

# Variabilidad edáfica en áreas cultivadas con *Rubus floribundus* Weihe en Pamplonita, Norte de Santander

## Edaphic variability in areas cultivated with *Rubus floribundus* Weihe in Pamplonita, Norte de Santander

Ana Francisca González-Pedraza<sup>1\*</sup>; Karly Luceyda Chía-Gómez<sup>2</sup>; Brandon Moisés Carrillo-Agelvis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Ingeniería Agronómica. Pamplona - Norte de Santander, Colombia; e-mail: ana.gonzalez2@unipamplona.edu.co

<sup>2</sup>AGROGEM S.A.S, Tame - Arauca, Colombia; e-mail: karlychiagomez98@hotmail.com

<sup>3</sup>Instituto Agropecuario Colombiano – ICA. Tibú - Norte de Santander, Colombia; e-mail: cv.brandon.carrillo@gmail.com

\*autor de correspondencia: ana.gonzalez2@unipamplona.edu.co

**Cómo citar:** González-Pedraza, A.F.; Chía-Gómez, K.L.; Carrillo-Agelvis, B.M. 2025. Variabilidad edáfica en áreas cultivadas con *Rubus floribundus* Weihe en Pamplonita, Norte de Santander. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 28(2):e2902. <http://doi.org/10.31910/rudca.v28.n2.2025.2902>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

**Recibido:** mayo 25 de 2025

**Aceptado:** diciembre 1 de 2025

**Editado por:** Helber Adrián Arévalo Maldonado

### RESUMEN

La mora uva (*Rubus floribundus* Weihe) constituye un ecotipo local de creciente importancia productiva en Pamplonita (Norte de Santander), pero no existen estudios edáficos que expliquen su desempeño diferencial, lo que limita la formulación de recomendaciones de manejo ajustadas a la variabilidad local. En este contexto, el objetivo de la investigación fue caracterizar propiedades físicas y químicas del suelo en seis fincas productoras y determinar sus ejes funcionales mediante correlación y análisis multivariado. Se recolectaron 72 muestras compuestas (0-20 y 20-40 cm) y muestras no disturbadas para densidades; se analizaron textura, humedad gravimétrica, densidad aparente y real, porosidad total, resistencia mecánica, pH, conductividad eléctrica y carbono orgánico total. Los suelos fueron predominantemente franco arenosos y arenosos. Las fincas Ahoyada y Naranjos presentaron mayor humedad y COT, mientras que Miraflores y Arrayán mostraron mayor densidad aparente y menor retención hídrica. Las correlaciones de Pearson evidenciaron asociaciones funcionales entre fracción fina, carbono y retención de agua y el ACP explicó 65,6 % de la variación en tres componentes, destacando un gradiente textura fina-carbono-retención iónica y otro hídrico-estructural. En conjunto, se concluye que la aptitud del suelo para *R. floribundus* depende de la interacción entre textura, carbono y estructura, recomendándose incrementar materia orgánica y aplicar prácticas conservacionistas en fincas con mayor compactación y baja retención hídrica.

Palabras clave: Agroecosistemas altoandinos; Carbono orgánico total; Fertilidad del suelo; Limitaciones edáficas; Textura del suelo

### ABSTRACT

Blackberry (*Rubus floribundus* Weihe) is a local ecotype of increasing productive importance in Pamplonita (Norte de Santander, Colombia), yet no soil studies exist to explain its differential performance, limiting the development of management recommendations tailored to local variability. This study aimed to characterize the physical and chemical properties of soils in six production farms and to identify their functional axes using correlation and multivariate analysis. A total of 72 composite samples (0-20 and 20-40 cm) and undisturbed cores for density measurements were collected. Analyses included texture, gravimetric moisture, bulk and particle density, total porosity, mechanical resistance, pH, electrical conductivity, and total organic carbon. Soils were predominantly sandy loam and loamy sand; Ahoyada and Naranjos exhibited higher moisture and TOC, while Miraflores and Arrayán showed higher bulk density and lower water retention. Pearson correlations revealed functional associations among fine soil fractions, carbon content, and water retention. The PCA explained 65.6% of total variability in three components, highlighting a fine-texture-carbon-ionic retention gradient and a second hydric-structural gradient. Overall, soil suitability for *R. floribundus* depends on the interaction among texture, carbon, and structure. Increasing organic matter and adopting conservation practices is recommended for farms with greater compaction and reduced water retention.

Keywords: Edaphic limitations; High Andean agroecosystems; Soil fertility; Soil texture; Total organic carbon.

## INTRODUCCIÓN

El género *Rubus* (Rosaceae) comprende más de 700 especies distribuidas en regiones templadas y tropicales, subdivididas en 12 subgéneros, cuyo centro de diversidad se ubica en zonas altas tropicales de América, particularmente, en Colombia, Ecuador, Panamá, Guatemala, Honduras, México y El Salvador. A escala global, Estados Unidos, Guatemala y Rumania figuran entre los principales productores de mora (Espinosa *et al.* 2016; Iza *et al.* 2020; Vaillant, 2020).

En Colombia, la mora (*Rubus* spp.) es un cultivo promisorio debido a su valor nutricional y sus usos industriales (Barrera *et al.* 2017). Aunque entre 2015 y 2020 se observó un aumento moderado del área sembrada y la producción nacional (MADR - UPRA, 2020), regiones como Norte de Santander evidencian disminuciones en rendimiento y rentabilidad, asociadas con la baja diversidad genética, la incidencia de patógenos, las restricciones edafoclimáticas y las deficiencias en las prácticas de manejo (García *et al.* 2021; Moreno-Medina & Casierra-Posada, 2021; Castellanos González *et al.* 2023).

En este departamento predominan *Rubus glaucus* Benth y *Rubus floribundus* Weihe, esta última identificada como un ecotipo local de creciente importancia productiva (Araque-Castellanos *et al.* 2021; Quevedo García *et al.* 2025). En municipios, como Pamplonita, la mora uva se posiciona como alternativa competitiva frente a *R. glaucus*, registrando rendimientos superiores (hasta 30 t/ha.año frente a 10 t/ha.año), mejor comportamiento postcosecha y menor incidencia de plagas y enfermedades (Moreno-Medina *et al.* 2018). Estas diferencias sugieren una interacción significativa entre condiciones edáficas locales y el desempeño agronómico del cultivo, lo que resalta la necesidad de caracterizar los suelos donde se establece *R. floribundus*.

El cultivo de mora se desarrolla óptimamente en suelos franco o franco-arenosos, bien drenados, con un contenido de materia orgánica entre 2-4 %, adecuada disponibilidad hídrica y pH entre 5,5 y 6,5 (Hincapié *et al.* 2021; Milošević *et al.* 2012). Valores más ácidos limitan la disponibilidad de nutrientes esenciales y afectan el desarrollo radicular. Asimismo, las texturas finas, los suelos compactados o aquellos con drenaje deficiente reducen la aireación y propician la acumulación de humedad, lo que restringe el crecimiento radical y la productividad.

La literatura señala que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo determinan la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y condicionan la eficiencia del uso de nutrientes (Chagual-Villarreal, 2022; González-Pedraza *et al.* 2023; Orellana & Orellana, 2024); sin embargo, el análisis biológico suele requerir metodologías especializadas y tiempos prolongados de incubación, por lo que en este estudio se priorizó la evaluación de indicadores físicos y químicos, debido a su mayor variabilidad espacial y a la información directa que proporcionan sobre fertilidad, estructura y disponibilidad de agua en suelos agrícolas.

