubo problemas de sales ya que la conductividad eléctrica fue baja. El % MO variaron entre 6,10 y 21,41 %. Los suelos en los que crece la uva mora en el municipio Pamplona se encuentran limitados por una textura muy arenosa, pH moderadamente ácido y valores bajos de materia orgánica.

Palabras claves: mora uva, textura, densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración, porosidad, pH, materia orgánica

Summary

The blackberry (*Rubus robustus* C. Presl), is one of the crops that has reached its peak in the municipality of Pamplona - Norte de Santander, however, there is little information on the characteristics of the soils in which this crop grows. That is why in this study some physical and chemical characteristics of the soils in the Cúnuba village of the Pamplona municipality, Norte de Santander, were evaluated. Five farms were selected (Pararrayo, Loma redonda, Estrella, Arturo and Arrayán) and a plot of 1000 m² was delimited on each farm. Within each plot, 5 simple soil samples were taken for each depth of 0-20 cm and 20-40 cm, for a total of 10 samples per plot. Volumetric humidity in the field and mechanical resistance to penetration were measured, this method was carried out with a pocket penetrometer taking 4 points at each depth. Soil samples were also taken with cylinders to determine apparent density, in addition, real density was found by the pycnometer method; pH and electrical conductivity in a 2:1 water and soil ratio and organic matter by the method of soil loss by ignition. A descriptive analysis was performed on the data. The soils were found to be sandy to sandy loam. Volumetric and gravimetric humidity were between 30 and 40% and 40 and 50%, respectively. Bulk density was below 2.0 g/cm³ in all farms, showing a certain risk of compaction in some farms. The mechanical resistance in the farms (Loma redonda, Arturo and Arrayán) was above 2 kg/cm², taking into account that the values in agricultural soils range between 0.5 and 3 Kg/cm², considering 3 Kg/cm² a compacted soil. The porosity ranged between 40 and 50%. The pH of the soils in the different farms was between 5 and 6 moderately acids. There were no sales problems as the electrical conductivity was low. The % MO varied between 6.10 and 21.41%. The soils in which the blackberry grape grows in the municipality of Pamplona are limited by a very sandy texture, a moderately acidic pH and, in some farms, low values of organic matter

Keywords: blackberry grape, texture, apparent density, mechanical resistance to penetration, porosity, pH, organic matter.

1. Introducción

El suelo es la porción más superficial de la corteza terrestre, está constituida por residuos de roca provenientes de procesos erosivos y otras alteraciones físicas y químicas, así como de materia orgánica proveniente de toda actividad biológica hecha por microorganismos del suelo que se desarrolla en la superficie, es también la porción más visible del planeta tierra y donde se llevan a cabo diferentes sistemas de producción agrícola (Raffino, 2019).

En cuanto al sistema de producción del cultivo de mora su suelo ideal es el que presenta textura franca, con buena aireación y buen drenaje, debe presentar alto contenido de humedad pero que no presente encharcamiento ya que este cultivo es susceptible al mismo, con altos contenidos de materia orgánica, ya que esta mejora la textura y estructura del suelo, además, requiere suelos profundos que sean medianamente ácidos (5,5- 6,5 siendo el óptimo 5,7) en el caso de que sea un suelo alcalino el cultivo presentaría problemas en cuanto a la absorción de nutrientes por parte de la planta además el suelo no sería el óptimo para la retención de agua debido a la baja capacidad de infiltración, en cuanto, a macronutrientes el cultivo de mora requiere (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) y micronutrientes como (Hierro y Boro) estos deben tener una relación para brindar resistencia a enfermedades y plagas que atacan el cultivo (Rodríguez Herrera y Villegas Carmona, 2015; Sembralia, 2020).

El conocimiento de las propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica y materia orgánica) y físicas (textura, densidad aparente, porosidad, humedad, etc.) del suelo no es suficiente para emprender la siembra, pues todo ser viviente, como lo es una planta, requiere de condiciones óptimas en su lugar de asentamiento, además de los materiales de subsistencia. Que un suelo esté provisto de una buena cantidad de nutrientes (fósforo, nitratos, sulfato, etc.) no significa que los mismos estén disponibles y puedan ser absorbidos por la planta, esto dependerá, en gran medida, por las características físicas (textura, humedad del suelo, densidad aparente, densidad real y porosidad) de dicho suelo, donde su diagnóstico permitirá conocer las posibilidades y limitaciones de su uso, reflejando así la manera como el suelo almacena y provee agua a las plantas, el desconocimiento de estas propiedades puede producir degradación y con ello la pérdida de sus principales funciones ecosistémicas y su capacidad productiva, exponiéndose a una baja producción por ende una escasez de alimentos, inundaciones, sequías,

deslizamientos de suelos, y otros daños que ponen en peligro la existencia de la vida humana y propiedades (Pereira et al., 2011; Urriola, 2021).

La mora es el nombre común para cualquiera de las diversas plantas perennes del género *Rubus*, pertenece a la familia Rosaceae. Es un fruto fresco y delicioso muy apetecido por su contenido de antioxidantes y vitaminas como A, C y E lo que la hace ideal para el cuidado de la salud ya que refuerza las defensas y aporta fibra dietaría, en cuanto a usos, se utiliza para la elaboración de yogures, helados, pancakes, o en ensaladas de frutas, cerca del 98% de las moras producidas comercialmente se procesan en forma de jaleas, galletas, chocolates, mermeladas, jugos, vinos y brandis (Evok, 2017).

Se estima que existen entre 700 y 750 especies de mora distribuidas en 12 géneros a nivel mundial, es el género de mayor número de especies dentro de la familia Rosaceae (Cancino-Escalante et al., 2011). En Colombia, se encuentran desde las zonas frías y frío-moderadas, en alturas de los Andes comprendidas entre los 1.500 y 3.200 msnm (Salazar Yepes et al., 2007).

Los Andes colombianos son el hábitat natural de especies del género *Rubus*. En las zonas donde se cultiva comercialmente *R. glaucus* es común encontrar especies silvestres como *R. robustus* a lo largo de caminos, bosques marginales y en los mismos cultivos comerciales (Cancino-Escalante et al., 2011). Cabe mencionar que la mora de castilla (*R. glaucus* Benth), es la especie que más se cultiva en Colombia, aunque ha surgido la implementación a baja escala de otras especies como mora uva (*R. robustus* C. Presl), esto debido a que actualmente hay poco conocimiento sobre su manejo agronómico y su adaptabilidad a las diferentes condiciones climáticas.

Esta especie de mora puede ser una de las nuevas alternativas para la implementación de este cultivo, ya que tiene un alto potencial de producción, además de presentar menor incidencia de plagas, mejor adaptabilidad a condiciones edafoclimáticas, según literatura la producción por planta es mayor comparada con otras variedades, dando un mayor beneficio de rentabilidad al agricultor (Garzon, 2019).

Dada la importancia que tienen las características de los suelos sobre el desarrollo de los cultivos y debido a la escasa información disponible de los suelos cultivados con mora en el

municipio de Pamplona, en este trabajo se plantea como objetivo describir las propiedades físicas (textura, humedad del suelo, densidad aparente, densidad real, resistencia a la penetración y porosidad) y las propiedades químicas (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico) de los suelos de fincas productoras de mora (*R. robustus* C. Presl) en el municipio Pamplona, Norte de Santander.

De igual manera se quiere identificar cuáles serían las características de los suelos que pudieran ser limitantes para el desarrollo del cultivo de la mora bajo los sistemas de producción del municipio Pamplona, con el fin de brindar información a los productores de la región sobre las prácticas más apropiadas para el manejo sostenible de esos suelos.

2. Problema

2.1. Planteamiento del problema

Muchas de las actividades agrícolas ejercidas por el hombre impactan de forma negativa en la biota del suelo, sus actividades y diversidad, como lo es la deforestación, la erosión, el laboreo, así como la adición de fertilizantes y pesticidas, estas afectan de manera drástica el ambiente del suelo llevando a la reducción del número y especies de organismos, todo lo mencionado anteriormente influye en la calidad y porcentajes de rendimientos en los sistemas de producción agrícola, siendo así que la erosión se lleva de 25 a 40.000 millones de toneladas de la capa arable del suelo cada año, lo que reduce significativamente la capacidad del suelo para almacenar y completar el ciclo del carbono, los nutrientes y el agua.

En cuanto al sistema de producción de mora en Colombia se ha venido incrementado durante los últimos años, debido a que ofrecen importantes nutrientes para una dieta saludable, lo cual hace que su consumo este masificado en muchas regiones del país, pero cabe mencionar que, a pesar de la demanda y las extensiones de siembra, es una especie que presenta limitantes fitosanitarias debido a la falta de material certificado y el mal manejo del cultivo (Villalba Mosquera et al., 2019).

Una de las limitaciones a nivel nacional es la falta de estudios sobre los suelos donde se cultiva la mora. En el municipio de Pamplona los productores desconocen las características de los suelos ideales para el desarrollo del cultivo y ello representa una limitante para hacer un uso y manejo más sostenible de los suelos cultivados con mora. Una de las causas de esta situación son las limitaciones económicas de los agricultores. Adicionalmente, el manejo que le dan al cultivo es de tipo empírico. Según la gobernación de Norte de Santander en la PDEA (Plan Departamental de Extensión Agropecuaria), el sistema de producción de mora, la preparación de la tierra la ejecutan con labores manuales sin tener un conocimiento previo de sus suelos. En este sentido, el desconocimiento de las características físicas y químicas de los suelos puede conllevar a un mal manejo agronómico del cultivo.

3. Justificación

La condición física de los suelos tiene gran influencia en aspectos como la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de almacenamiento de agua y la retención de nutrientes de los mismos (Urriola, 2021).

La mora (*R. robustus* C. Presl.) es un cultivo que forma parte importante de la economía del municipio de Pamplona. En los últimos años se ha visto un aumento en la superficie de siembra, además, es un fruto muy aceptado como parte de la alimentación de los pamploneses (González-Castro et al., 2019). En el municipio de Pamplona existe una asociación de productores denominada ASPRI que agrupa a 37 productores de mora, en la que se encuentra los productores de la vereda Cúnuba

En vista de la importancia de este cultivo para el municipio Pamplona y ante la escasez de estudios sobre los tipos de suelos en la vereda Cúnuba, surgió el interés por brindar conocimiento e información útil a los agricultores del municipio sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos en los que se cultiva mora uva así como las limitantes que estos puedan presentar para el desarrollo óptimo de su cultivo.

4. Delimitación

Esta investigación se llevó a cabo en la vereda Cúnuba del municipio Pamplona, Norte de Santander. Este municipio se encuentra ubicado en la Cordillera Central de Los Andes colombianos, a 2.586 metros de altura sobre el nivel del mar. Por ello tiene un clima fresco, de unos 14 °C en promedio, que la hace contrastar con urbes cercanas muy importantes. En cuanto a producción agrícola, la papa es su principal producto, le siguen fresa, mora, ajo, trigo, morón, maíz, fríjol, arveja, zanahoria (IGAC, 2012; Unipamplona, 2015b).

En la vereda Cúnuba se seleccionaron 5 fincas (Pararrayo, Loma redonda, Estrella, Arturo y Arrayán) cultivadas con mora uva (*R. robusutus* C. Presl) en plena producción en las cuales se tomaron las respectivas muestras de suelos para los análisis físicos (textura, humedad del suelo, densidad aparente, densidad real, resistencia a la penetración y porosidad) y químicos (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica).

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Caracterizar algunas propiedades físicas y químicas de los suelos en cinco fincas productoras de mora uva (*Rubus robustus* C. Presl.) en la vereda Cúnuba, municipio Pamplona, Norte de Santander.

5.2. Objetivos específicos

- Medir los parámetros físicos como la humedad, textura, resistencia mecánica a la penetración, densidad aparente, densidad real y porosidad total de los suelos en cinco fincas productoras de mora uva (*Rubus robustus* C. Presl.) en la vereda Cúnuba, municipio Pamplona, Norte de Santander.
- Identificar las características químicas pH, conductividad eléctrica y materia orgánica de los suelos de cinco fincas productoras de mora (*Rubus robustus* C. Presl.) en la vereda Cúnuba, municipio Pamplona, Norte de Santander.
- Analizar las características físicas y químicas de los suelos más limitantes para la producción de mora uva (*Rubus robustus* C. Presl.) en la vereda Cúnuba, municipio Pamplona, Norte de Santander.

6. Marco teórico

6.1. Antecedentes

6.1.1. Antecedentes internacionales

La mora uva (*Rubus robustus*) es una especie silvestre nativa de los Andes de Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia, entre los 1.800 y los 3.000 msnm por lo que los estudios relacionados con los suelos donde ella se desarrolla son escasos. Los estudios que se han realizado están más orientados a la evaluación de la calidad fisicoquímica de los frutos en postcosecha como es el caso del trabajo de Zuloeta (2017) en Ecuador.

De forma general se ha demostrado que las propiedades morfológicas del suelo descritas en el campo, como la textura, la consistencia o la estructura, proporcionan una herramienta valiosa para la evaluación del potencial de productividad del suelo. Por ejemplo, Olivares et al. (2022) encontraron una clara relación entre los indicadores físicos de calidad del suelo como la textura, estructura, consistencia, color, desarrollo de raíces, etc., con la productividad de plantas de banano y el rendimiento mediante el uso de indicadores basados en parámetros morfológicos fáciles de medir que permiten identificar los suelos más adecuados para los cultivos, mejorando así su sostenibilidad ambiental y la rentabilidad.

