



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

Efecto de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua en zonas aluviales de uso agrícola, Rio Buenavista.

**SANCHEZ PEÑA HOLGER FERNANDO
INGENIERO AGRONOMO**

**GUZMAN ARMIJOS JOSE ALEJANDRO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

**Efecto de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua
en zonas aluviales de uso agrícola, Rio Buenavista.**

**SANCHEZ PEÑA HOLGER FERNANDO
INGENIERO AGRONOMO**

**GUZMAN ARMIJOS JOSE ALEJANDRO
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Efecto de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua
en zonas aluviales de uso agrícola, Rio Buenavista.**

**SANCHEZ PEÑA HOLGER FERNANDO
INGENIERO AGRONOMO**

**GUZMAN ARMIJOS JOSE ALEJANDRO
INGENIERO AGRONOMO**

CHABLA CARRILLO JULIO ENRIQUE

**MACHALA
2024**

efectos de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua en zonas aluviales de uso agrícola, rio buenavista.pdf

por Holger Sánchez

Fecha de entrega: 14-ago-2024 02:56p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2432105072

Nombre del archivo:

efectos_de_las_propiedades_fisicas_del_suelo_en_el_contenido_de_agua_en_zonas_aluviales_de_uso_agricola_rio_buenavista.pdf (1.05M)

Total de palabras: 15293

Total de caracteres: 77341

efectos de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua en zonas aluviales de uso agrícola, rio buenavista.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	caracoli.cdmb.gov.co Fuente de Internet	1%
2	repositorio.inta.gob.ar Fuente de Internet	1%
3	www.repositorio.ugto.mx Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1%
5	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ual.es Fuente de Internet	<1%
7	docs.google.com Fuente de Internet	<1%
8	"Estimación de contenido de carbono y evaluación de las propiedades del suelo en praderas destinadas a la producción de bovinos bajo manejo regenerativo del sur de	<1%

Chile", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2023

Publicación

9	www.redpav-fpolar.info.ve Fuente de Internet	<1 %
10	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
11	portal.amelica.org Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.xoc.uam.mx Fuente de Internet	<1 %
13	Fanny Liliana Monroy Rodríguez, Javier Giovanni Álvarez Herrera, Óscar Humberto Alvarado Sanabria. "Distribución espacial de algunas propiedades físicas del suelo en un transecto de la granja Tunguavita, Paipa", Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 2017 Publicación	<1 %
14	revistas.unah.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.chapingo.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
16	www.locus.ufv.br Fuente de Internet	<1 %

www.researchgate.net

17 Fuente de Internet <1 %

18 etd.repository.ugm.ac.id Fuente de Internet <1 %

19 repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet <1 %

20 repository.uamerica.edu.co Fuente de Internet <1 %

21 www.cnpdia.embrapa.br Fuente de Internet <1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, SANCHEZ PEÑA HOLGER FERNANDO y GUZMAN ARMIJOS JOSE ALEJANDRO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Efecto de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua en zonas aluviales de uso agrícola, Rio Buenavista., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

*Holger
Sanchez*

SANCHEZ PEÑA HOLGER FERNANDO

0706693470

*Jose Alejandro
Guzman*

GUZMAN ARMIJOS JOSE ALEJANDRO

0705549244

DEDICATORIA

A mi amada hija, Isabella Alejandra Guzmán Abad. Este logro es tanto mío como tuyo. Tu sonrisa, tu energía y tu inagotable curiosidad han sido mi mayor inspiración a lo largo de este arduo camino. Cada sacrificio, cada noche de estudio y cada momento de esfuerzo han estado impulsados por el deseo de ser un ejemplo para ti, de mostrarte que, con determinación y amor, todo es posible. Gracias por recordarme siempre la importancia de soñar en grande y perseguir esos sueños con pasión. Esta tesis es para ti, con la esperanza de que encuentres en ella un ejemplo de perseverancia y dedicación.