En Colombia, los estudios edafológicos en mora se han centrado, principalmente, en *R. glaucus*, Alzate Quintero *et al.* (2010) analizaron en el departamento de Caldas la relación entre factores edáficos, climáticos y de manejo con las propiedades del fruto, mientras que Hincapié *et al.* (2021) caracterizaron suelos con mora en el departamento de Risaralda, describiendo pendientes moderadas a fuertes, texturas francas, pH ligeramente ácido y altos contenidos de materia orgánica; sin embargo, la información sobre *R. floribundus* es limitada, especialmente, en el nororiente andino, donde su importancia productiva continúa en aumento.

La comprensión de las propiedades del suelo es esencial para diseñar prácticas de manejo agronómico que mantengan la fertilidad y eviten procesos de degradación asociados a pérdidas de nutrientes por extracción continua, lixiviación o volatilización (Castellanos González *et al.* 2021; González-Pedraza *et al.* 2023; Latorre Araque & Quevedo García, 2023). En sistemas frutales andinos esta caracterización adquiere relevancia, debido a la variabilidad edafoclimática, la heterogeneidad topográfica y las condiciones de manejo específicas.

No existen estudios sobre las características edáficas de suelos cultivados con mora uva (*R. floribundus*) en Pamplonita, Norte de Santander, lo que dificulta la formulación de recomendaciones de manejo ajustadas a la variabilidad local. Por ello, generar información base es fundamental para evaluar la aptitud del suelo, identificar limitaciones potenciales al crecimiento radicular y orientar prácticas que favorezcan la sostenibilidad del recurso.

En este contexto, el presente estudio se propuso caracterizar las propiedades físicas y químicas de los suelos cultivados con mora uva en fincas de la vereda Batagá (Pamplonita, Norte de Santander), con el fin de aportar información científica que sirva como línea base para la planificación y el manejo racional del suelo en agroecosistemas frutales altoandinos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio de estudio:** El estudio se realizó en seis fincas productoras de *Rubus floribundus* Weihe, ubicadas en la vereda Batagá, municipio de Pamplonita (Norte de Santander, Colombia), entre 1.965 y 2.140 m s.n.m. Estas unidades se localizan en un entorno altoandino con alta variabilidad topográfica y microclimática, factores que influyen en la distribución espacial de las propiedades del suelo (Tabla 1).

**Población y muestra:** La población correspondió a las 33 unidades productivas adscritas a la Asociación Productora Agropecuaria Forestal y Ecológica de Pamplonita (ASPAFE), mientras que la muestra estuvo constituida por seis fincas seleccionadas mediante muestreo intencional no probabilístico. Los criterios de selección incluyeron representatividad dentro del sistema productivo local, la continuidad del cultivo por al menos tres años, la disponibilidad del productor, la accesibilidad logística para el muestreo y la cobertura del gradiente altitudinal y de pendientes característico del paisaje andino.

Tabla 1. Características altitudinales, topográficas y de superficie de seis fincas dedicadas al cultivo de mora uva en la vereda Batagá, Pamplonita, Norte de Santander, Colombia.

Finca	Altitud (m s.n.m.)	Pendiente (%)	Área (ha)
Arrayán	2104	32	5
Ahoyada	2048	33	6
El Cedrillo	2018	9	2
Miraflores	2140	12	10
Matorral	1965	25	3
Naranjos	2028	34	4

La decisión de trabajar con seis fincas, equivalente al 18 % de la población total, se fundamentó en criterios metodológicos aplicables a paisajes heterogéneos, donde aumentar el número de predios no necesariamente mejora la caracterización edáfica, debido al efecto de saturación de la información, una vez alcanzado un umbral mínimo de representatividad espacial. En concordancia con la literatura reciente sobre muestreo en ambientes montañosos (Zhao *et al.* 2025), se adoptó una estrategia basada en pocas unidades representativas combinada con un muestreo interno intensivo, lo que permitió capturar la variabilidad fisicoquímica relevante del recurso suelo sin comprometer la viabilidad operativa del estudio.

**Muestreo de suelos:** En cada finca se delimitó una parcela representativa de 1.000 m<sup>2</sup>, donde se recolectaron seis muestras simples por profundidad (0-20 cm y 20-40 cm), las cuales, se homogenizaron para obtener una muestra compuesta por cada estrato, resultando en 12 muestras por finca y un total de 72 muestras. La extracción se efectuó con un barreno manual para garantizar la profundidad requerida y evitar contaminación entre horizontes. Adicionalmente, en cada parcela se abrió una calicata de 0,5 m de profundidad para determinar la densidad aparente, mediante la toma de muestras no disturbadas en cilindros metálicos (10 cm × 5 cm), extrayéndose dos cilindros por profundidad.

En la misma pared del perfil se midió la resistencia mecánica a la penetración, utilizando un penetrómetro de resorte manual, siguiendo el protocolo de Herrick & Jones (2002), con cuatro lecturas por profundidad en cada punto evaluado. Todas las muestras fueron rotuladas, selladas y transportadas al laboratorio para los análisis fisicoquímicos correspondientes.

**Análisis fisicoquímicos de los suelos:** Las determinaciones físicas y químicas se realizaron sobre muestras secas y tamizadas (< 2 mm). La textura se evaluó mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos con dispersión en hexametáfosfato de sodio y lecturas a los 40 segundos y dos horas (Gee & Bauder, 1986), mientras que la humedad gravimétrica se obtuvo por secado en estufa a 105 ± 5 °C hasta peso constante (Gardner, 1986). La densidad aparente se determinó empleando muestras no disturbadas tomadas con cilindros y la densidad real se midió por desplazamiento de agua en picnómetro, a partir de lo cual, se calculó la porosidad total mediante la relación %PT = 100 - (Da/Dr) × 100 (Blake & Hartge, 1986).

Los análisis químicos incluyeron la medición del pH y la conductividad eléctrica en suspensión suelo-agua 1:2, utilizando electrodo de vidrio y conductímetro calibrado, respectivamente (Mclean, 1982). El carbono orgánico total se determinó mediante pérdida por ignición en mufla a 445 ± 10 °C, siguiendo la metodología de Westman *et al.* (2006).

Para evaluar la existencia de posibles limitantes edáficas asociadas al cultivo de mora, los valores obtenidos se compararon con los rangos óptimos reportados en la literatura, particularmente, en los trabajos de Milošević *et al.* (2012), Morales & Villegas (2012), Osorio (2012), Vergara *et al.* (2016), Abud-Archila *et al.* (2018), Hincapié *et al.* (2021) y Rodríguez-Bautista *et al.* (2021). Esta comparación permitió identificar restricciones fisicoquímicas relevantes dentro del perfil del suelo, excluyendo parámetros nutricionales no evaluados en el estudio.