El crecimiento de las raíces, así como el rendimiento de los cultivos pueden ser afectados por la compactación del suelo. A este respecto, Rasche et al. (2020) evaluaron el desarrollo de las raíces de cultivos de soja (*Glycine max* (L.) Merr.), maíz (*Zea mays* L.) y guandú (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) en un suelo arcilloso con diferentes densidades en Katueté, Canindeyú. Según lo observado, la densidad del suelo afectó negativamente al peso seco de raíces siendo mayor con densidad de suelo de $1,19 \text{ g cm}^{-3}$ y menor con densidad $1,59 \text{ g cm}^{-3}$. El cultivo de maíz presentó la mayor limitación en el desarrollo radicular frente a la compactación del suelo en relación con la soja y el guandú.

Por otro lado, los cambios en las propiedades físicas y químicas pueden influir sobre las propiedades biológicas de los suelos. A este respecto, Jaurixje et al. (2013) evaluaron variables físicas (densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica) y químicas (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo y potasio) en fincas con cultivadas con cebolla, pasto,

aguacate, ají dulce, barbecho y bosque, y las relacionaron con el comportamiento biológico del suelo en el municipio Jiménez del estado Lara, Venezuela. Los mayores valores de respiración basal y biomasa microbiana se encontraron en suelos manejados con enmiendas orgánicas o cuando los suelos estaban sin ningún tipo de manejo agrícola o en barbecho. Los menores valores se encontraron bajo el manejo fue convencional, como pases de maquinaria agrícola y fertilizaciones químicas. La biomasa microbiana se correlacionó con la conductividad hidráulica y los macroporos, lo cual demuestra que el mejoramiento en las condiciones físicas del suelo, se traduce en una mayor actividad biológica de los microorganismos.

6.1.2. Antecedentes nacionales

Existe una carencia de estudios a nivel nacional relacionados con la caracterización de los suelos en los que se cultiva la mora *R. robustus*. Sin embargo, para la variedad *R. glaucus* se han realizado algunos estudios. Por ejemplo, Alzate et al. (2010) evaluaron la influencia del manejo agronómico, las condiciones edáficas y el clima sobre las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas de la mora (*Rubus glaucus* Benth.) en dos zonas de la región centro sur del departamento de Caldas. De acuerdo con los resultados, se evidenció diferencias en las propiedades fisiológicas y fisicoquímicas de los frutos entre los dos sitios estudiados, las mejores características fueron atribuidas a las condiciones nutricionales y al manejo agronómico adoptado en la zona de producción.

En otro estudio realizado por Palacios (2017) se investigó el efecto de las prácticas de conservación de suelos en el cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth) en el municipio de San Bernardo Cundinamarca. En este estudio se logró determinar que la pérdida de suelo en un sistema de producción de mora depende de las prácticas de conservación que se realicen, dando así un efecto positivo para mantener la fertilidad en el suelo y sus características físicas, debido a que con el manejo de suelo tradicional este recurso se va degradando y se pierde el horizonte A, el cual es muy valioso para el desarrollo y producción de la planta debido a que la mayor parte de los nutrientes y desarrollo de las raíces se encuentran concentrados en este horizonte.

En un estudio realizado por Calderón-Medina et al. (2018) se evaluó las propiedades químicas: pH, aluminio intercambiable (AlH), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), boro (B), azufre (S), sodio (Na), zinc (Zn), capacidad de intercambio catiónico efectiva

(CICE), físicas: conductividad hidráulica (CH), densidad aparente (DA), mesoporosidad (MES), porosidad total (PT), saturación (SAT), capacidad de campo (CC), humedad disponible (HD), microporosidad (MIC), punto de marchitez permanente (PMP), porcentaje de arena y arcilla y biológicas: recuento microbiano de hongos, bacterias, actinomicetos y meso invertebrados del suelo como indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta y se encontró una moderada calidad química que en el Sistema Agroforestal (SAF) representada por altos valores de pH, bajo Al H, bajos contenidos de Ca, bajo Mg y alto valores de S y Zn. A su vez, el SAF mostró baja calidad física con valores de DA de $1,34 \text{ g/cm}^3$.

6.1.3. Antecedentes regionales

En un estudio realizado por Valenzuela et al. (2018) se evaluó la influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, donde se encontró en el suelo de clima frío un pH entre 5,07 a 6,99 en todas las profundidades y usos del suelo. Destacando que en el uso de suelo bosque y pastura, la acidez va de moderada a fuerte, mientras que en el uso de cultivo intensivo es neutro. Se observó que el suelo tiene muy buena capacidad de intercambio catiónico (CIC) con predominio de bases intercambiables y no hay problemas de salinidad.

7. Marco contextual

Esta investigación se realizó en el municipio de Pamplona, el cual se encuentran en el departamento de Norte de Santander, donde Pamplona está situado en las coordenadas de 7° 22' 34" de latitud Norte y a 72°38' 54" de longitud al Oeste de Greenwich. Este limita al Norte con los municipios Pamplonita y Cucutilla, al sur con los municipios de Cácuta y Mutiscua, al oriente con Labateca y al occidente con el municipio Cucutilla, se encuentra a una altura de 2.586 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una temperatura promedio de 14 – 16 °C, con una extensión territorial total de 456 km², población de 76. 983 habitantes aproximadamente. La economía del municipio se basa en su gastronomía, agricultura, turismo y educación (Figura 1) (Alcaldía de Pamplona, 2014; Lizcano Bueno y Andrade, 2010).

Pamplona presenta un relieve montañoso que está situado sobre la cordillera Oriental, en la bifurcación del gran Nudo de Santurbán donde se divide en dos ramales: uno que toma la dirección nororiental hacia territorio venezolano y otro que se dirige al noroeste a formar la serranía de los Motilones. Los tipos de suelos predominantes son Inceptisoles y Entisol, con clases texturales de suelos franco arenoso, franco limoso y franco arcillo limosa, presentando estos suelos una variación en la concentración de micro y macronutrientes (Castellanos González et al., 2021; IGAC, 2004, 2006, 2012).

En la figura 1 se puede observar el municipio de Pamplona con sus respectivas veredas, entre ellas Cúnuba donde se llevó a cabo la investigación.

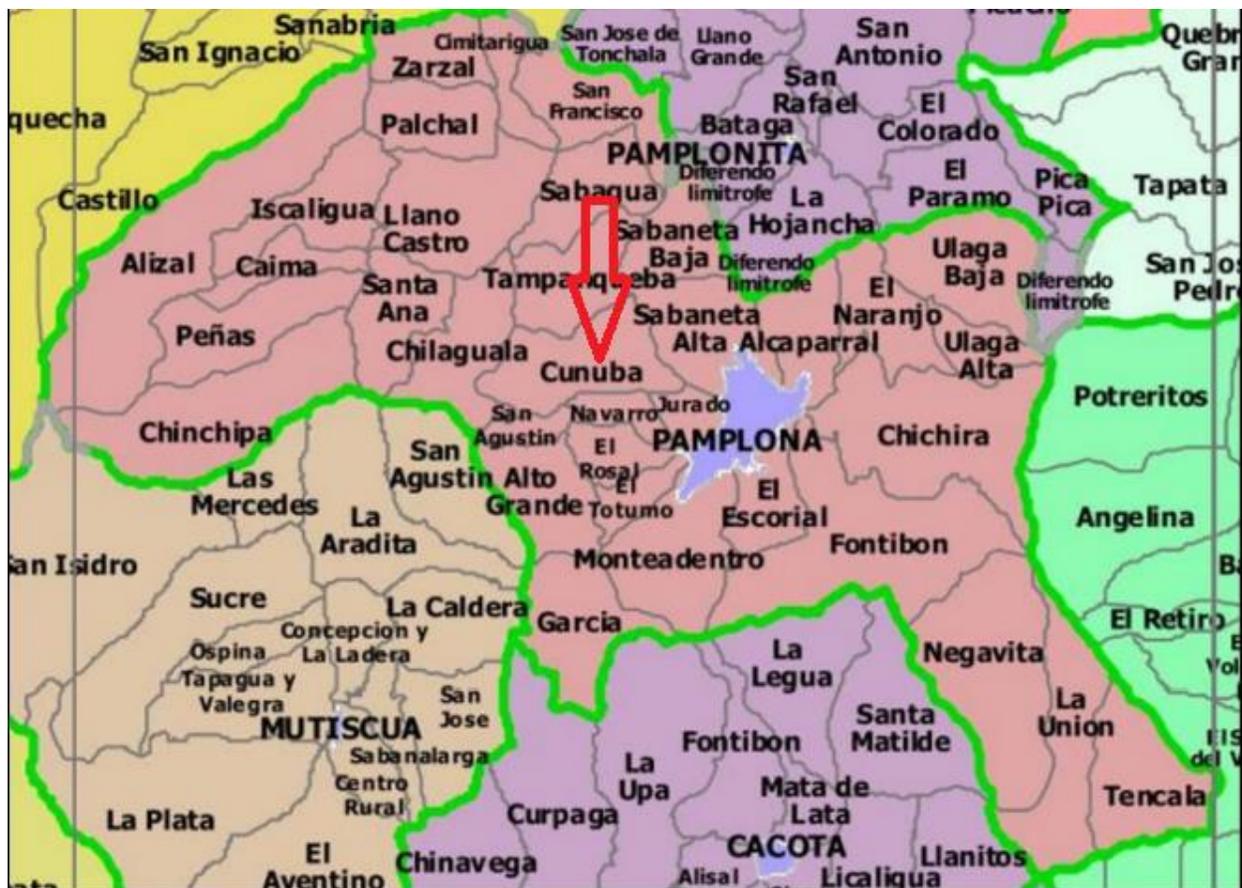


Figura 1. Mapa del municipio de Pamplona y ubicación de sus respectivas veredas, entre ellas Cúmba

Fuente: Tomada de Gobernación de Norte de Santander (2014).

8. Bases conceptuales

8.1. Propiedades físicas de los suelos

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 posible (Rucks et al., 1968).

8.1.1. Textura del suelo

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks et al., 1968).

Cada término textural corresponde con una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla. En los términos de textura se prescinde de los contenidos en gravas; se refieren a la fracción del suelo que se estudia en el laboratorio de análisis de suelos, es decir la tierra fina. Por ejemplo, un suelo que contiene un 25 % de arena, 25 % de limo y 50 % de arcilla se dice que tiene una textura arcillosa. Los términos texturales se definen de una manera gráfica en un diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones. Hay varios modelos utilizados en los distintos sistemas de clasificación del suelo, pero el más utilizado universalmente en suelos destinado a la agricultura es el reproducido en la figura 2.

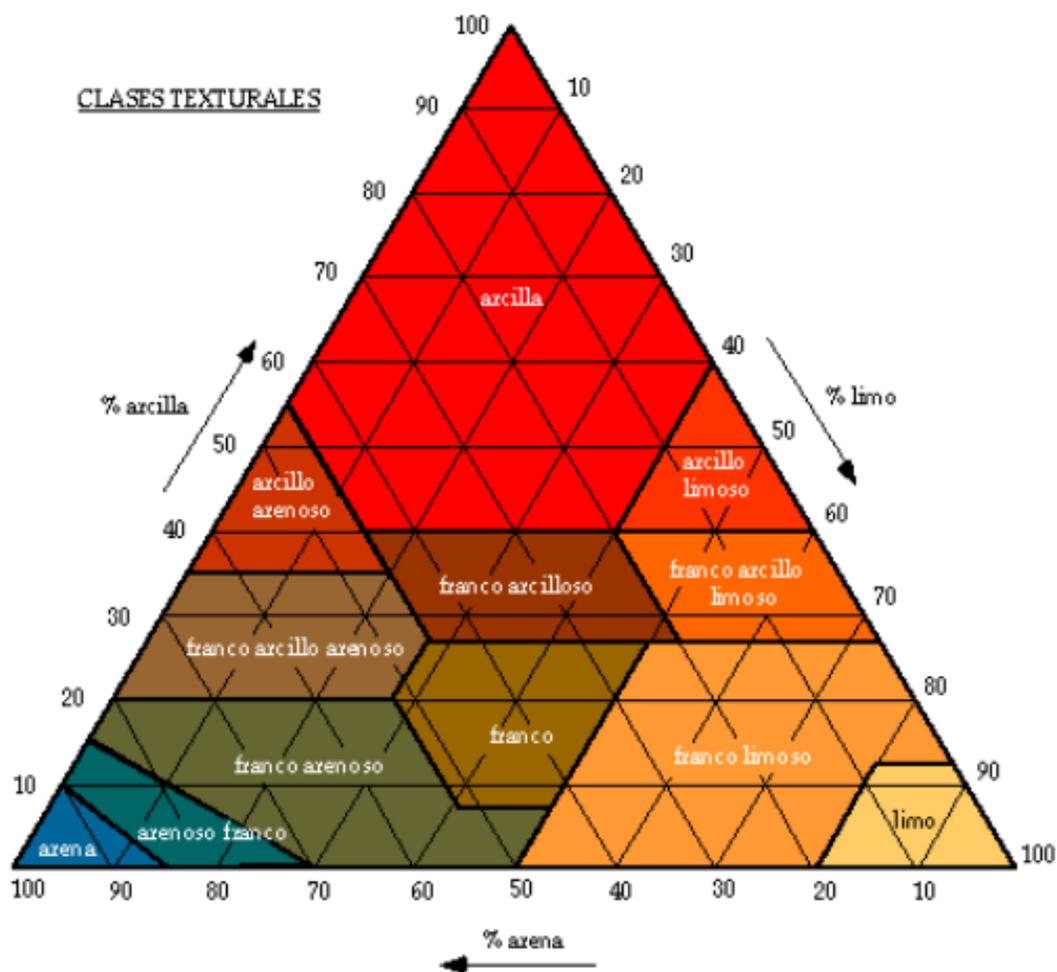


Figura 2. Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo, según el tamaño de las partículas de acuerdo con el USDA (1977).