José Alejandro Guzmán Armijos

Dedico este trabajo de dedicación y esfuerzo a mi hijo Matías Fernando Sánchez Peña, quien ha sido mi mayor inspiración y motivación para alcanzar mis metas. A mis queridos padres Holger José Sánchez Peña y María Gladys Peña Mendoza por su infinito amor, apoyo incondicional y sabias enseñanzas que me han guiado en cada paso de mi camino académico. Este logro es también de ustedes, gracias por creer en mí siempre.

Holger Fernando Sánchez Peña

AGRADECIMIENTO

Mi madre, Jessica Johana Armijos Barrezueta

Quiero agradecerte desde lo más profundo de mi corazón por todo el amor, el apoyo y la fortaleza que me has brindado a lo largo de mi vida. Tu dedicación y sacrificio han sido la base sobre la que he construido cada uno de mis logros, incluyendo la culminación de esta tesis. Tu ejemplo de perseverancia y valentía me ha enseñado a no rendirme nunca, y a enfrentar los desafíos con determinación. Cada paso que he dado en este camino ha sido inspirado por ti, y te estoy eternamente agradecido por ser mi guía y mi mayor motivación. Este logro es tanto mío como tuyo, y con todo mi amor, te lo dedico.

A mi padre, Freddy Bolívar Guzmán Guzmán

Desde pequeño, me enseñaste el valor del trabajo duro y la perseverancia, lecciones que han sido fundamentales en mi vida y en la culminación de esta tesis. Tus consejos, tu ejemplo y tu incansable dedicación me han mostrado que, con esfuerzo y determinación, todo es posible. Gracias por ser mi guía, por inculcarme la importancia de luchar por mis sueños y por siempre estar a mi lado, brindándome tu apoyo incondicional. Este logro es un reflejo de todo lo que me has enseñado, y por ello, te estoy profundamente agradecido.

A mi esposa, Lourdes Alexandra Abad Valladolid

Tu amor, paciencia y comprensión han sido mi refugio durante este largo camino. Gracias por estar a mi lado en cada paso, por tus palabras de aliento y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Tu apoyo ha sido fundamental, y sin ti, este logro no habría sido posible. Esta tesis también es tuya.

A mi tutor de tesis, Julio Enrique Chabla Carrillo

Gracias por guiarme con sabiduría, paciencia y dedicación. Su orientación ha sido esencial para dar forma a este trabajo, y su compromiso con mi aprendizaje ha sido una inspiración constante. Agradezco profundamente sus valiosos consejos y el tiempo que ha dedicado para asegurar que este proyecto alcanzara el mejor nivel posible.

José Alejandro Guzmán Armijos

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de esta tesis. En primer lugar, agradezco al Ing. Julio Enrique Chabla Carrillo por su orientación experta y su invaluable asesoramiento a lo largo de este proceso.

A mis amigos y seres queridos que me han brindado palabras de aliento y ánimo cuando más lo necesitaba, gracias por estar siempre presentes. Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido a la culminación de este proyecto.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de todos ustedes. ¡Gracias de todo corazón!