**Análisis estadístico:** Las variables físicas y químicas fueron sometidas a análisis descriptivo (media, desviación estándar, mínimo y máximo) y análisis de varianza (ANOVA) por profundidad, previa verificación de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Cuando los supuestos no se cumplieron, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Las comparaciones múltiples de medias se efectuaron mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables físicas y químicas del suelo para evaluar interrelaciones edáficas, así como un análisis de componentes principales (ACP), con el fin de identificar los factores que explican la mayor proporción de variabilidad entre las fincas y profundidades. Todos los análisis estadísticos se ejecutaron en el software Statistica® versión 10 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EE. UU., 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Textura:** Los suelos de las seis fincas presentaron un predominio de fracciones gruesas, con texturas franco arenosa y arenoso franco, tanto en 0-20 cm como en 20-40 cm. Arrayán, Ahoyada y Cedrito registraron 64-74 % de arena, mientras que Miraflores, Matorral y Naranjos superaron el 80 %, patrón que se mantuvo en el estrato subsuperficial. Las diferencias entre fincas fueron significativas ( $p < 0,05$ ), destacándose Ahoyada por sus mayores contenidos de

arcilla y Naranjos, por los valores más altos de arena (Tabla 2). Esta distribución coincide con lo reportado para materiales coluviales y aluviales altoandinos (IGAC, 2012; Moya-Gutiérrez *et al.* 2020; Villamizar Quiñonez *et al.* 2024), y refleja la influencia combinada del material parental y la dinámica geomorfológica local (Núñez Rodríguez *et al.* 2021).

Desde el punto de vista funcional, texturas dominadas por arena favorecen la aireación y el drenaje, pero limitan la retención hídrica y nutrimental, elevando la susceptibilidad a lixiviación, pérdida de

nutrientes y fluctuaciones de humedad (Brady & Weil, 2016; Núñez Rodríguez *et al.* 2021). Para *R. floribundus*, que demanda suelos bien drenados, pero con adecuada disponibilidad de agua, estas características son críticas: texturas muy arenosas pueden restringir la humedad en periodos secos y afectar la calidad del fruto (Franco & Bernal, 2020; Rodríguez-Bautista *et al.* 2021), mientras que las franco arenosas, como en Cedrito y Arrayán, ofrecen un balance relativamente más favorable. Bajo el régimen bimodal de lluvias de Pamplonita, la interacción entre textura y estacionalidad condiciona la dinámica hídrica y, por ende, el desempeño del cultivo.

Tabla 2. Distribución del tamaño de partícula del suelo y clase textural de los suelos de seis fincas cultivadas con mora uva en la vereda Batagá, Pamplonita, Norte de Santander, Colombia.

Finca	Profundidad (cm)	Distribución del tamaño de partículas (%)			Clase textural
		Arcilla	Arena	Limo	
Arrayán	0-20	5,57±1,92Ab	73,45±2,48Ab	20,98±1,67Ac	Franco arenoso
	20-40	10,26±2,13Aab	70,37±2,38Abc	19,37±2,61Aa	Franco arenoso
Ahoyada	0-20	16,07±3,45Aa	64,46±4,30Ac	19,47±2,78Abc	Franco arenoso
	20-40	14,63±8,17Aa	66,87±11,62Ac	18,51±5,10Aa	Franco arenoso
Cedrito	0-20	6,03±1,60Ab	73,69±2,58Ab	20,27±1,17Ab	Franco arenoso
	20-40	7,87±0,82Ab	75,53±2,93Ab	16,61±2,93Aa	Arenoso franco
Miraflores	0-20	3,03±0,41Acd	80,36±2,10Aa	16,61±1,83Aa	Arenoso franco
	20-40	3,37±0,98Acd	78,36±2,10Aa	18,27±1,33Aa	Arenoso franco
Matorral	0-20	2,03±0,75Ad	82,03±2,42Aa	15,94±2,59Aa	Arenoso franco
	20-40	2,70±2,35Ad	76,86±4,23Aab	20,44±2,45Aa	Arenoso franco
Naranjos	0-20	3,87±1,03Ac	81,86±1,22Aa	14,27±0,98Aa	Arenoso franco
	20-40	4,87±2,66Ac	79,69±1,97Aa	15,44±1,26Aa	Arenoso franco

Valores promedio ± desviación estándar acompañados por letras mayúsculas indican diferencias significativas entre profundidades dentro de cada finca, y por letras minúsculas diferencias entre fincas para una misma profundidad, según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Humedad gravimétrica (HG):** En la capa superficial (0-20 cm) se registraron diferencias significativas entre fincas, con humedades gravimétricas entre 20,89 y 36,82 %. Ahoyada y Naranjos presentaron los valores más altos, asociados a una mayor proporción de fracciones finas, mientras que Arrayán y Miraflores mostraron los valores más bajos, coherentes con su mayor contenido de arena y, por tanto, con una menor capacidad de retención hídrica. En el estrato de 20-40 cm se mantuvo este patrón, con Ahoyada y Naranjos nuevamente por encima del resto y Arrayán y Miraflores con las humedades más reducidas (Figura 1a). Estos valores se relacionan, además, con el momento del muestreo realizado en la transición entre la temporada seca y el inicio del primer periodo lluvioso (Weather Atlas, s.f.). Los resultados son consistentes con los de Hincapié *et al.* (2021), quienes señalan que las texturas francas favorecen una retención moderada bajo alta pluviosidad, condición deseable para *R. floribundus*, ya que excesos de humedad pueden generar estrés radicular (Cardona & Bolaños-Benavides, 2019).

**Densidad aparente (Da):** La densidad aparente (Da) osciló entre 0,89 y 1,46 g/cm<sup>3</sup>, sin diferencias significativas entre profundidades, pero con contrastes marcados entre fincas. Ahoyada

registró las densidades más bajas, indicando suelos más sueltos y porosos asociados a mayores proporciones de fracciones finas y mejor estabilidad estructural. En contraste, Miraflores y Arrayán alcanzaron los valores más altos, superando el intervalo óptimo para suelos agrícolas (1,0-1,3 g/cm<sup>3</sup>) (Osorio, 2012) y evidenciando una compactación relativa mayor (Figura 1b).

Aun así, ningún valor superó 1,5 g/cm<sup>3</sup>, por lo que no se identificaron problemas severos de compactación (IGAC, 2016). De acuerdo con Hincapié *et al.* (2021), densidades inferiores a 1,1 g/cm<sup>3</sup> son óptimas para el cultivo de mora, favoreciendo la aireación, la infiltración y el crecimiento radicular, condición observada en Ahoyada, Matorral y Naranjos. Aunque la evaluación de materia orgánica se aborda en otra sección, su variación probablemente contribuye a las diferencias registradas en Da, dado que mayores contenidos orgánicos reducen la densidad al incrementar la porosidad y la agregación del suelo.

**Densidad real (Dr):** La densidad real osciló entre 1,64 y 2,48 g/cm<sup>3</sup> sin diferencias estadísticas entre fincas ni profundidades. Los valores más altos correspondieron a Matorral y Arrayán (Figura 1c),

lo cual, podría estar asociado a una mayor proporción de minerales gruesos en las fracciones arenosas o a un menor contenido de componentes orgánicos, que presentan menor densidad intrínseca (Jaramillo, 2002). Resultados similares fueron reportados por Volverás-Mambuscay *et al.* (2020), en suelos de origen coluvial y andinosoles de Nariño, donde la densidad real fluctuó entre 1,8 y 2,1 g/cm<sup>3</sup>.