Fuente: USDA (1977).

8.1.2. *Humedad gravimétrica del suelo*

La humedad gravimétrica, también, es conocida como unidad de masa de suelo, esta es la relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida (Brady y Weil, 1999)

8.1.3. *Humedad volumétrica*

Es el porcentaje de agua que contiene el suelo con relación al volumen de suelo húmedo (Gardner, 1986).

8.1.4. Densidad aparente del suelo

Es la relación que existe entre el peso seco (105°C) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo (Rucks et al., 1968).

Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas (Gardner, 1986).

8.1.5. Densidad real del suelo

Es el promedio ponderado de las densidades de las partículas sólidas del suelo. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2,65 (Blake y Hartge, 1986).

8.1.6. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es un indicador del nivel de compactación de un suelo. La compactación limita el crecimiento radicular y la cantidad de aire y agua de que disponen las raíces (Herrick y Jones, 2002; Lampurlanés y Cantero-Martínez, 2003).

8.1.7. Porosidad del suelo

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 micro poros 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 micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (Figura 3) (Blake y Hartge, 1986).

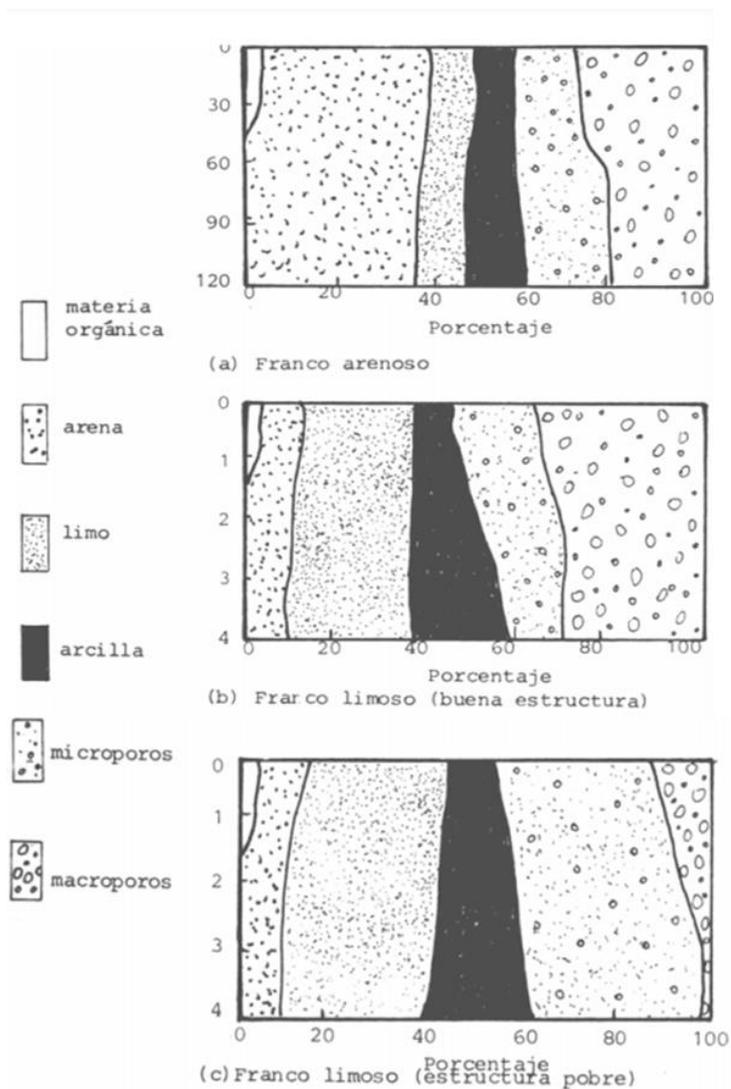


Figura 3. Distribución de materia orgánica, arena, limo arcilla y poros (macroporos y microporos)

Fuente: Brady y Weil, (1999).

8.2. Propiedades químicas de los suelos

La química de suelos se define como aquella parte de la ciencia del suelo que estudia la composición, las propiedades y las reacciones químicas de los suelos. Los esfuerzos mayores de aplicación de ésta parte de la ciencia del suelo han estado dirigidos a tratar de explicar y/o resolver problemas relacionados con la dinámica de los nutrientes vegetales y con la fertilidad del suelo (Rubio, 2002).

8.2.1. pH

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos (<5,5) tienden presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (>8,5) tienden a dispersarse. La actividad de los organismos del suelo es inhibida en suelos muy ácidos y para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5. (FAO, 2022).

8.2.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de transmisión de la corriente eléctrica en el agua.

En agricultura, se suele medir tanto el agua del riego como el suelo. Así, un suelo con alta salinidad nos hará pensar que el agua del riego también lo es, para conocer la calidad del agua empleada en el riego es imprescindible medir la conductividad.

En agricultura, mantener unos correctos valores de conductividad eléctrica en el suelo es fundamental para la consecución de unos niveles de producción óptimos (Brady y Weil, 1999).

8.2.3. Materia orgánica

En la materia orgánica del suelo (MOS) están contenidos tres de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de los cultivos, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S), por lo que su función en el suelo es fundamental para la mantención de la sustentabilidad de un agroecosistema, y muchas de las técnicas agronómicas aplicadas al suelo influyen directamente sobre el contenido y la dinámica de los componentes de esta materia orgánica.

La materia orgánica en suelos agrícolas proviene de un continuo reciclaje de materiales a través del suelo y el cultivo, por la acción de los microorganismos del suelo que usan los materiales orgánicos para obtener energía para vivir y reproducirse (Córdova et al., 2014).

8.3. Calidad de suelos

La calidad del suelo es fundamental para las prácticas agrícolas. Un suelo fértil y sano les provee a las plantas los nutrientes esenciales para crecer y desarrollarse y las características físicas del suelo como su estructura y sus agregados le permiten al agua y al oxígeno llegar a las raíces de las plantas (PSU, 2017).

8.4. Impacto del mal uso sobre la calidad de los suelos

La contaminación del suelo provoca una reacción en cadena. Altera la biodiversidad del suelo, reduciendo la materia orgánica que contiene y su capacidad para actuar como filtro. También se contamina el agua almacenada en el suelo y el agua subterránea, provocando un desequilibrio de sus nutrientes.

Nuevas pérdidas de suelos productivos dañarían gravemente la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, ampliando la volatilidad del precio alimentarios, y sumiendo potencialmente a millones de personas en el hambre y la pobreza (FAO, 2015).

8.5. Cultivo de mora

En Colombia el cultivo de la mora está representado por más de 25 especies de *Rubus* spp., las más cultivadas son *Rubus glaucus* Benth y *Rubus bogotensis* Kunth, que se cultivan principalmente en Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y Valle del Cauca.

La mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) es la principal especie de mora cultivada en Colombia. Existe una gran variabilidad en cuanto a las características físicas y químicas del fruto, que posiblemente se produjo por una selección, a partir de plantas silvestres, practicada desde tiempo atrás (Rincón Bonilla et al., 2015).

La mora uva (*Rubus robustus* C. Presl) es una de las nuevas alternativas para el cultivo debido a que es una especie con un alto potencial productivo, en donde la producción por planta es mayor comparada con otras variedades, lo que se traduce en un mayor beneficio de rentabilidad al agricultor. Este cultivo presenta menor incidencia de plagas, mejor adaptabilidad

a condiciones edafoclimáticas y soporta un mejor manejo en el proceso de cosecha y poscosecha (Rodríguez et al., 2015).

Los suelos en los que mejor crece la mora uva son de textura franca, bien aireados y con buen drenaje porque el cultivo es muy susceptible al encharcamiento y exceso de humedad. El cultivo requiere de altos contenidos de materia orgánica, pH medianamente ácido (5,2 a 6,7 con un óptimo de 5,7). Las proporciones de los nutrientes de la mora pueden variar según el tipo y la cantidad de la fruta, sin embargo, es bastante exigente en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio y micronutrientes como el hierro y el boro (Tabla 1) (Garzon, 2019).

9. Marco legal

9.1. Normatividad sobre el recurso suelo

9.2. Decreto 2811 de 1974

9.2.1. Artículo 178

Los suelos del territorio Nacional deberán usarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos.

Se determinará el uso potencial de los suelos según los factores físicos, ecológicos, y socioeconómicos de la región.

Según dichos factores también se clasificarán los suelos.

9.2.2. Artículo 179

El aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora.

En la utilización de los suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación.

9.2.3. Artículo 180

Es deber de todos los habitantes de la República colaborar con las autoridades en la conservación y en el manejo adecuado de los suelos.

Las personas que realicen actividades agrícolas, pecuarias, forestales o de infraestructura, que afecten o puedan afectar los suelos, están obligados a llevar a cabo las prácticas de conservación y recuperación que se determinen de acuerdo con las características regionales (Decreto 2811 de 1974, 1974).

Mediante la resolución 170 de 2009 por la cual se declara en Colombia el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio como Día Nacional de los Suelos y se adoptan medidas para la conservación y protección de los suelos en el territorio nacional en ejercicio de sus facultades

legales, en desarrollo de lo dispuesto en los artículos 2 y 5, numerales 1 y 2 de la Ley 99 de 1993, la Ley 461 de 1998 y los artículos 1, 2 y 6 del Decreto ley 216 de 2003, y considerando que conforme a los artículos 79 y 80 de la Constitución Política, corresponde al Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de esos fines, Igualmente, tiene a su cargo planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental (Minambiente, 2009).

Política para la Gestión Sostenible del Suelo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016).

Decreto 2811 de 1974 parte VII Del suelo agrícola y de los usos no agrícolas de la tierra.

Ley 388 de 1997, Artículo 33 Ordenamiento territorial, que reglamenta los usos del suelo

10. Metodología

10.1. Tipo de investigación

La presente investigación se enmarcó como tipo investigación experimental descriptiva de campo y laboratorio, debido a que se pretendió obtener resultados a partir de la toma de muestras de suelo en campo para analizarlos estadísticamente y así determinar que limitantes presentaron estos suelos.

10.2. Diseño metodológico y/o experimental y toma de muestras de suelos

El estudio se desarrolló en la vereda Cúnuba del municipio Pamplona, en donde se seleccionaron cinco fincas (Pararrayo, Loma Redonda, Estrella, Arturo, Arrayan) (Figura 4). Dentro de cada finca se delimitó un área de muestreo de 1000 m² (50 m x 20 m). Es importante resaltar que el cultivo de mora en la vereda de estudio se desarrolla en pequeñas fincas de 2 a 5 hectáreas, por lo tanto, se delimitó un área dentro de cada plantación, con el fin poder tener el dato de cada finca (Tabla 1), para poder hacer una mejor comparación de los resultados. Dentro de cada parcela se tomaron cinco muestras por cada profundidad de 0-20 cm y 20-40 cm, para un total de diez muestras simples. Se realizó un muestreo sistemático dirigido y los análisis de físicos y químicos de los suelos se realizó en el Laboratorio de Suelos Agrícolas y el laboratorio de Control de calidad, ubicado en el campus de la Universidad de Pamplona

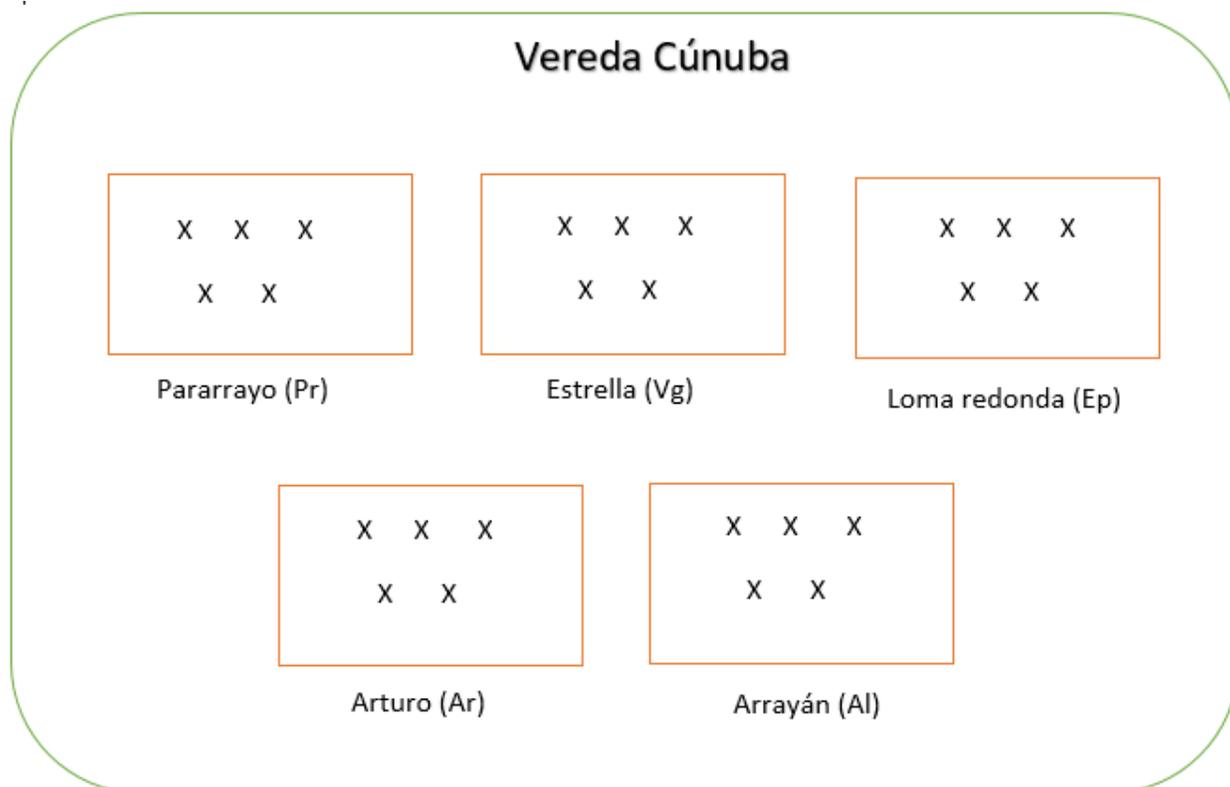


Figura 4. Diseño de muestreo de los suelos en cada una de las fincas de la vereda de estudio