Holger Fernando Sánchez Peña

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	6
INDICE DE TABLAS.....	9
INDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN	11
SUMMARY	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. General.....	15
2.2. Específicos	15
II MARCO TEÓRICO	16
2.1 Propiedades físicas del suelo.....	16
2.1.1 Textura del suelo	17
2.1.2 Densidad aparente.....	17
2.1.3 Estructura del suelo	17
2.1.4 Infiltración	18
2.1.4.1 Factores que influyen en la infiltración	19
2.2 Calidad del suelo.....	19
2.3 Capacidad de retención hídrica	20
2.3.1 Contenido de humedad gravimétrica	21
2.3.2 Capacidad de campo	21
2.3.3 Punto de marchitez	21
2.3.4 Humedad aprovechable del suelo.....	22
2.3.5 Lámina de riego	22
2.3.6 Características del agua en el suelo.....	23
3. MATERIALES Y METODOS.....	26
3.1. Localización	26
3.2 Materiales, equipos y reactivos utilizados en la investigación	26
3.3. Metodología	27
3.3.1 Variables evaluadas en cultivo de banano.....	27
3. RESULTADOS	33
4. DISCUSION	49
6. RECOMENDACIONES.....	52
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplos de valores de las características del agua del suelo para diversas texturas del suelo.....	25
Tabla 2. Materiales, equipos y reactivos utilizados en la investigación.....	26
Tabla 3. Métodos de medición en las propiedades físicas.	27
Tabla 4. Estadísticos descriptivos propiedades físicas del suelo.....	33
Tabla 5. Correlación entre las propiedades físicas y químicas del suelo.....	42
Tabla 6. Correlación entre las variables de estudio	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de Estudio.....	26
Figura 2. Densidad aparente.	28
Figura 3. Densidad real.....	29
Figura 4. Determinación de textura	31
Figura 5. Pluviometría del estudio.....	35
Figura 6. Diagrama de caja para humedad volumétrica por semanas	37
Figura 7. Diagrama de caja para humedad volumétrica por unidad de estudio	39
Figura 8. Diagrama de caja para humedad volumétrica por profundidad de muestreo	41
Figura 9. Densidades del suelo	45
Figura 10. Textura del suelo	46
Figura 11. Porosidad del suelo	48

RESUMEN

Esta investigación examina el efecto de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua en zonas aluviales de uso agrícola en la finca "Pedro Ramos" situada en la parroquia La Victoria, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro, Ecuador. El objetivo es evaluar cómo la densidad aparente, densidad real, conductividad eléctrica (CE), pH y textura del suelo afectan la retención de agua y, en consecuencia, la productividad del cultivo de banano. Para alcanzar los objetivos del estudio, se utilizó una metodología integral que incluyó la localización, el diseño de investigación, y la recolección de datos tanto en campo como en laboratorio y equipos como GPS, medidor multiparamétrico Imacimus 10 y potenciómetro. La investigación comenzó con el levantamiento topográfico de la finca utilizando GPS, y los datos fueron procesados con AutoCAD (2019) para crear un plano conforme a las normativas del MAG. El estudio adoptó un enfoque observacional descriptivo, sin grupo control, para describir y medir las variables durante un breve período. Las variables evaluadas en el cultivo de banano incluyeron la altura del hijo, número de hojas, peso de manos y raquis, número de dedos, humedad volumétrica, y nitratos. Los resultados revelaron que la densidad aparente y la densidad real mostraron distribuciones asimétricas, con medias menores que las medianas, reflejando una variabilidad en las propiedades físicas del suelo que afecta la retención de agua y nutrientes. La baja desviación estándar en la densidad aparente y la variabilidad moderada en la densidad real indican una homogeneidad relativa y diferencias en la composición del suelo, respectivamente. La conductividad eléctrica presentó baja variabilidad, sugiriendo una distribución uniforme de sales, mientras que el pH mostró baja variabilidad, indicando suelos bien manejados. La textura del suelo presentó una alta variabilidad, lo que impacta su capacidad para retener agua y nutrientes. La pluviometría diaria mostró una distribución irregular, con picos en junio y febrero, lo cual es crucial para la planificación agrícola. La humedad volumétrica del suelo mostró variabilidad a lo largo de 10 semanas, con valores atípicos altos en algunas semanas, lo que sugiere problemas de riego inconsistente. La correlación negativa entre densidad aparente y porosidad sugiere que suelos más densos tienen menor porosidad, mientras que la porosidad efectiva tiene una relación importante con el pH. El estudio concluye que las propiedades físicas del suelo influyen significativamente en la retención de agua y la productividad agrícola. Se recomienda un monitoreo constante de estas propiedades, la implementación de sensores de humedad del suelo, y el ajuste de las prácticas de riego para asegurar una distribución uniforme del agua. También se debe mejorar la textura del suelo mediante la adición de materia orgánica y ajustar las actividades agrícolas basadas en datos de pluviometría. Además, se sugiere desarrollar estrategias para optimizar la retención de agua y continuar investigando las correlaciones entre las propiedades del suelo y su impacto en la retención de agua y nutrientes.