**Porosidad total (PT):** La porosidad total mostró variación entre fincas, pero sin diferencias entre profundidades (Figura 1d). En la capa superficial, Matorral presentó el valor más alto, superando el umbral óptimo (> 50 %) para suelos franco-arenosos, lo que favorece la aireación y la infiltración. En contraste, Cedrito y Miraflores registraron las porosidades más bajas, indicando posibles limitaciones para el intercambio gaseoso y la retención hídrica, especialmente en periodos secos. Estos resultados concuerdan con Osorio (2012), quien señala que la porosidad ideal para texturas franco-arenosas se sitúa entre 45 y 50 %, y con Hincapié *et al.* (2021), quienes destacan que una estructura granular estable contribuye a mantener niveles adecuados de porosidad en suelos cultivados con mora. Las tendencias observadas son coherentes con los valores de densidad aparente previamente descritos, reforzando la estrecha relación entre estructura, textura y contenido de materia orgánica.

**Resistencia mecánica del suelo a la penetración (RMSP):** La resistencia mecánica mostró diferencias significativas entre fincas, siendo Cedrito la que presentó los valores más altos, con hasta 2,88 kg/cm<sup>2</sup> en el subsuelo, lo que sugiere condiciones que pueden limitar el desarrollo radicular en profundidad (Figura 1e). Aunque estos valores no superan el umbral crítico de 1,5 MPa, propuesto por Lampurlanés & Cantero-Martínez (2003) al convertir las unidades, sí indican un aumento en la resistencia al avance de las raíces, especialmente en Cedrito y Arrayán. En contraste, Miraflores, Matorral y Naranjos presentaron valores más bajos, asociados con una menor compactación y mejores condiciones físicas para el crecimiento del cultivo. Este patrón coincide con lo señalado por Zerpa *et al.* (2013), quienes reportan que resistencias superiores a 2 MPa pueden reducir la elongación radicular y afectar la dinámica del agua y el aire en el suelo.

Desde el punto de vista agronómico, las fincas Ahoyada, Matorral y Naranjos presentan las condiciones físicas más favorables para *R. floribundus*, con mayor humedad gravimétrica, menores densidades aparentes y resistencias mecánicas, y niveles adecuados de porosidad. En contraste, Cedrito y Arrayán muestran atributos que sugieren mayor compactación y menor retención de agua, lo que podría requerir prácticas de manejo orientadas a mejorar la estructura del suelo.

**pH de los suelos:** Los análisis mostraron diferencias significativas en pH, conductividad eléctrica (CE) y carbono orgánico total (COT) entre fincas. Matorral presentó los valores de pH más bajos en ambas profundidades, mientras que Ahoyada, Arrayán y Naranjos se ubicaron dentro de rangos más favorables. En CE, Ahoyada registró los valores más altos, con diferencias significativas en 0-20 cm y un comportamiento similar en 20-40 cm. Asimismo, Ahoyada mostró el mayor COT en ambas profundidades, diferenciándose

significativamente del resto y reflejando una mayor acumulación de materia orgánica. Según Osorio (2012), pH entre 5,5 y 6,5 es óptimo para sistemas agrícolas de montaña, por lo que fincas como Ahoyada, Arrayán, Cedrito y Naranjos presentan condiciones químicas relativamente adecuadas, mientras que Matorral, con valores cercanos a 4,6, presenta una acidez muy fuerte, con riesgo de toxicidad por aluminio y limitada disponibilidad de nutrientes básicos, tal como lo reportan Osorio (2012) e Hincapié *et al.* (2021).

La acidez registrada responde, tanto a factores pedogenéticos como de manejo. En la zona predominan Inceptisoles derivados del Granito de Durania, con textura franco-arenosa, pH moderadamente ácido y contenidos medios de carbono orgánico (-2,46 %), condiciones moldeadas por el lavado natural de bases en ambientes de alta pluviosidad (IGAC, 2012); sin embargo, en áreas agrícolas la acidez suele intensificarse debido al uso continuo de fertilizantes nitrogenados de alta capacidad acidificante (Visconti-Moreno & Valenzuela-Balcázar, 2019; González-Pedraza *et al.* 2023), así como a la reducción de materia orgánica por prácticas de labranza, que disminuye la capacidad tampón del suelo. Esta condición puede afectar el desarrollo radicular y la absorción nutrimental de *R. floribundus* que aunque tolera cierta acidez, presenta un crecimiento óptimo en rangos intermedios (Morales & Villegas, 2012; Bolaños-Benavides *et al.* 2020).

**Conductividad eléctrica:** En cuanto a la conductividad eléctrica (CE), los valores hallados en la mayoría de las fincas (40-84 µS/cm) (Tabla 3) se ubican por debajo del umbral de 400 µS/cm, considerado por Osorio (2012), como límite superior para cultivos sensibles a la salinidad, lo que sugiere condiciones no limitantes desde el punto de vista osmótico. La finca Ahoyada presentó valores de CE significativamente más altos, aunque aún dentro de niveles tolerables. En este caso, no se evidencian riesgos inmediatos para el cultivo de mora, pero sí es recomendable mantener vigilancia, especialmente, si se utilizan fuentes fertilizantes que contribuyan a la acumulación de sales solubles o se como sucede en estas zonas, cuando se encalan los suelos con frecuencia sin contar con análisis de suelos previos (Teixeira *et al.* 2021).

**Carbono orgánico total (COT):** Los suelos de Ahoyada presentaron los valores más altos de carbono orgánico total (COT) (Tabla 3), superando el umbral de 10 %, propuesto por Osorio (2012), para considerar un suelo muy alto en materia orgánica por encima de los 1.800 m s.n.m. Este enriquecimiento se puede deber a una textura relativamente más fina, mejor retención de humedad y menor perturbación antrópica, factores que favorecen la estabilización de la materia orgánica (Cotrufo & Lavalley, 2022). Asimismo, estudios en zonas frías de Pamplona confirman mayores acumulaciones de COT en ambientes montañosos (Visconti-Moreno & Valenzuela-Balcázar, 2019), reforzadas por prácticas locales de manejo, como la aplicación de abonos orgánicos en esta finca. En contraste, fincas como Arrayán, Miraflores y Matorral, registraron valores inferiores al 4 %, condición que limita la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y la estabilidad estructural, especialmente en suelos franco-arenosos (Morales & Villegas, 2012; Moreno-Medina & Casierra-Posada, 2021).

En conjunto con los resultados de pH y CE, la finca Ahoyada reúne condiciones químicas favorables para el cultivo, mientras que Matorral y Miraflores presentan limitaciones asociadas a acidez elevada, bajo COT y posible reducción de la capacidad de retención de humedad. Estas restricciones, sumadas a la textura arenosa pueden comprometer el desarrollo radicular y la absorción nutrimental de *R. floribundus*, cuya respuesta óptima se registra en suelos con acidez moderada (Morales & Villegas, 2012; Bolaños-Benavides *et al.* 2020). Tal situación coincide con lo reportado por Quevedo García *et al.* (2025), quienes evidenciaron menores rendimientos ( $\approx 802 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en suelos con mayores limitaciones

fisicoquímicas y valores superiores ( $\approx 1105 \text{ kg ha}^{-1}$ ), en fincas con mejor manejo y mayor contenido orgánico.