Fuente: Las autoras

Tabla 1. Información de ubicación de las fincas evaluadas

Nombre del predio	Responsable del predio	Coordenadas		Altitud (msnm)	Pendiente (%)	Área (ha)	Cultivo principal	Cultivo secundario
		Norte	Este					
Pararrayo	Evaristo	7° 23' 13,0"	72° 41' 08,9"	2808	18	3	Mora uva	Uchuva
La estrella	Virgilio	7° 23' 15,28 "	72° 40' 56,35"	2690	16	4	Mora uva	Ninguno
Loma redonda	Epifania	7° 23' 29,52"	72° 41' 4,76"	2755	5	2	Mora uva	Maíz
Arturo	Arturo	7° 23' 182"	72° 41' 163"	2780	10	2	Mora uva	Ninguno
Arrayan	Alfredo	7° 23' 473"	72° 41' 196"	2782	3	5	Mora uva	Curuba

Fuente: Las autoras

10.3. Características físicas de los suelos

10.3.1. Textura

La textura del suelo se determinó siguiendo el método del hidrómetro de Gee y Bauder, (1986). De acuerdo con las especificaciones dadas para este método, las partículas de suelos menores a 2 mm son divididas en tres principales grupos, a saber: arenas, limos y arcillas según el sistema de clasificación usado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y la Sociedad Americana de Agronomía. En tal sentido, el interés de este trabajo se centró en determinar las fracciones antes mencionadas puesto que son las de importancia agrícola. El procedimiento para la determinación de la textura consistió en tamizar el suelo seco a 2mm, seguidamente se pesó 50 gramos (g) de suelo seco y tamizado a los que se les adicionó 20 mL de una solución dispersante de hexametáfosfato de sodio y seguidamente se le agregó 30 mL de agua destilada, se agitó en una licuadora durante dos (2) minutos y luego se transfirió a una probeta de un (1) litro, se le adicionó agua destilada hasta completar el volumen, luego se procedió a medir la temperatura durante 40 segundos, después se agitó con una varilla de metal durante un (1) minuto para homogenizar la mezcla lo más posible, realizada ya la agitación se introdujo el hidrómetro realizando la primera medida a los cuarenta (40) segundos. Con este valor se determinó la cantidad de arena que contiene la muestra de suelo. Esta misma operación se repitió exactamente a las dos horas con el fin de determinar el porcentaje de arcilla. Por diferencia entre ambas medidas se obtuvo el porcentaje de limo.

10.3.2. Humedad gravimétrica (W):

La humedad gravimétrica (W) se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Gardner (1986). Sobre las mismas muestras de suelo tomadas para la determinación de la densidad aparente se determinó el porcentaje de humedad del suelo, por medio de la siguiente fórmula:

$$W = \frac{(\text{Peso de suelo humedo} - \text{Peso de suelo seco})}{\text{Peso de suelo seco}} * 100$$

10.3.3. *Humedad volumétrica (θ)*

La humedad volumétrica se determinó en campo con el medidor de humedad portátil de campo. Se tomó la humedad en cuatro puntos distintos a la profundidad de 0-20 cm y cuatro puntos a la profundidad de 20-40 cm. Posteriormente se sacó el promedio de los datos de humedad volumétrica por cada profundidad medida.

10.3.4. *Densidad aparente:*

La densidad aparente se determinó siguiendo la metodología propuesta por Blake y Hartge, (1986). Se tomaron muestras de suelos en la primera profundidad de 0-20 cm y de 20-40 cm de profundidad con el uso de los cilindros de Kopecky con una altura de 10 cm, los cuales se introdujeron en el suelo con la ayuda de un martillo de goma. Una vez tomadas las muestras sin perturbar, se taparon con papel aluminio y se trasladaron al laboratorio, donde se pesaron y se secaron en una estufa a 105°C por 24 horas, se dejaron enfriar y se volvieron a pesar. La densidad aparente se calculó de la siguiente manera:

1. Se sacó volumen del cilindro por medio de la siguiente formula

$$\text{Volumen cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

2. Una vez obtenido el volumen del cilindro se calculó la densidad aparente mediante la siguiente formula:

$$Da = \frac{\text{Peso suelo seco } 105^{\circ} C}{\text{Volumen del cilindro}}$$

10.3.5. *Densidad real*

Para la determinación de la densidad real se utilizó mediante el método del picnómetro de Blake y Hartge (1986), para lo cual se utilizó 1 gramo de muestras de suelo seco y tamizado por la malla de diámetro de hueco menor de 2 mm.

10.3.6. Porosidad total (%)

La determinación del porcentaje de porosidad total se realizó mediante la división de los datos de la densidad aparente sobre la densidad real multiplicada por cien.

10.3.7. Resistencia mecánica a la penetración

Este método se realizó con un penetrometro de bolsillo, el cual consistió en la toma de 4 datos 0-20 cm y 4 datos de 20-40 cm, tomados cada uno en 5 puntos por finca. Esto con el fin de poder determinar la resistencia a la penetración con la que cuenta cada finca (Loma redonda, Arrayan, Arturo, Pararrayo, Estrella) de la vereda en estudio.

10.4. Propiedades químicas de suelos

10.4.1. pH

Se determinó usando el un medidor de pH de mesa. Este método consistió en preparar una solución acuosa con 10 g de suelo y 20 mL de agua destilada (relación 1:2 de suelo y agua), esta solución se agitó en un agitador durante 30 minutos, se dejó en reposo y se midió el pH en el sobrenadante (Mclean, 1982).

10.4.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se determinó en los mismos extractos de agua: suelo, obtenidos para la determinación del pH (Mclean, 1982).

10.4.3. Carbono orgánico total

La determinación del carbono orgánico total se realizó por el método de pérdidas de peso por ignición o calcinación. El método de calcinación o pérdida de peso por ignición (PMOI), cuantifica el contenido de MO a partir de diferencias gravimétricas, esto luego de ser sometida la muestra en la mufla a una temperatura de 105 °C durante una hora, nuevamente fue sometida a la mufla a una temperatura de 450 °C durante 6 horas. El cálculo del porcentaje de materia orgánica se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\%PMOI = \frac{(Peso \ a \ 105 \ ^\circ C) - (Peso \ a \ 450 \ ^\circ C)}{(Peso \ a \ 105 \ ^\circ C)} * 100$$

10.5. Identificación de las características físicas y químicas de los suelos más limitantes para la producción de mora

Con el fin de identificar cuáles de las propiedades físicas y químicas de los suelos evaluadas pudieron resultar limitantes para el adecuado desarrollo de las plantas de mora, una vez obtenido los resultados de los análisis de suelos, se procedió a comparar los valores con los datos de referencia reportados en la literatura como parámetros normales y según los requerimientos del cultivo. Aquellos parámetros que estén por encima o por debajo de los valores de referencia se consideraron limitantes para el adecuado desarrollo del cultivo. Es importante aclarar que estos resultados están limitados a las variables físicas y químicas evaluadas en este estudio y no abarcaron todas las necesidades nutricionales y físicas que pueda tener el cultivo.

10.6. Análisis estadísticos

A los datos obtenidos de las propiedades físicas y químicas evaluadas se les realizó un análisis estadístico descriptivo con el fin de estudiar el comportamiento de éstos y hacer una síntesis de la información para arrojar precisión, sencillez y aclarar y ordenar los datos. Se calculó el promedio, Para el análisis descriptivo de los datos se usó el programa Excel.

11. Resultados y discusión

11.1. Propiedades físicas de los suelos

11.1.1. Textura

11.1.1.1. Textura de 0-20 cm de profundidad:

Los suelos de 0-20 cm presentaron porcentajes de arena por encima de 60 % en todas las fincas mientras que los de limo y arcilla fueron menores de 20 % (Figura 5).

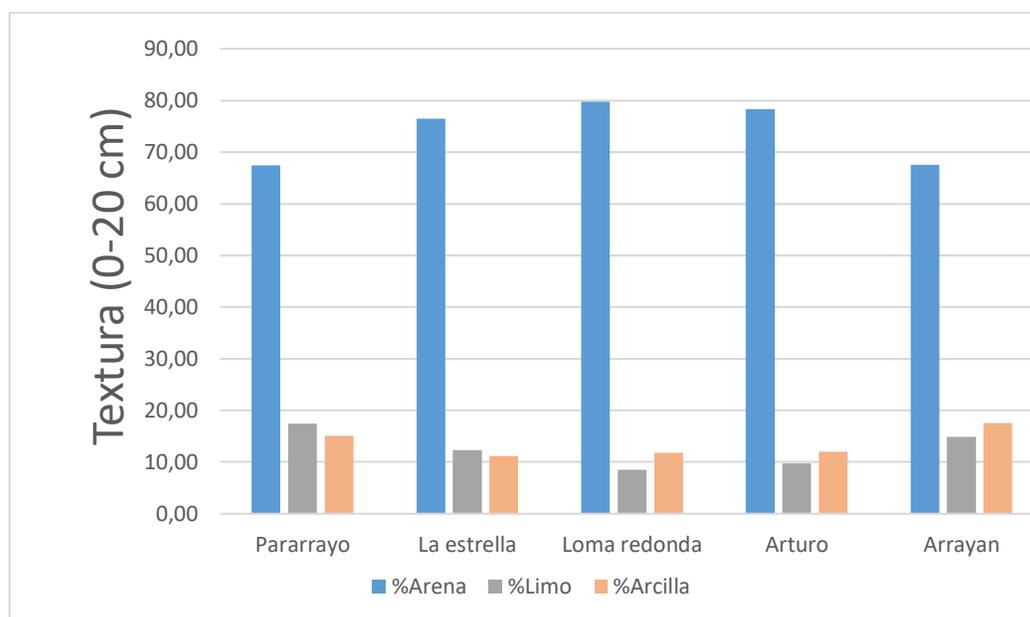


Figura 5. Textura promedio de 0-20 cm de profundidad

Fuente: Las autoras.

En la presente grafica se puede observar que la finca Loma redonda presentó mayor porcentaje de arena, en comparación con las demás fincas, así mismo se puede notar que Loma redonda tiene el menor porcentaje de limo, los que nos indica que en esta finca el suelo no se encuentra compactado.

11.1.1.2. Textura de 20-40 cm de profundidad

El porcentaje de arena, limo y arcilla a la profundidad de 20-40 cm presentó valores similares a los observados en la gráfica anterior de 0-20 cm (Figura 6).

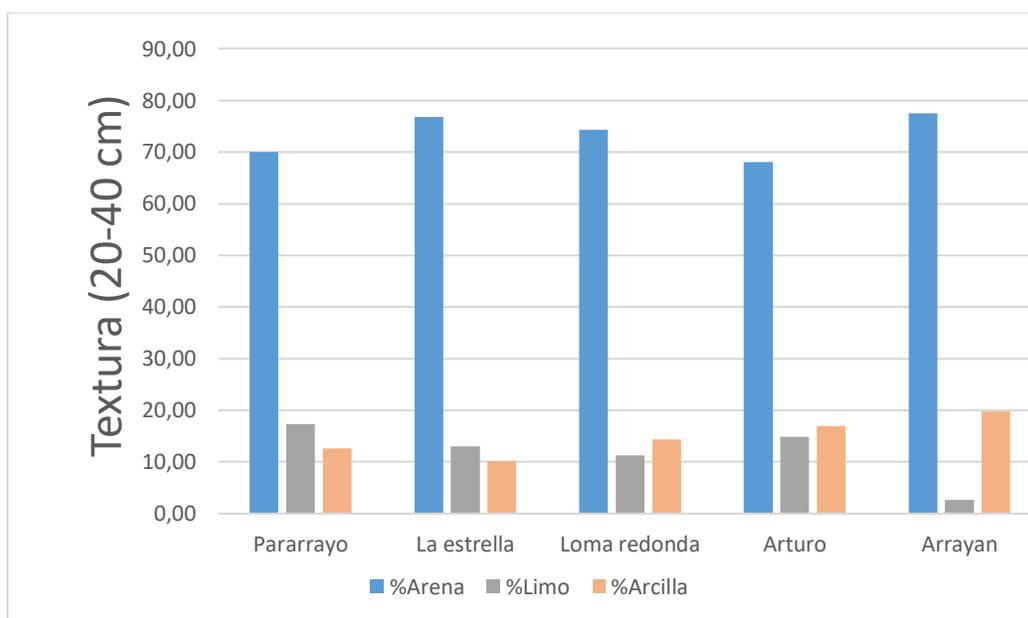


Figura 6. Comparación promedio de los porcentajes de arena, limo y arcilla entre fincas a la profundidad de 20-40 cm

Fuente: Las autoras.

Estos valores de arena encontrados en los suelos pueden ser un factor limitante para la retención de agua y nutrientes, debido a que las arenas son partículas de gran tamaño que no poseen cargas en su superficie por lo tanto no tienen la capacidad de retener agua y nutrientes. De igual forma, en los suelos arenosos predominan los macroporos los cuales son los responsables de la aireación del suelo. Por lo tanto, es probable que en estos suelos las raíces de las plantas no tengan limitantes para su desarrollo, pero si se vean sensiblemente afectadas por la baja disponibilidad de agua en los meses de menor precipitación (IGAG, 2016).