En este sentido, si bien Ahoyada, Matorral y Naranjos reúnen condiciones relativamente favorables, Cedrito, Miraflores y Arrayán requieren correcciones específicas. Las recomendaciones incluyen incrementar la materia orgánica, aplicar enmiendas calcáreas cuando sea pertinente y fortalecer prácticas de manejo conservacionista, con el fin de mejorar la capacidad de intercambio, la retención hídrica y la estabilidad estructural del suelo, optimizando así la aptitud agrícola para *R. floribundus*.

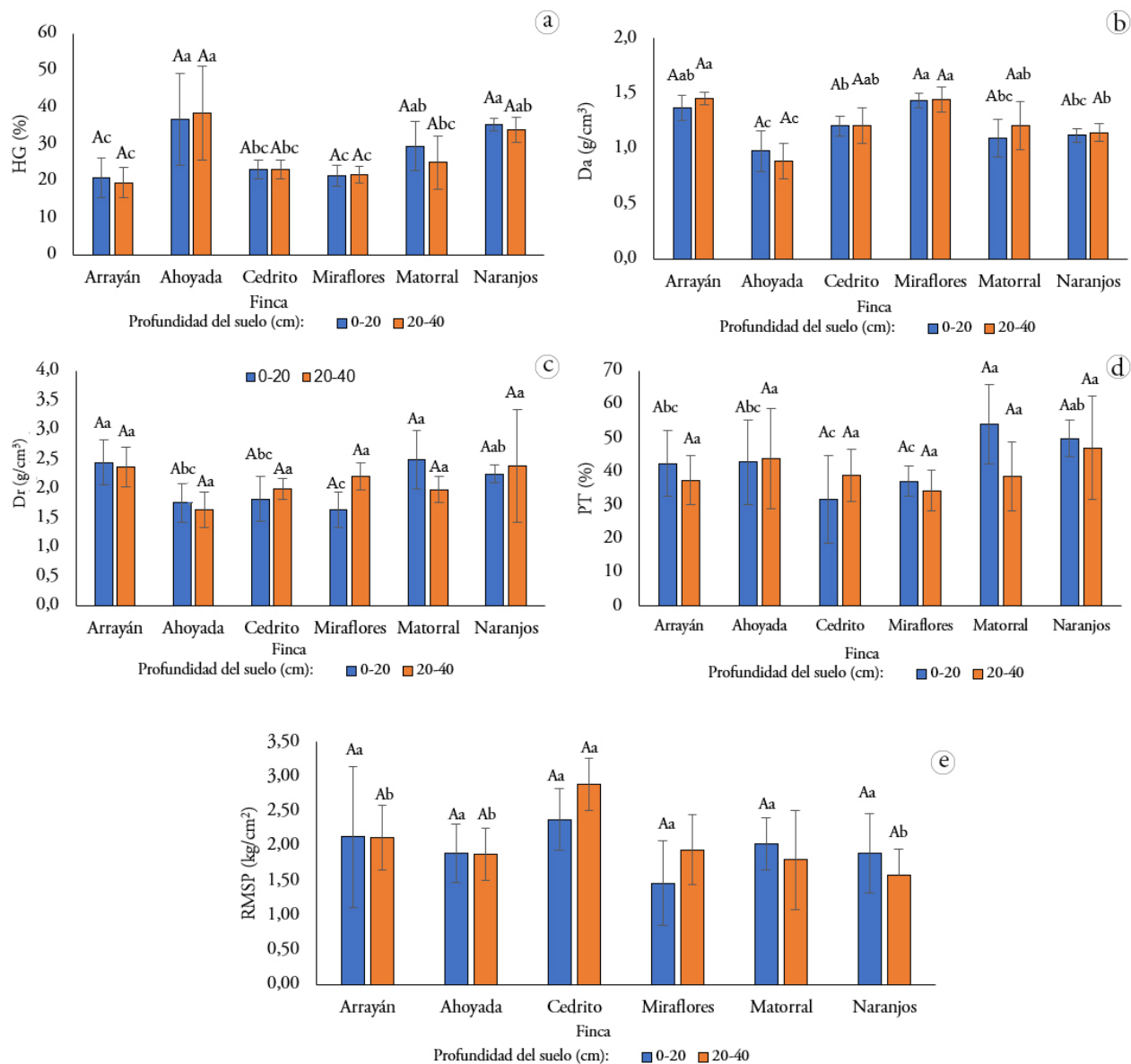


Figura 1. Comparación de propiedades físicas del suelo en seis fincas cultivadas con mora uva en Batagá (Pamplonita, Norte de Santander) a dos profundidades. a) HG: Humedad gravimétrica; b) Da: Densidad aparente; c) Dr: Densidad real; d) PT: Porosidad total; e) RMSP: Resistencia mecánica del suelo a la penetración.

Valores promedio  $\pm$  desviación estándar acompañados por letras mayúsculas indican diferencias significativas entre profundidades dentro de cada finca, y por letras minúsculas diferencias entre fincas para una misma profundidad, según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabla 3. Comparación del pH, conductividad eléctrica y carbono orgánico de los suelos de seis fincas con cultivos de mora uva en la vereda Batagá, Pamplonita, Norte de Santander, Colombia, a dos profundidades por finca.

Finca	Profundidad (cm)	pH	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	COT (%)
Arrayán	0-20	6,46 $\pm$ 0,21Aa	49,05 $\pm$ 18,73Ab	3,46 $\pm$ 1,34Ab
	20-40	6,16 $\pm$ 0,25Aa	45,42 $\pm$ 19,11Ab	3,30 $\pm$ 1,20Ab
Ahoyada	0-20	6,27 $\pm$ 0,70Aa	157,97 $\pm$ 72,95Aa	9,81 $\pm$ 4,37Aa
	20-40	5,57 $\pm$ 0,91Aab	90,98 $\pm$ 23,92Aa	11,36 $\pm$ 5,71Aa
Cedrito	0-20	6,14 $\pm$ 0,62Aa	60,55 $\pm$ 24,09Ab	4,84 $\pm$ 3,60Aab
	20-40	5,85 $\pm$ 0,26Aa	49,05 $\pm$ 14,70Ab	4,35 $\pm$ 2,92Ab
Miraflores	0-20	5,39 $\pm$ 0,46Aab	65,18 $\pm$ 46,97Ab	2,94 $\pm$ 0,72Ab
	20-40	5,49 $\pm$ 0,45Aab	46,63 $\pm$ 15,84Ab	4,87 $\pm$ 5,28Ab
Matorral	0-20	4,64 $\pm$ 0,27Ab	52,65 $\pm$ 12,57Ab	5,35 $\pm$ 1,89Aab
	20-40	4,65 $\pm$ 0,21Ab	40,93 $\pm$ 9,90Ab	3,37 $\pm$ 1,50Ab
Naranjos	0-20	6,35 $\pm$ 0,56Aa	84,47 $\pm$ 45,36Ab	6,41 $\pm$ 0,48Aab
	20-40	5,84 $\pm$ 0,54Aa	51,22 $\pm$ 12,14Ab	7,10 $\pm$ 2,15Aab

CE: Conductividad eléctrica; COT: Carbono orgánico total. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar acompañados por letras mayúsculas indican diferencias significativas entre profundidades dentro de cada finca, y por letras minúsculas diferencias entre fincas para una misma profundidad, según la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### Análisis de correlación de Pearson y componentes principales:

El análisis de Componentes Principales (ACP) sintetizó la estructura multivariada del suelo, identificando tres componentes que explicaron el 63,02 % de la variación total (PC1: 30,36 %, PC2: 20,33 %, PC3: 12,32 %) (Tabla 4). En la figura 2 se observa que el PC1 constituye un gradiente textura fina-carbono-retención iónica, donde Arcilla, carbono orgánico (COT) y conductividad eléctrica (CE) presentaron las mayores cargas negativas, mientras que Arena y densidad aparente ( $D_a$ ) se proyectaron con cargas positivas. Esta oposición indica que los suelos finos, ricos en carbono y con mayor capacidad de retención de solutos, contrastan con suelos arenosos y compactos con baja acumulación orgánica, patrón ampliamente descrito en estudios sobre estabilización del carbono en fracciones finas y su asociación con complejos órgano-minerales (Kučera *et al.* 2025). Asimismo, la convergencia entre CE, COT y Arcilla coincide con los resultados reportados por Schillaci *et al.* (2025), quienes señalan que los suelos con mayor superficie específica tienen mayor capacidad de adsorción iónica y retención de solutos.

El PC2 representa un gradiente hídrico-estructural definido por las cargas positivas de humedad gravimétrica, humedad volumétrica y porosidad total, junto con el aporte de la fracción fina. La proyección conjunta de estas variables en la parte superior del eje sugiere que la microporosidad asociada a arcilla y materia orgánica incrementa la disponibilidad y almacenamiento de agua, proceso ampliamente documentado para suelos andinos y templados (Soinne *et al.* 2023). Este eje hídrico-estructural es independiente del gradiente textura-carbono del PC1, lo que confirma la existencia de mecanismos edáficos diferenciados que controlan la retención de agua y la estructura.

El PC3 explicó un eje secundario asociado con la estabilidad estructural y las condiciones químicas, dominado por cargas altas de densidad real, porosidad total y pH. Este componente refleja variaciones relacionadas con la mineralogía y la composición química del suelo.

Tabla 4. Valores propios y porcentaje de varianza explicada por los componentes principales.

Componente	Valor propio	% Varianza explicada	% Varianza acumulada
1	3,6453	30,36	30,36
2	2,4401	20,33	50,69
3	1,4787	12,32	63,01

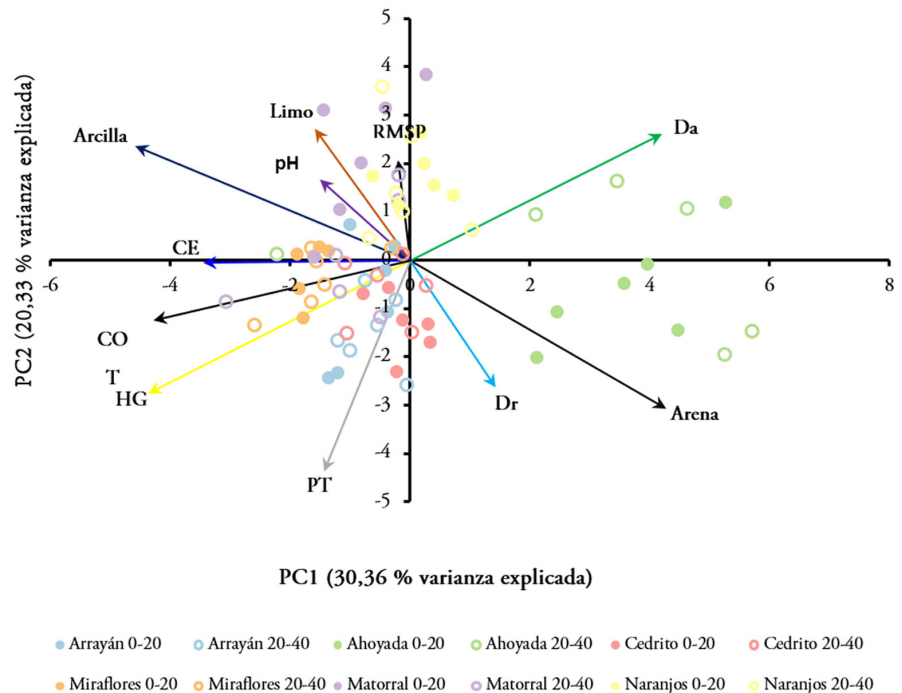


Figura 2. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las propiedades físicas y químicas del suelo en los diferentes sitios y profundidades evaluados. HG: Humedad gravimétrica; Da: Densidad aparente; Dr: Densidad real; PT: Porosidad total; RMSP: Resistencia mecánica del suelo a la penetración; CE: Conductividad eléctrica.

La figura 2 también muestra una separación clara entre profundidades. Los horizontes de 0-20 cm se agrupan hacia los valores negativos del PC1, asociados con mayor carbono, mayor CE y proporción de fracciones finas, lo que evidencia procesos de acumulación superficial de materia orgánica y formación estructural favorecida por la bioturbación y el manejo agrícola. En contraste, los horizontes de 20-40 cm se proyectan hacia el extremo positivo del PC1, caracterizados por mayor arena y densidad aparente, patrón común en perfiles andinos, donde la materia orgánica disminuye rápidamente con la profundidad (Soinnie *et al.* 2023). Como conclusión se puede aseverar que la aptitud de los suelos estudiados para *Rubus floribundus* está determinada por la interacción funcional entre textura, carbono, estructura y retención hídrica, que coincide con los modelos recientes de funcionamiento edáfico propuestos para sistemas agrícolas de montaña (Kučera *et al.* 2025; Mondragón Valencia *et al.* 2025; Schillaci *et al.* 2025).

#### Agradecimientos:

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Pamplona por el apoyo institucional brindado a la investigación desarrollada. Asimismo, se reconoce la colaboración de los agricultores de Pamplonita y Pamplona, por facilitar el acceso a los predios y acompañar las actividades de campo, así como el respaldo del laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias y del personal académico y estudiantil que contribuyó al trabajo. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Pamplona mediante la Convocatoria Interna de Proyectos 2021. La entidad financiadora no tuvo injerencia en el diseño metodológico, el

análisis de los datos ni la redacción del manuscrito. **Conflictos de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses personales, financieros, institucionales o comerciales que puedan haber influido en la realización del estudio o en la preparación del presente manuscrito. **Contribución de los autores:** A.F. González-Pedraza lideró la conceptualización, gestión y administración del proyecto; coordinó las actividades metodológicas, de campo, laboratorio y análisis estadístico; redactó y revisó el manuscrito. K.L. Chía-Gómez participó en la medición y registro de variables edáficas, organización inicial de datos, validación de procedimientos y apoyo en la visualización y revisión del texto. B.M. Carrillo-Agelvis contribuyó en las mediciones físicas, químicas y biológicas del suelo, organización de datos, verificación metodológica y apoyo en la construcción de insumos gráficos y revisión del manuscrito.

## REFERENCIAS

- ABUD-ARCHILA, M.; LUJÁN-HIDALGO, M.C.; LÓPEZ-PÉREZ, J.M.; ORDAZ-RIVERA, J.; RUIZ-VALDIVIEZO, V.M.; OLIVA-LLAVEN, M.Á.; GUTIÉRREZ-MICELI, F.A. 2018. Growth and fruit chemical characteristics of blackberry (*Rubus fruticosus*) cultivated with vermicompost, *Glomus mosseae* and phosphate rock. *Compost Science & Utilization*. 26(4):291-298. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1471367>
- ALZATE QUINTERO, A.C.; MAYOR MARÍN, N.; MONTOYA BARRETO, S. 2010. Influencia del manejo agronómico, condiciones edáficas y climáticas sobre las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas de la mora (*Rubus glaucus* Benth.).