11.1.1.3. Textura promedio de 0-40 cm de profundidad (dato general)

De acuerdo con el análisis descriptivo de los datos, se encontró que los suelos de las cinco fincas estudiadas de 0-40 cm de profundidad presentaron altos valores de arena (> 60 %) mientras que los porcentajes de arcilla estuvieron por debajo de 20 % (Figura 7).

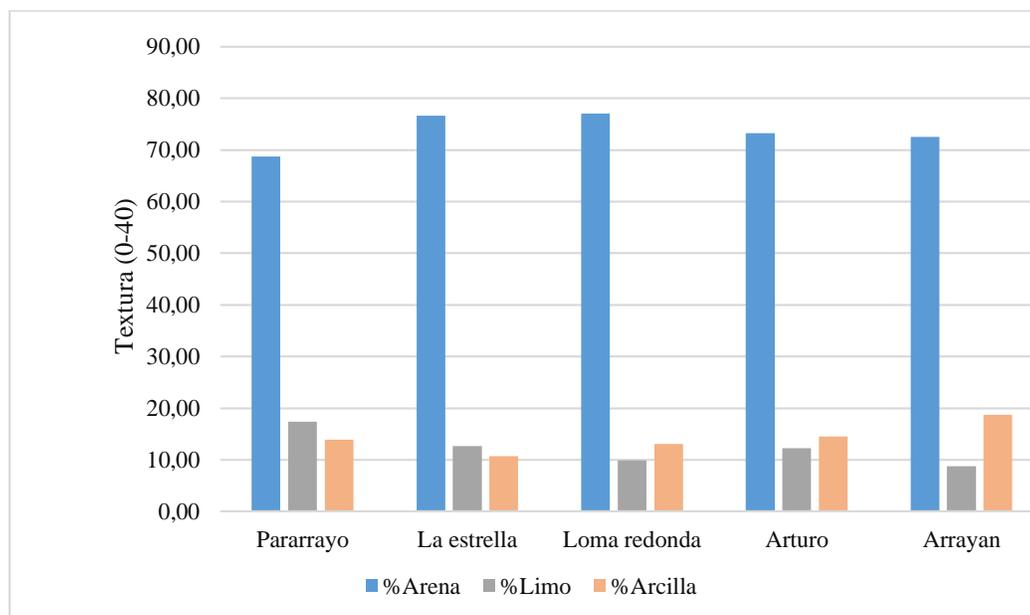


Figura 7. Comparación promedio de los porcentajes de arena, limo y arcilla entre fincas a la profundidad de 0-40 cm

Fuente: Las autoras.

La clase textural de los suelos encontrados en todas las fincas analizadas en ambas profundidades fue franco-arenosa (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje obtenido de Arcilla, Arena, Limo y clase de Textura de cada Finca

Finca	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase de textura
Pararrayo	68,77	17,37	13,86	Franco arenoso
La estrella	76,63	12,69	10,68	Franco arenoso
Loma redonda	77,05	9,88	13,07	Franco arenoso
Arturo	73,20	12,30	14,49	Franco arenoso
Arrayan	72,53	8,79	18,68	Franco arenoso

Fuente: Las autoras.

Los suelos franco arenoso no presentan problemas de exceso de humedad y son bien aireados. En este sentido el cultivo de uva mora al ser sensible a los excesos de humedad no presentaría ninguna limitante en este sentido. Sin embargo, un exceso de arena pudiera limitar una buena agregación de los suelos.

11.1.2. Humedad y porosidad del suelo

11.1.2.1. Humedad y porosidad de 0-20 cm de profundidad

El porcentaje de humedad volumétrica de 0-20 cm de profundidad estuvo entre 30 y 40 % mientras que la humedad gravimétrica presentó porcentajes entre 40 y 50 %, cabe mencionar que al ser temporada de lluvia estos valores se vieron afectados, presentando datos más elevados respecto al tipo de suelo. La porosidad en las diferentes fincas se ubicó entre 30 y 50 % siendo la finca La Estrella la que presentó los valores más bajos (Figura 8).

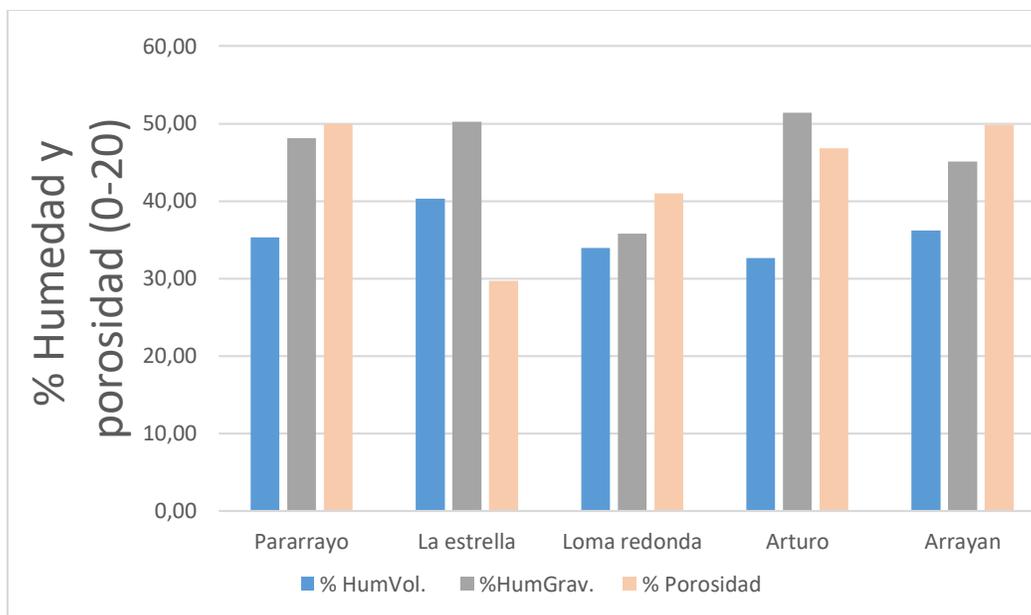


Figura 8. Promedio de los porcentajes de humedad volumétrica y gravimétrica y porosidad entre fincas de 0-20 cm de profundidad

Fuente: Las autoras.

11.1.2.2. Humedad y porosidad de 20-40 cm de profundidad

A la profundidad de 20-40 cm se encontró menos humedad, la cual se evidencia por valores de humedad volumétrica por debajo de 30 % mientras que la humedad gravimétrica estuvo entre 29,32 % en la finca Loma Redonda hasta 49,88 % en la finca Arturo. El porcentaje de porosidad fluctuó entre el valor más bajo de 38,47 % para la finca Loma redonda y 59,33 % para la finca Arturo (Figura 9).

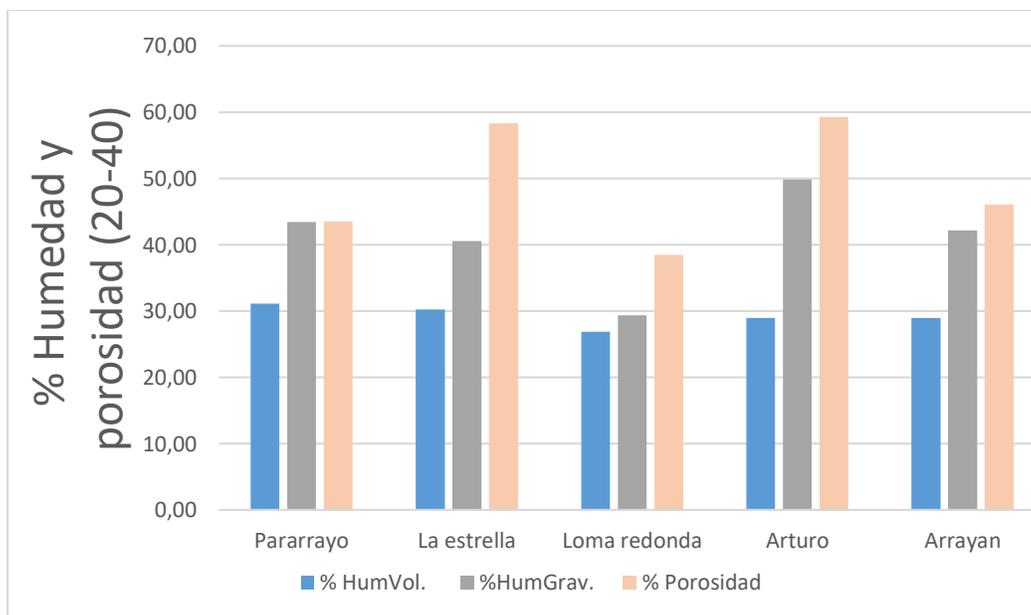


Figura 9. Promedio de los porcentajes de humedad volumétrica y gravimétrica y porosidad entre fincas de 20-40 cm de profundidad

Fuente: Las autoras.

Para suelos con textura franco arenosas como las encontradas en estos suelos se esperaría que los porcentajes de porosidad fluctúen entre los 40 a 47 %, por lo tanto, se puede decir, que en la mayoría de las fincas no se evidencias problemas de porosidad y que esta se encuentra en niveles que se consideran satisfactorios para el desarrollo de las raíces de las plantas (Porta y López, 2005).

11.1.2.3. Humedad y porosidad de 0-40 cm de profundidad (dato general)

Los valores de humedad volumétrica tomados en campo fueron un poco superiores a los valores de humedad gravimétrica determinados en el laboratorio. El porcentaje de humedad volumétrica estuvo entre 30 y 40 % mientras que el porcentaje de humedad gravimétrica estuvo entre 40 y 50 %. El porcentaje de porosidad por su parte se ubicó entre 40 y 50 % en la mayoría de las fincas (Figura 10).

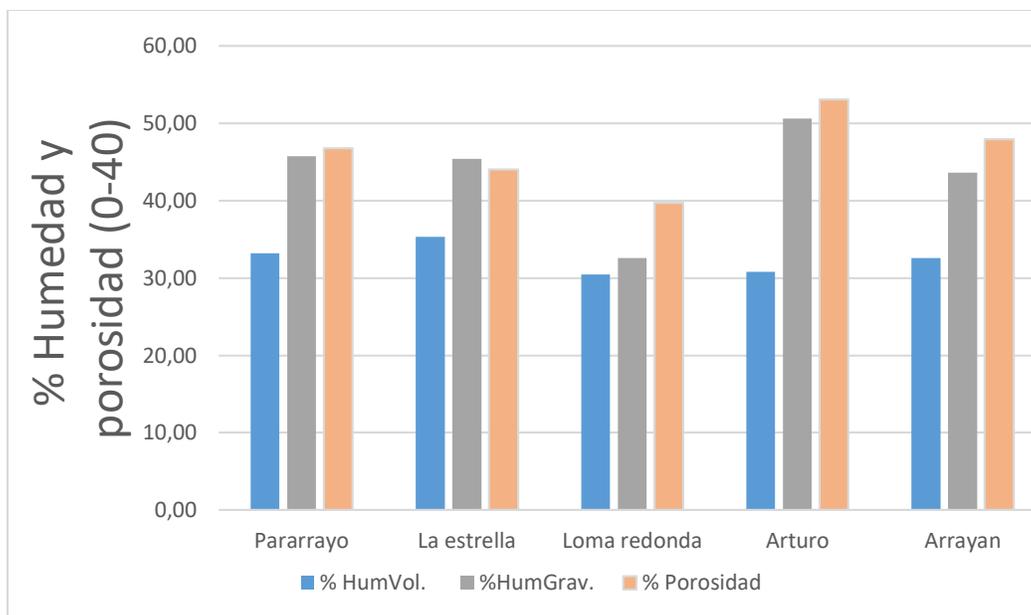


Figura 10. Porcentajes promedio de humedad volumétrica y gravimétrica y porosidad entre fincas de 0-40 cm de profundidad

Fuente: Las autoras.

11.1.3. *Densidad aparente y densidad real*

11.1.3.1. **Densidad real y aparente de 0-20 cm de profundidad**

La densidad aparente de 0-20 cm de profundidad fue relativamente similar en las diferentes fincas. Los valores promedio oscilaron entre $0,97 \text{ g/cm}^3$ y $1,18 \text{ g/cm}^3$. La densidad real por su parte estuvo entre $1,52$ y $2,37 \text{ g/cm}^3$ (Figura 11)

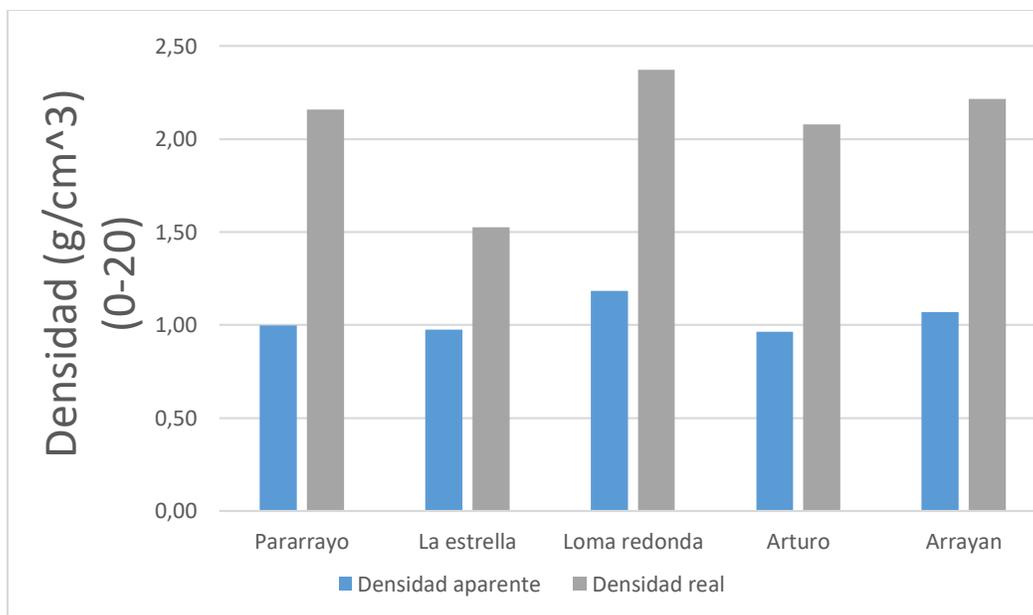


Figura 11. Densidad aparente y densidad real en las diferentes fincas de 0-20 cm de profundidad

Fuente: Las autoras.

Al analizar la densidad aparente de 0-20 cm de profundidad se puede apreciar valores ligeramente más bajos con respecto a la profundidad de 20-40 cm. Sin embargo, estos datos no representan un riesgo de compactación de los suelos en las diferentes fincas. Solamente la finca Loma redonda presentó un valor de $1,29 \text{ g/cm}^3$, pero este valor resulta bajo cuando se compara con los valores de referencia que se espera encontrar en suelos arenosos con un valor menor a $<1,4$ esto con el fin de poder permitir el crecimiento de las raíces, ya que si es $>1,8$ este suele tener problemas para el crecimiento de las raíces y retención de agua (debido a su compactación) (Figura 12).

11.1.3.2. Densidad real y aparente de 20-40 cm de profundidad

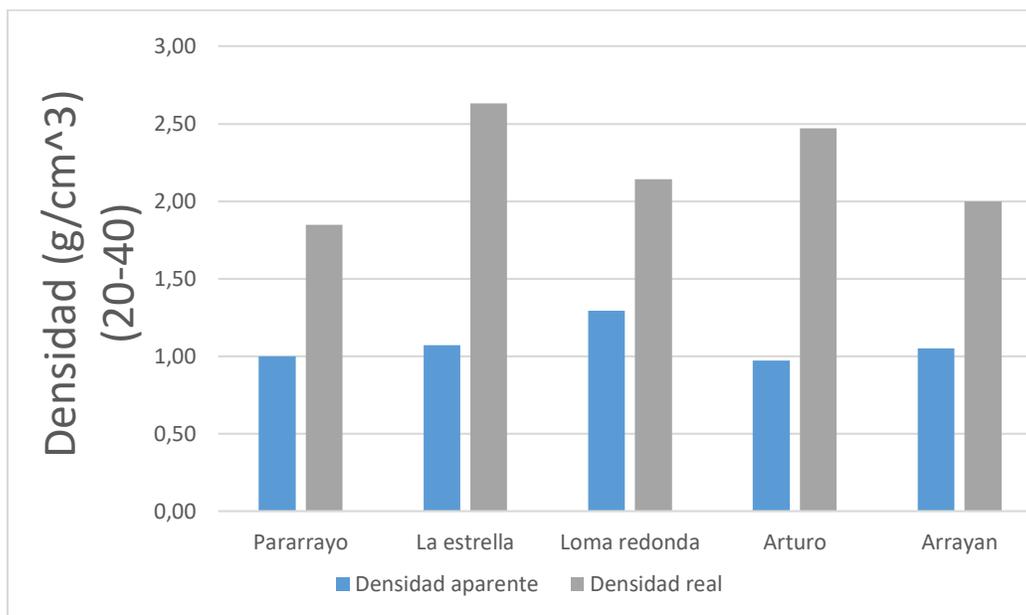


Figura 12. Densidad aparente y densidad real en las diferentes fincas de 20-40 cm de profundidad

Fuente: Las autoras.

De acuerdo con el análisis comparativo de los valores observados de densidad aparente, los suelos no presentan problemas de compactación, ya que para suelos de textura arenosa se espera encontrar valores alrededor de 1,55 a 1,80 g/cm³ (Casanova, 1999).

Los valores de densidad real encontrados en los suelos estudiados se consideran normales para este tipo de suelos con minerales aluminosilicatados cuyo valor promedio se encuentra alrededor de 2,65 g/cm³ (Porta et al. 2000).

11.1.3.3. Densidad real y aparente de 0-40 cm de profundidad (dato general)

La densidad aparente promedio a la profundidad de 0-40 cm en los suelos de las diferentes fincas presentó valores que oscilaron entre 0,97 g/cm³ en la finca Arturo y 1,24 g/cm³ para la finca Loma Redonda. La densidad real promedio por su parte estuvo entre 2,0 y 2,28 g/cm³ (Figura 13).

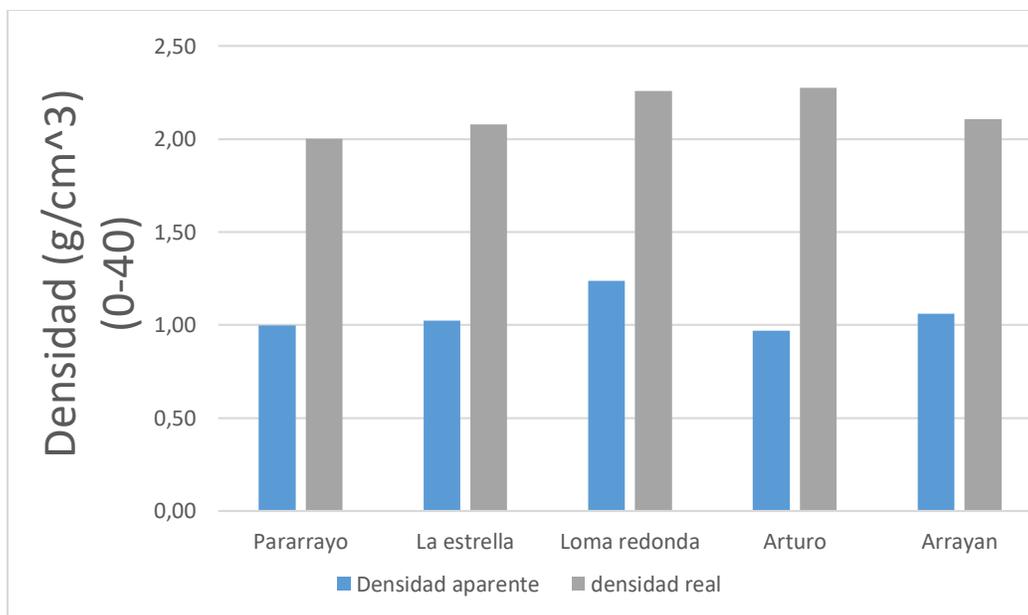


Figura 13. Densidad aparente y densidad real en las diferentes fincas de 0-40 cm de profundidad.

Fuente: Las autoras.

11.1.4. Resistencia mecánica a la penetración

La resistencia mecánica a la penetración a la profundidad de 0-20 cm varió de 1,0 kg/cm² en la finca Pararrayo a 2,15 kg/cm², en la finca Loma redonda a una la profundidad de 20-40 se observaron valores mayores con respecto a la profundidad de 0-20. La finca con el valor más bajo fue Pararrayo con 1,58 kg/cm² y la finca Loma redonda presentó el valor más alto (2,50 kg/cm²) (Figura 14).

11.1.4.1. Resistencia mecánica a la penetración 0-20, 20-40 y 0-40 (dato general) cm de profundidad

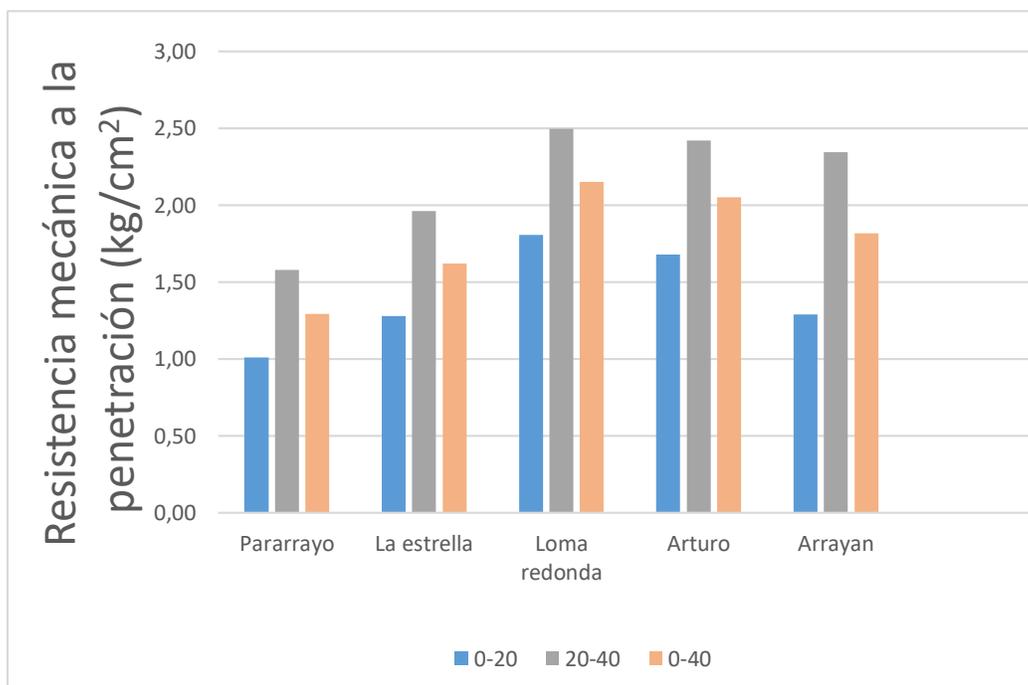


Figura 14. Resistencia mecánica a la penetración en las diferentes fincas y a las diferentes profundidades.

Fuente: Las autoras.

La resistencia a la penetración ofrece información acerca de capas impedantes para las raíces y es usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo. También puede ser empleada para determinar zonas de compactación u horizontes densos. El estudio de esta propiedad física tiene un papel preponderante en la caracterización de su productividad. En particular, la compactación afecta negativamente tanto en forma directa como indirecta diversas características del suelo como la estructura, la dinámica del agua y el aire, así como procesos de oxidación reducción y poblaciones de organismos, entre otros. Valores por encima de 2 Megapascal (Mpa) pueden resultar limitantes para el desarrollo de las raíces, así como la infiltración de agua y aireación (Zerpa et al., 2013). Al transformar los valores promedios de resistencia mecánica a la penetración a Mpa, se encontró que los suelos no presentan riesgo a la compactación y se evidencia también por los bajos valores de densidad aparente. No obstante,

hay que tener especial cuidado en el manejo de los suelos de las fincas Loma redonda, Arturo y Arrayán, ya que se observaron valores más altos a la profundidad de 20-40 cm aunque no alcanza los límites máximos.

11.2. Propiedades químicas de los suelos

11.2.1. pH

El pH de los suelos en todas las fincas a las diferentes profundidades se ubicó en el intervalo de 5 y 6, indicando que se trata de suelos moderadamente ácidos (Figura 15).

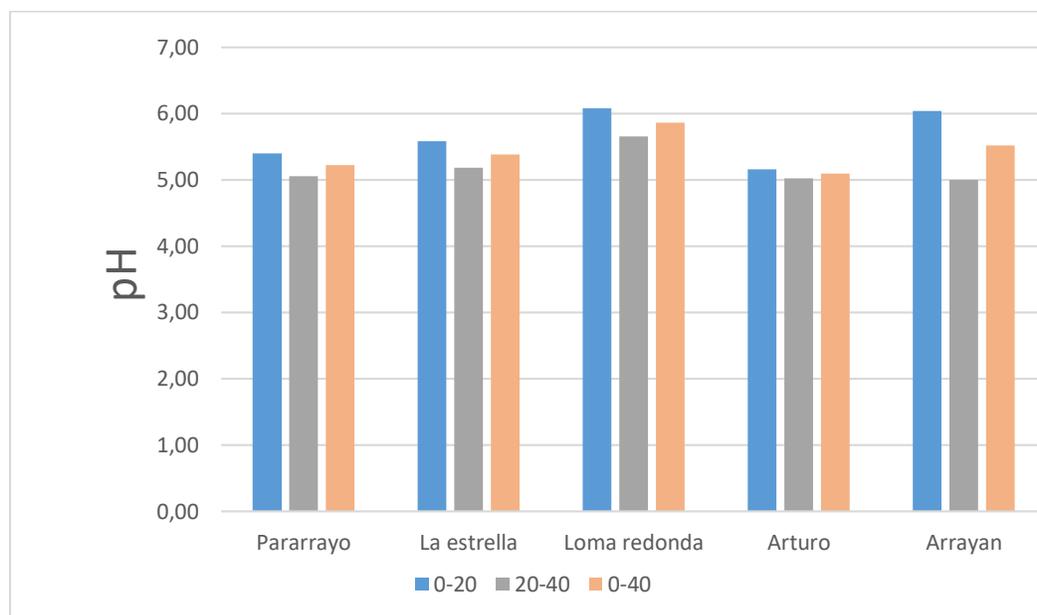


Figura 15. Promedio de pH de los suelos en las diferentes fincas a las diferentes profundidades de 0-20, 20-40 y de 0-40 (dato general) cm

Fuente: Las autoras.

El pH se considera una propiedad química del suelo, que determina muchas de las características físicas (por ejemplo, floculación o defloculación), química (adsorción o desorción), y biológica (mineralización o inmovilización). El pH es determinante en regular la disponibilidad de nutrientes, los cambios que sufren estos con la aplicación de fertilizantes y la actividad de elementos potencialmente tóxicos como el sodio y el aluminio.

11.2.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de los suelos en todas las fincas a las diferentes profundidades se ubicó en el intervalo de 41,66 a 98,78 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) indicando que las fincas presentan una conductividad eléctrica baja, indicando que presentan un suelo no salino (Figura 16).