- en dos zonas de la región centro sur del departamento de Caldas. *Revista Agronomía*. 18(2):37-46
- ARAQUE-CASTELLANOS, D.; CANCINO-ESCALANTE, G.; HERNÁNDEZ-CONTRERAS, D.; CHINCHILLA-CAREDENAS, D. 2021. Diversidad genética de *Rubus glaucus* Benth en el municipio de Pamplona (nororiente de Colombia). *Bistua*. 19(2). <https://doi.org/10.24054/bistua.v19i2.1125>
- BARRERA, V.H.; ALWANG, J.; ANDRANGO, G.; DOMÍNGUEZ ANDRADE, J.M.; ESCUDERO, L.; MARTÍNEZ, A.; JÁCOME, R.; ARÉVALO, J. 2017. La cadena de valor de la mora y sus impactos en la Región Andina del Ecuador. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Unidad de Economía Agrícola. Boletín Técnico no. 171. Arcoiris Producciones Gráficas. Quito, Ecuador. 161p.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. 1986. Bulk density. En: Klute, A. *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, segunda edición, *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison. p.363-382.
- BOLAÑOS-BENAVIDES, M.M.; CARDONA, W.A.; GARCÍA MUÑOZ, M.C.; ZAPATA NARVÁEZ, Y.A.; BELTRÁN ACOSTA, C.R.; VÁSQUEZ ROMERO, R.E.; MARTÍNEZ LEMUS, E.P.; HIO, J.C.; ORTEGA FLÓREZ, N.C.; PEÑA HOLGUÍN, A.C.; BAUTISTA MONTEALEGRE, L. G., LÓPEZ MELO, D.A. 2020. Mora (*Rubus glaucus* Benth.): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2. 90p.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. 2016. *The nature and properties of Soils*. Décimo quinta edición. Pearson.1071p.
- CARDONA, W.A.; BOLAÑOS-BENAVIDES, M.M. 2019. Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). p.99. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-18>
- CASTELLANOS GONZÁLEZ, L.; CALDERÓN GUTIÉRREZ, J.; VERA PEÑA, M. 2023. Enfermedades fúngicas en mora (*Rubus* spp.) en los municipios de Pamplona y Pamplonita, Norte de Santander. *Ciencia y Tecnología Alimentaria – Alimentech*. 21(2):e2628. <https://doi.org/10.24054/limentech.v21i2.2628>
- CASTELLANOS GONZÁLEZ, L.; GONZÁLEZ-PEDRAZA, A.F.; CAPACHO MOGOLLÓN, A.E. 2021. Caracterización de los suelos de seis municipios en el Norte de Santander. *INGE CUC*. 17(1):69-80. <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.06>
- CHAGUALA-VILLARREAL, I.A. 2022. Buenas prácticas agrícolas y manejo sostenible de los suelos en fincas productoras de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el municipio de Tame, departamento de Arauca. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 7(1):28-39. <https://doi.org/10.24054/cyta.v7i1.2777>
- COTRUFO, M.F.; LAVALLEE, J.M. 2022. Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration. *Advances in Agronomy*. 172:1-66. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.11.002>
- ESPINOSA, N.; LIGARRETO, G.A.; BARRERO, L.S.; MEDINA, C.I. 2016. Variabilidad morfológica de variedades nativas de mora (*Rubus* sp.) en los Andes de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 10(2):211-221. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.4755>
- FRANCO, G.; BERNAL, J.A. 2020. Tecnología para el cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403251>
- GARCÍA, M.J.; CHARRY, A.; DÍAZ RAMÍREZ, L.; HURTADO, J.J.; JÄGER, M. 2021. Brechas tecnológicas de la cadena productiva de la mora en el Valle del Cauca y descripción del estado del arte. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia; Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Proyecto Incremento de la Competitividad Sostenible. 54p.
- GARDNER, W.H. 1986. Water content. En: Klute, A. *Methods in soil analysis. Parte I, Segunda edición*. *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison. p.493-544
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. 1986. Particle-size analysis. En: Klute, A. *Methods in soil analysis. Parte I, Segunda edición*. *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison. p.383-411.
- GONZÁLEZ-PEDRAZA, A.F.; CASTELLANOS GONZÁLEZ, L.; CAPACHO MOGOLLÓN, A.E. 2023. Influencia de tres modelos agroecológicos sobre la calidad del suelo en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Primera edición, Colección Ciencias Pecuarías y Agronomía. Sello Editorial Unipamplona. Universidad de Pamplona. Pamplona. 189p.
- HERRICK, J.E.; JONES, T.L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*. 66(4):1320-1324. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1320>
- HINCAPIÉ, J.M.; VELÁSQUEZ, J.; ÁLVAREZ, L.M. 2021. Propiedades fisicoquímicas como base para la caracterización de suelos, cultivados en mora (*Rubus glaucus*, Benth) en el departamento de Risaralda, Colombia. *Brazilian Journal of*