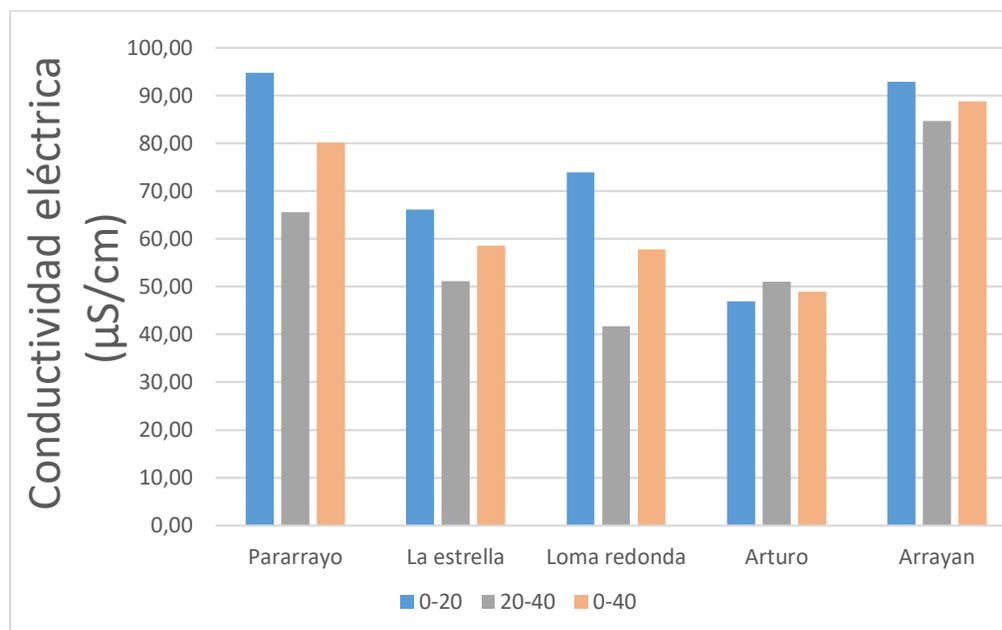


Figura 16. Promedio de conductividad eléctrica de los suelos en las diferentes fincas a las diferentes profundidades de 0-20, 20-40 y 0-40 (dato general) cm

Fuente: Las autoras.

El valor de la conductividad eléctrica en el suelo influye en gran medida en el esfuerzo que tiene que realizar la raíz de la planta para absorber los nutrientes de los fertilizantes aplicados, cabe mencionar que la elección correcta del fertilizante a aplicar, ayudará a disminuir los riesgos de salinidad y podrá prevenir o reducir las pérdidas de rendimiento a los que pueden estar expuestos los cultivos (Osorio, 2012).

11.2.3. *Materia orgánica de los suelos*

11.2.3.1. **Materia orgánica de 0-20 cm de profundidad**

Según los datos tomados de materia orgánica promediada de 0-20 cm, se observa que en la finca arrayan presento datos inferiores a 10%. (Figura 17)

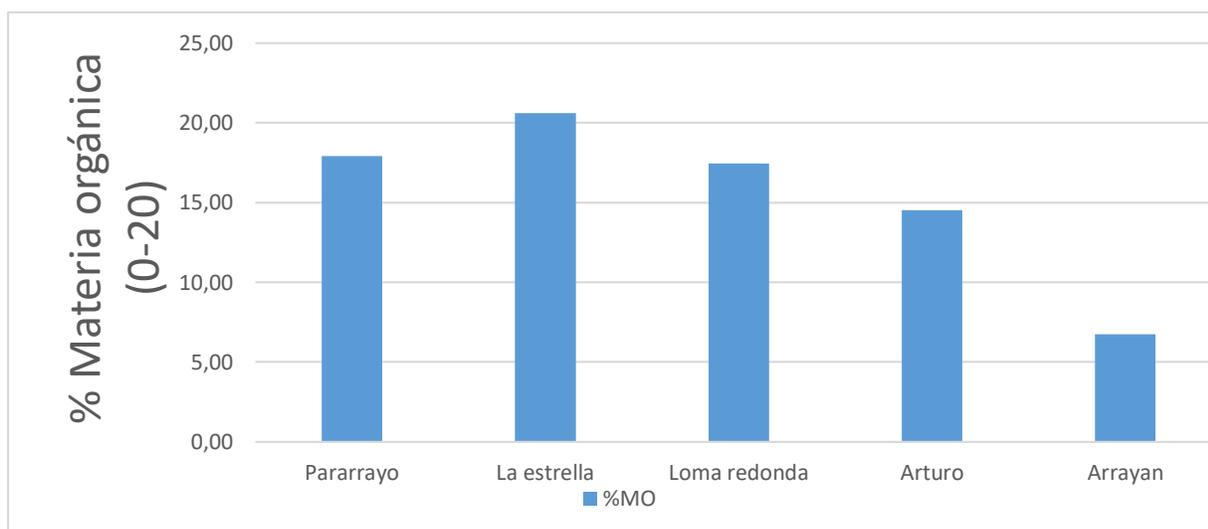


Figura 17. Porcentaje de materia orgánica de los suelos en las diferentes fincas a la profundidad de 0-20 cm.

Fuente: Las autoras.

Los suelos de las fincas Arturo y Arrayán presentaron los valores más bajos de materia orgánica (<15 %), mientras que la finca La estrella se destaca por tener mayor porcentaje de materia orgánica, debido a que el propietario de la finca manifestaba que fertilizaba cada tres meses con NPK y triple 15 300 g/plantas.

11.2.3.2. Materia orgánica de 20-40 cm de profundidad

En la figura 18 se aprecia que en la finca la estrella tiene un porcentaje mayor de 20% de materia orgánica para una profundidad de 20-40 cm

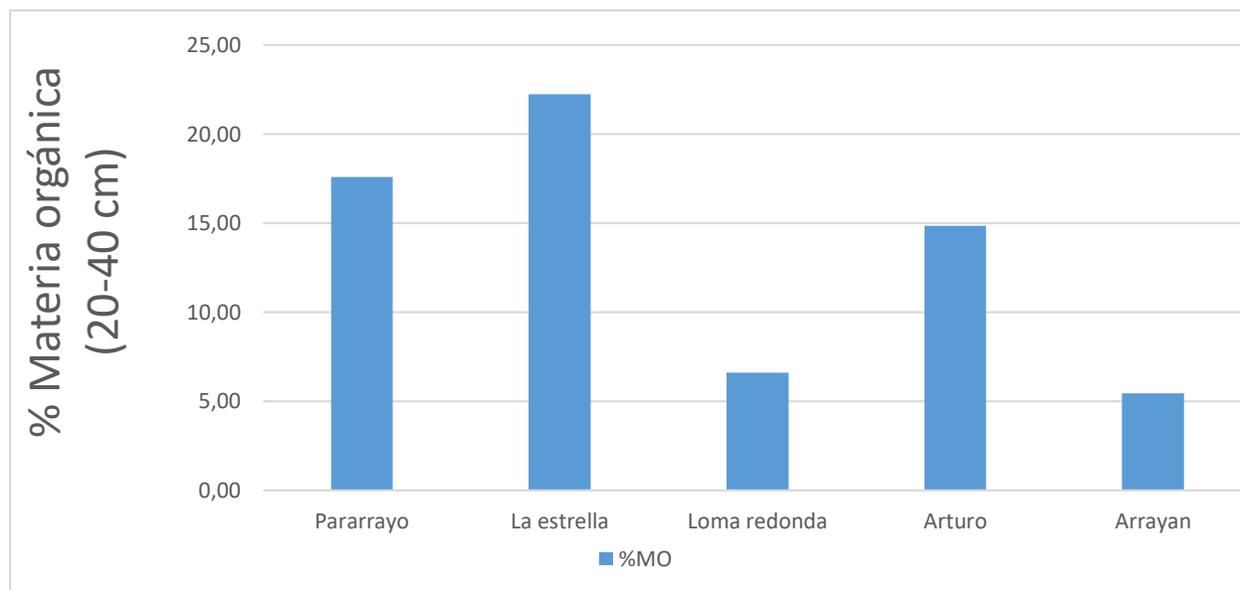


Figura 18. Porcentaje de materia orgánica de los suelos en las diferentes fincas a la profundidad de 20-40 cm.

Fuente: Las autoras.

La materia orgánica juega un papel muy importante y múltiple en la dinámica y características del suelo: constituye el medio de cultivo para los microorganismos, que a su vez proporcionan los nutrientes esenciales; contribuyendo a la génesis y estabilidad de la estructura del suelo; aumenta la vida del suelo y la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades. Estos beneficios pueden verse limitados en los suelos de las fincas Loma redonda y Arrayán especialmente por sus bajos porcentajes de materia orgánica. Los bajos valores de materia orgánica en estos suelos pueden estar influenciados por múltiples factores, entre ellos, un manejo de escasa cobertura y poco aporte de materia orgánica al suelo. Otra de las explicaciones tiene que ver con la textura predominantemente franco-arenosa de los suelos. Los suelos arenosos no tienen posibilidades de proteger y retener la materia orgánica mientras que los suelos arcillosos si (Hassink, 1997).

11.2.3.3. Materia orgánica de 0-40 (dato general) cm de profundidad

En la figura 19 se aprecian los valores promedios de materia orgánica en los suelos de las diferentes fincas a la profundidad de 0-40 cm. La finca que presentó el valor más bajo fue Arrayán con 6,10 % mientras que la finca La Estrella presentó el valor más alto (21,41 %).

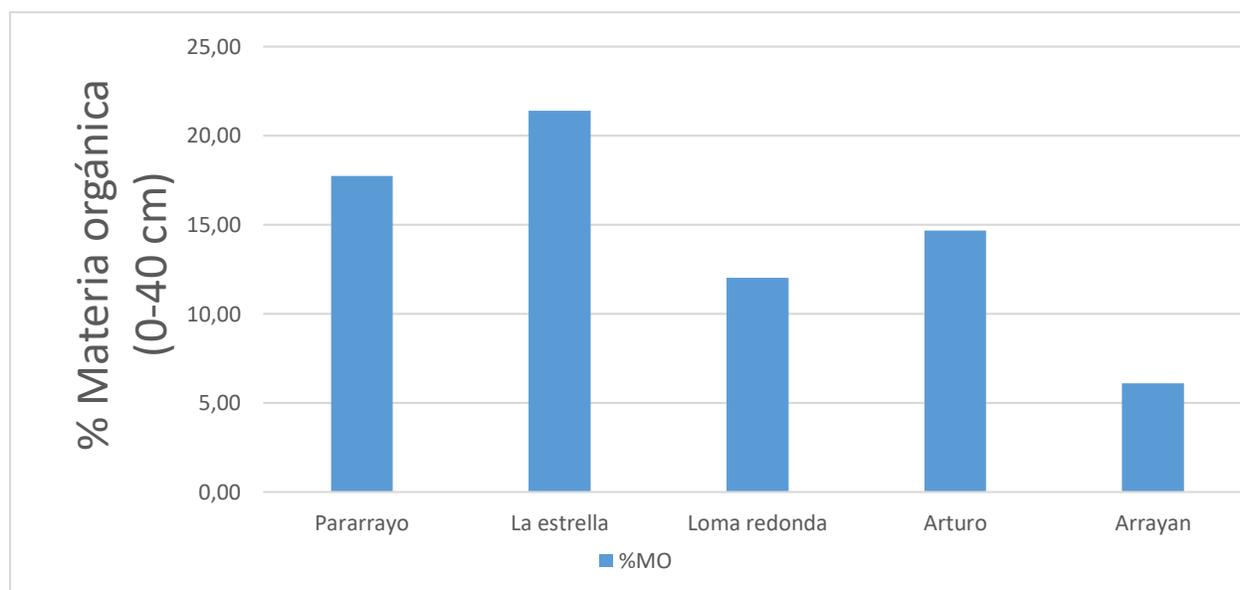


Figura 19. Porcentaje de materia orgánica de los suelos en las diferentes fincas a las diferentes profundidades

Fuente: Las autoras.

12. Factores de suelos limitantes para la producción del cultivo de uva mora

Las características químicas del suelo tales como: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, entre otras, deben ser conocidas por el productor hortícola, debido a que el crecimiento y desarrollo de los cultivos y la cantidad y calidad de las cosechas, están en relación directa con los nutrientes de los suelos. Determinando dichas características se conocerían las cantidades disponibles de macro y micronutrientes para la planta, además de todos los aportes y mejoras que podrían aportar estas para las características y la actividad biológica del suelo.

De acuerdo con los resultados obtenidos y su comparación con los valores de referencia, los suelos de todas las fincas tienen una seria limitación en cuanto al alto porcentaje de arena encontrado. Esto puede afectar sensiblemente la retención de agua y disponibilidad de nutrientes para las plantas, aunque desde el punto de vista de aireación no tienen ningún tipo de problema.

Los valores de densidad aparente no reflejan ningún riesgo de compactación de los suelos en las diferentes fincas. Solamente la finca Loma redonda presentó un valor más alto pero no sobrepasa los límites considerados normales. La resistencia mecánica a la penetración debe ser tomada en cuenta con cuidado porque existe un riesgo de compactación en los suelos de algunas fincas (Loma redonda, Arturo y Arrayán) aunque los valores permanecen dentro de los límites normales.