- Animal and Environmental Research, Curitiba. 4(4):6144-6163. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-105>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2012. Conflictos de uso del territorio colombiano. Escala 1:100.000. Bogotá, Colombia.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. 2016. Suelos y Tierra de Colombia. Tomos 1 y 2. Bogotá: Imprenta Nacional.
- IZA, M.; VITERI, P.; HINOJOSA, M.; MARTÍNEZ, A.; SOTOMAYOR, A.; VIERA, W. 2020. Diferenciación morfológica, fenológica y pomológica de cultivares comerciales de mora (*Rubus glaucus* Benth.). Enfoque UTE. 11(2):47-57. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.529>
- JARAMILLO, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Medellín. 619p.
- KUČERA, A.; VAVŘÍČEK, D.; DRÁPELA, K.; ZOUHAR, V.; FRIEDL, M.; VRANOVÁ, V. 2025. Defining the relationship between bulk density and organic carbon content in forest soils using generalised linear mixed-effect models. Carbon Balance and Management. 20:36. <https://doi.org/10.1186/s13021-025-00298-0>
- LAMPURLANÉS, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. Agronomy Journal. 95(3):526-536. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.5260>
- LATORRE ARAQUE, C.A.; QUEVEDO GARCÍA, E. 2023. Fertilización edáfica en el rendimiento de papa criolla (*Solanum phureja*). Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 8(1):3-9. <https://doi.org/10.24054/cyta.v8i1.2830>
- MCLEAN, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. En: Page, A.L. Methods of soil analysis. Segunda parte. Chemical and Microbiological Properties Segunda edición. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. p.199-224. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c12>
- MILOŠEVIĆ, T.; MILOŠEVIĆ, N.; GLIŠIĆ, I.; MLADENOVIC, J. 2012. Fruit quality attributes of blackberry grown under limited environmental conditions. Plant, Soil and Environment. 58(7):322-327. <https://doi.org/10.17221/33/2012-PSE>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR; UNIDAD DE PLANIFICACIÓN RURAL AGROPECUARIA, UPRA. 2020. Cadena productiva de la mora: cifras sectoriales 2020. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Disponible desde Internet en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- MONDRAGÓN VALENCIA, V.A.; FIGUEROA CASAS, A.; MACIAS PINTO, D.J.; ROSAS-LUIS, R. 2025. Modeling soil organic carbon dynamics across land uses in tropical Andean ecosystems. Preprints. 2025:100807. <https://doi.org/10.20944/preprints202510.0807.v1>
- MORALES, C.; VILLEGAS, B. 2012. Mora (*Rubus glaucus* Benth.). En: Fischer, G. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá. p.728-754.
- MORENO-MEDINA, B.; CASIERRA-POSADA, F.; CUTLER, J. 2018. Phytochemical composition and potential use of Rubus species. Gesunde Pflanzen. 70(2):65-74. <https://doi.org/10.1007/s10343-018-0416-1>
- MORENO-MEDINA, B.L.; CASIERRA-POSADA, F. 2021. Caracterización de especies de mora (*Rubus* sp.) cultivadas en los altiplanos tropicales. En: Fischer, G., Miranda, D.; Magnitskiy, S.; Balaguera-López, H.E.; Molano, Z. Avances en el cultivo de las berries en el trópico. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá, Colombia. p.102-112. <https://doi.org/10.17584/IBerries>
- MOYA-GUTIÉRREZ, A.J.; TORRES-PEÑA, J.A.; CONTRERAS-MARTÍNEZ, M. 2020. Site characterization using geophysical and geotechnical prospecting. Case study main road North Central Trunk (National Route 55) at Km 68 + 500 in the Municipality of Pamplona, North of Santander, Colombia. Revista Boletín de Ciencias de la Tierra. 48:30-45. <https://doi.org/10.15446/rbct.n48.85411>
- NÚÑEZ RODRÍGUEZ, J.J.; CARVAJAL RODRÍGUEZ, J.C.; CARRERO, D.M.; RAMÍREZ NOVOA, L.L.; SÁNCHEZ FRANK, J.V. 2021. Representations of Colombian Andean farmers on climate change and mitigation and adaptation strategies. Revista de Economía e Sociología Rural. 59(2):e220439. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220439>
- ORELLANA, R.J.; ORELLANA, E.C. 2024. Efecto del exceso de humedad a causa del microrrelieve y de los fragmentos gruesos del suelo en los rendimientos de maíz (*Zea mays* L.). Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 9(1):3-7. <https://doi.org/10.24054/cyta.v9i1.2882>
- OSORIO, N.W. 2012. Como interpretar los resultados del análisis de fertilidad del suelo. Boletín del Manejo Integral del Suelo y la Nutrición Vegetal. 1(6). Disponible desde Internet en: [https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/1%206%20Como%20interpretar%20analisis%20de%20suelos%20%20Walter%20Osorio\\_0.pdf](https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/1%206%20Como%20interpretar%20analisis%20de%20suelos%20%20Walter%20Osorio_0.pdf)

- QUEVEDO GARCÍA, E.; GONZÁLEZ-PEDRAZA, A.F.; DÍAZ RODRÍGUEZ, A.C. 2025. Fenología, rendimiento y calidad del fruto de mora uva (*Rubus floribundus* Kunth.) en Pamplona, Norte de Santander, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 16(1):11-31. <https://doi.org/10.22490/21456453.7235>
- RODRÍGUEZ-BAUTISTA, G.; SEGURA LEDEZMA, S.D.; CRUZ-IZQUIERDO, S.; LÓPEZ-MEDINA, J.; CRUZ-HUERTA, N.; VALENZUELA NÚÑEZ, L.M. 2021. Distribución potencial y caracterización eco-climática de especies silvestres de *Rubus subgenus Eubatus* en México. *Polibotánica*. 52:103-116. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.8>
- SCHILLACI, C.; SCARPA, S.; YUNTA, F.; LIPANI, A.; VISCONTI, F.; SZATMÁRI, G.; BALOG, K.; KOGANTI, T.; GREVE, M.; BONDI, G.; KARGAS, G.; LONDRA, P.; KAYA, F.; LO PAPA, G.; PANAGOS, P.; MONTANARELLA, L.; JONES, A. 2025. Empirical estimation of saturated soil-paste electrical conductivity in the EU using pedotransfer functions and Quantile Regression Forests: A mapping approach based on LUCAS topsoil data. *Geoderma*. 454:117199. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117199>
- SOINNE, H.; KESKINEN, R.; TÄHTIKARKKU, M.; KUVA, J.; HYVÄLUOMA, J. 2023. Effects of organic carbon and clay contents on structure-related properties of arable soils with high clay content. *European Journal of Soil Science*. 74(5):e13424. <https://doi.org/10.1111/ejss.13424>
- STATSOFT, Inc. 2011. *Statistica* (Version 10) [Computer software]. StatSoft, Inc. Disponible desde Internet en: <https://www.statsoft.com/>
- TEIXEIRA, L.A.J.; BETTIOL, J.E.N.; SANCHES, J. PIO, R. 2021. Blackberry cultivars, nitrogen and potassium fertilization under drastic summer pruning in a subtropical area. *Soil and Plant Nutrition, Bragantia, Campinas*. 80: e4921. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200527>
- VAILLANT, F. 2020. Chapter 25 – Blackberries. En: Jaiswal, A.K. *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables*. Academic Press. p.407-422. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00025-8>
- VERGARA, M.F.; VARGAS, J.; ACUÑA, J.F. 2016. Physicochemical characteristics of blackberry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits from four production zones of Cundinamarca, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(3):336-343. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n3.62755>
- VILLAMIZAR QUIÑONEZ, C.; CANCINO ESCALANTE, G.O.; CANCINO, S.E. 2024. Los aspectos biofísicos de la provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Universidad de Pamplona. <https://doi.org/10.24054/seu.78>
- VISCONTI-MORENO, E.F.; VALENZUELA-BALCÁZAR, I.G. 2019. Impacto del uso del suelo sobre la estabilidad de agregados y su relación con el carbono orgánico en dos pisos altitudinales en Los Andes de Colombia. *Agronomía Colombiana*. 37(3):263-273. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n3.77601>
- VOLVERÁS-MAMBUSCAY, B.; MERCHANCANO-ROSETO, J.D.; CAMPO-QUESADA, J.M.; LÓPEZ-RENDÓN, J.F. 2020. Propiedades físicas del suelo en el sistema de siembra en wachado en Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*. 31(3). <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.39233>
- WEATHER ATLAS. s.f. *Clima y previsión meteorológica mensual – Pamplonita, Colombia*. Disponible desde Internet en: <https://www.weather-atlas.com/es/colombia/pamplonita-clima>
- WESTMAN, C.J.; HYTÖNEN, J.; WALL, A. 2006. Loss on ignition in the determination of pools of organic carbon in soils of forests and afforested arable fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37(7-8):1059-1075. <https://doi.org/10.1080/00103620600586292>
- ZERPA, G.; SOSA, O.; BERARDI, J.; BOLATTI, J.P.; GALINDO, A.; MALDONADO, J. 2013. La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *Agromensajes*. 35:64-68.
- ZHAO, Y.; SI, Y.; YANG, Q.; YAN, C.; CHEN, J.; LI, Y. 2025. Optimizing sampling strategies for a regional three-dimensional soil organic carbon mapping in different landforms. *Ecological Indicators*. 178:114069. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114069>