Otro de los factores limitantes corresponde al pH de los suelos, el cual es medianamente ácido en casi todas las fincas, excepto en la finca Arturo la cual presentó valores inferiores al de referencia. El pH óptimo para el desarrollo del cultivo de mora uva se ubica en 5,7. Valores por debajo de ese nivel pueden afectar la disponibilidad y absorción de nutrientes especialmente el nitrógeno, puesto que las bacterias fijadoras de nitrógeno disminuyen sus poblaciones cuando el pH en el suelo es menor a 5. Adicionalmente, a bajos valores de pH pueden presentarse concentraciones elevadas de aluminio intercambiable que pueden ser tóxicas para las raíces del cultivo. En este sentido, los productores deben ser cuidadosos en las fuentes de fertilizantes químicos nitrogenados que utilizan, especialmente porque todas aquellas formas amoniacales conducen a acidificar más los suelos.

Por último, la materia orgánica para suelos ubicados a más de 2000 msnm y en clima frío debería estar por encima de 10 % para que se considere como un nivel suficiente a alto según lo señalado por Jaramillo (2002). Sin embargo, en los suelos de algunas fincas (Loma redonda y Arrayán) se encontró valores de materia orgánica por debajo de 10 %. Esto representa una limitante para la disponibilidad y absorción de nutrientes, especialmente el nitrógeno puesto que la principal fuente natural de nitrógeno en los suelos es la materia orgánica. Un bajo porcentaje de materia orgánica le confiere al suelo una baja estabilidad estructural, que se ve acentuada por el alto porcentaje de arena encontrado en los suelos.

13. Conclusiones

Desde el punto de vista físico las fincas estudiadas (Loma redonda, Arrayan, Arturo, La Estrella y Pararrayo) en la vereda Cúnuba tienen suelos arenosos con un promedio de 68,77 - 77,05 %, con porcentajes normales de porosidad y bajos valores de densidad aparente, siendo el más bajo en la finca Arturo con 0,97 g/cm³

El pH de los suelos es moderadamente ácido con un promedio de 5-6, pero en las fincas de Arturo y Arrayan presentaron valores bajos a este, lo que puede ser una limitación para el desarrollo del cultivo, ya que dificulta la absorción de nutrientes.

El porcentaje de materia orgánica en las fincas Loma redonda y Arrayan fue bajo y esto representa un riesgo de pérdida de la fertilidad de los suelos.

Los factores más limitantes fueron la textura siendo está en su mayoría franco arenosa y el pH, ya que para el cultivo de mora uva el ideal es de 5,5-6,5 y algunos datos arrojaron valores inferiores a este (finca Arrayan y Arturo), así mismo estas dos fincas presentan baja materia orgánica (<7 %).

14. Recomendaciones

Se recomienda realizar análisis periódicos de los suelos para monitorear los niveles de acidez y fertilidad de los suelos.

Se recomienda analizar si existe presencia de aluminio intercambiable y en función de ello implementar la práctica de encalado para corregir algún problema de toxicidad de aluminio que pudiera existir.

Es necesario hacer aportes de materia orgánica al suelo para incrementar su porcentaje, ya que para el cultivo de mora uva se requiere elevados contenidos de materia orgánica, esto con el fin de mejorar las condiciones de retención de agua y nutrientes en los suelos.

15. Referencias

- Alcaldía de Pamplona. (2014). *Sitio oficial de Pamplona en Norte Santander, Colombia*. Sitio oficial de Pamplona en Norte Santander, Colombia.
- Alzate Q.A.C. Mayor, M.N., Montoya B.S. (2010). Influencia del manejo agronómico, condiciones edáficas y climáticas sobre las propiedades físicoquímicas y fisiológicas de la mora (*Rubus glaucus* BENTH.) en dos zonas de la región centro sur del departamento de Caldas. *Agron.* 18 (2): 37-46.
- Blaco-Sepúlveda, R. 2009. La relación entre la densidad aparente y la resistencia Mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia* 43: 231-239.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Particle Density. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods* (pp. 377–382). SSSA Book Series 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c14>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (1999). *The Nature and Properties of Soils* (12th ed.). The Nature and Properties of Soils.
- Calderón-Medina, C. Bautista-Mantilla, G., Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *ORINOQUIA*, 22(2): 141-157.
- Cancino-Escalante, G. O., Sánchez-Montaño, L. R., Quevedo-García, E., & Díaz-Carvajal, C. (2011). Caracterización fenotípica de accesiones de especies de *Rubus* L. de los municipios de Pamplona y Chitagá, región Nororiental de Colombia. *Universitas Scientiarum*, 16(3), 219. <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc16-3.pcor>
- Castellanos González, L., González-Pedraza, A. F., & Capacho Mogollón, A. E. (2021). Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander. *INGE CUC*, 17(1), 69–80. <https://doi.org/http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.06> Artículo

- Córdova S., C., Zagal V., E., Hepp K., C., & Barattini P., P. (2014). ASPECTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS VOLCÁNICOS DEL VALLE SIMPSON Y SU IMPACTO EN LA TRANSFORMACIÓN DEL AZUFRE Y DEL NITRÓGENO. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 113–133.
- CORPONOR. (2001). *Diagnostico rural* (p. 31).
[http://corponor.gov.co/pot/Pamplona/Formulacion/Pamplona Diagnostico Rural.pdf](http://corponor.gov.co/pot/Pamplona/Formulacion/Pamplona%20Diagnostico%20Rural.pdf)
- David, M. B. (1988). Use of loss-on-ignition to assess soil organic carbon in forest soils. In *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (Vol. 19, Issue 14).
<https://doi.org/10.1080/00103628809368037>
- Evok. (2017). *Beneficios de la mora y sus usos*. <https://www.evok.com.co/ingredientes-evok/beneficios-de-la-mora/>
- FAO. (2015). Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. In *2015* (pp. 1–5). <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- FAO. (2022). *Propiedades químicas del mentol*. http://www.ehowenespanol.com/propiedades-quimicas-del-mentol-lista_497938/
- Gardner, W. H. (1986). Water Content. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods* (2nd ed., pp. 493–544).
<https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c21>
- Garzon, Y. (2019). CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA, FENOLÓGICA Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MORA UVA (*Rubus robustus* C. Presl.) EN EL MUNICIPIO DE GRANADA (CUNDINAMARCA) [Universidad Nacional Abierta Y A Distancia – UNAD]. In *Unad*.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28313/11256435.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González-Castro, Y., Manzano-Durán, O., & García-Hoya, O. (2019). Puntos críticos de la cadena productiva de la mora (*Rubus glaucus* Benth), en el municipio de Pamplona,

Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 10(1), 9–22.

<https://doi.org/10.19053/20278306.v10.n1.2019.10008>

Jaramillo, D. 2002. *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Medellín. 619 p.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara. *Bioagro*, 25(1): 47-56

Hassink, J. (1997). The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191:77-87.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Norte de Santander. Escala 1: 100000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC - Subdirección de Agrología - Grupo Interno de Trabajo Levantamiento de Suelos.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2006). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras: Del Departamento de Norte de Santander*. Bogotá, Colombia.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2012). *Estudio general de suelos y zonificación física de tierras del departamento Norte de Santander*. In *Bogotá: Imprenta Nacional*.
<https://www.igac.gov.co/es/catalogo/estudio-general-de-suelos-y-zonificacion-de-tierras-de-norte-de-santander>

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2016). *Suelos y Tierra de Colombia. Tomos 1 y 2*. n *Bogotá: Imprenta Nacional*.

Osorio, N.W. (2012). Como interpretar los resultados del analisis de fertilidad del suelo. *Boletín del Manejo Integral del Suelo y la Nutrición Vegetal*, Vol. 1 No. 6

Porta C.J.; López, ARM. 2005. *Agenda de campo de suelos: información de suelos para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi Prensa. 541 p.

Lizcano Bueno, H. F., & Andrade, J. C. (2010). *Recuperación de la zona de protección de la red del colector de aguas residuales en la zona urbana* (CORPONOR (ed.); 1st ed.).

Mclean, E. O. (1982). Soil pH and Lime Requirement. In A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties* (Second Ed., pp. 199–224). Agronomy monograph number 9; American Society of Agronomy and Soil Science Society of America; Wisconsin; United States of America.
<https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c12>

Minagricultura. (2021). *Cadena Productiva de la Mora* (p. 25).
[https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Documentos/2021-03-31 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf)

Decreto 2811 de 1974, Diario Oficial N°34243 37 (1974).
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>

Moreno, M., Villarreal, D., Lagos, T. C., Ordóñez, H., & Criollo, H. (2011).
 CARACTERIZACIÓN “IN SITU” DE GENOTIPOS SILVESTRES Y CULTIVADOS DE MORA *Rubus spp* EN EL MUNICIPIO DE PASTO. CHARACTERIZATION. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2), 109–128.

OEC. (2019). *Raspberry, blackberry, mulberry and loganberry, fresh*.
[https://oec.world/en/profile/hs92/raspberry-blackberry-mulberry-and-loganberry-fresh#:~:text=In 2019%2C the top exporters,%2C and Portugal \(%24237M\)](https://oec.world/en/profile/hs92/raspberry-blackberry-mulberry-and-loganberry-fresh#:~:text=In%202019%2C%20the%20top%20exporters,%20and%20Portugal%20(%24237M))

Olivares, B., Calero, J., Rey, J.C., Lobo, D., Landa, B., Gómez, J. (2022). Correlation of banana productivity levels and soil morphological properties using regularized optimal scaling regression. *Catena*, 208: 105718. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105718>.

Peña Morales, D. I., De la Cruz, Y., Ruelas Monjardin, L. C., & Fontalvo Buelvas, J. C. (2021). Evaluación de la calidad del suelo en agroecosistemas tropicales de Xalapa y Emiliano Zapata en el estado de Veracruz, Mexico. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1 y 2), 25–36.
[https://doi.org/10.47864/SE\(51\)2021p25-36](https://doi.org/10.47864/SE(51)2021p25-36)

Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Montes, A., & Velarde, M. J. (2011).

- Edafología. In *Edafologia 1* (1st ed.).
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Pineda, J. (2015). *Estructura del Suelo, Perfil del Suelo y sus Horizontes*. Encolombia.
<https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/estructura-del-suelo/>
- PortalFruticola. (2020). *Producción de mora en principal estado productor de México cae 29%*.
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2020/11/19/produccion-de-mora-en-principal-estado-productor-de-mexico-cae-29/>
- PSU. (2017). *Introducción a los Suelos: La Calidad de los Suelos*. PennState Extension.
<https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>
- Raffino, M. E. (2019). *Suelo: Concepto, Tipos, Composición y Características*. Concepto.
<https://concepto.de/suelo/>
- Rasche, A.J.W., Gomez, E.J., Fatecha, F.D.A. y Leguizamón, R.C.A. (2020). Compactación del suelo y su efecto en el crecimiento vegetativo de soja, maíz y guandú. *Investig. Agrar.* 22(1):13-21.
- Rincón Bonilla, C. L., Moreno Medina, B. L., & Deaquiz Oyola, Y. A. (2015). Parámetros poscosecha en dos materiales de mora. *Cultura Científica*, 13, 16–25.
https://www.researchgate.net/publication/304999743_Parametros_Poscosecha_en_dos_Materiales_de_Mora_Rubus_Glaucus_Benth_Y_Rubus_Alpinus_Macfad
- Rodriguez Herrera, C. A., & Villegas Carmona, B. (2015). *Caracterización de los cultivos de mora de castilla (Rubus glaucus benth) con espinas, en dos fincas del municipio de guática, risaralda*. [Universidad Tecnológica de Pereira]. [http://eprints.ums.ac.id/37501/6/BAB II.pdf](http://eprints.ums.ac.id/37501/6/BAB%20II.pdf)
- Rubio, J. (2002). Las propiedades químicas del suelo. In *Introducción a la Ciencia del suelo* (p. 13).
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., León, J. P. de, & Hill, M. (1968). Propiedades Físicas del Suelo. *Transactions of the Faraday Society*, 64, 3358–3360.

<https://doi.org/10.1039/TF9686403358>

Salazar Yepes, M., Pardo Cardona, V. M., & Buritacá Céspedes, P. (2007). Especies de Colombia, Ecuador y Perú pertenecientes al género *Gerwasia raciborski* del orden Uredinales. *Caldasia*, 29(1), 105–120.

Unipamplona. (2015). *Información general*. Ruta Del Durazno y El Agua.

https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_174/recursos/pamplona/20042015/informacion_general.jsp

UNLP. (2020). El suelo : un universo invisible. In *Matenimiento De Espacios Verdes* (p. 13).

<https://unlp.edu.ar/frontend/media/98/27598/3f23fc987dbbda82587753c9796000a.pdf>

Urriola, L. A. (2021). ¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? Why study the physical properties of the soil? *Semillas Del Este*, 1(1), 23–26.

Villalba Mosquera, R., Gutierrez Arias, E., & Parra Morera, M. (2019). *Manual técnico cultivo de la mora en el Huila* (p. 21).

<https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Normatividad/Forms/AllItems.aspx#InplviewHash9f889c2d-3658-4815-a265-e5b8bb4a87ad=>

Zuloeta Sánchez, M. (2017). *Efecto de la temperatura en la calidad físicoquímica de los frutos de zarzamora (Rubus robustus C. Presl)*.

16. Anexos

Anexo 1: vereda Cúnuba y sus respectivas fincas



Anexo 2: Toma de muestra de densidad aparente



Anexo 3: Toma de muestra de suelo



Anexo 4: Toma de humedad volumétrica**Anexo 5:** Toma de muestra de resistencia mecánica a la penetración**Anexo 6:** Peso del suelo seco a 105° C**Anexo 7:** Calcinación de las muestras para obtener materia orgánica



Anexo 8: Muestras del suelo de la finca Pararrayo (Pr), luego de ser sacadas de la mufla a 445°C



Anexo 9: Toma de pH y conductividad eléctrica



Anexo 10: toma de textura



Anexo 11: Toma de datos de densidad real