Palabras clave: Retención de agua, propiedades físicas del suelo, pluviometría

SUMMARY

This research examines the effect of the physical properties of the soil on the water content in alluvial areas for agricultural use on the "Pedro Ramos" farm located in the La Victoria parish, Santa Rosa canton, El Oro province, Ecuador. The objective is to evaluate how apparent density, real density, electrical conductivity (EC), pH and soil texture affect water retention and, consequently, the productivity of the banana crop. To achieve the objectives of the study, a comprehensive methodology was used that included location, research design, and data collection both in the field and in the laboratory and equipment such as GPS, Imacimus 10 multiparametric meter and potentiometer. The investigation began with a topographical survey of the property using GPS, and the data was processed with AutoCAD (2019) to create a plan in accordance with MAG regulations. The study adopted a descriptive observational approach, without a control group, to describe and measure the variables over a short period. The variables evaluated in the banana crop included the height of the offspring, number of leaves, weight of hands and rachis, number of fingers, volumetric humidity, and nitrates. The results revealed that the apparent density and the true density showed asymmetric distributions, with means less than the medians, reflecting a variability in the physical properties of the soil that affects the retention of water and nutrients. The low standard deviation in bulk density and moderate variability in true density indicate relative homogeneity and differences in soil composition, respectively. Electrical conductivity presented low variability, suggesting a uniform distribution of salts, while pH showed low variability, indicating well-managed soils. The texture of the soil presented a high variability, which impacts its ability to retain water and nutrients. Daily rainfall showed an irregular distribution, with peaks in June and February, which is crucial for agricultural planning. Volumetric soil moisture showed variability over 10 weeks, with high outliers in some weeks, suggesting inconsistent irrigation issues. The negative correlation between apparent density and porosity suggests that denser soils have lower porosity, while effective porosity has an important relationship with pH. The study concludes that the physical properties of the soil significantly influence water retention and agricultural productivity. Constant monitoring of these properties, implementation of soil moisture sensors, and adjustment of irrigation practices to ensure uniform water distribution are recommended. Soil texture should also be improved by adding organic matter and agricultural activities should be adjusted based on rainfall data. Furthermore, it is suggested to develop strategies to optimize water retention and continue investigating the correlations between soil properties and their impact on water and nutrient retention.

Keywords: water retention, soil physical properties, pluviometry.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo eficiente del agua en zonas agrícolas es crucial para garantizar la productividad y sostenibilidad de los cultivos (Tarazona-Meza, 2023). En áreas aluviales, como el sector El Paraíso, ubicado en la parroquia La Victoria, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro, la disponibilidad de agua en el suelo juega un papel fundamental en el desarrollo de la agricultura. Sin embargo, el contenido de agua en estas zonas puede estar influenciado por diversas propiedades físicas del suelo, como la textura, la estructura, porosidad y la capacidad de retención hídrica (Bencomo et al., 2018). La incidencia de cómo estas propiedades, afectan el contenido de agua en el suelo, es crucial para optimizar las prácticas de riego y manejo del suelo en este entorno agrícola específico.

Investigaciones previas han demostrado la importancia de considerar las propiedades físicas del suelo en la gestión del agua en sistemas agrícolas. Estudios como el realizado por Abdallah et al. (2021) en zonas donde el suelo se formó de acumulaciones aluviales, han destacado la relación entre la textura de este y la capacidad de retención de agua, así como su impacto en la disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas. Además, investigaciones llevadas a cabo por Chandrasekhar et al. (2018) han explorado, cómo la estructura del suelo influye en la velocidad de infiltración y distribución del agua en zonas de suelos aluviales, lo que puede tener implicaciones significativas en el rendimiento de los cultivos y la eficiencia del riego. En este contexto, comprender el efecto de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua en zonas aluviales de uso agrícola, se presenta como un área de investigación clave para mejorar la gestión del agua y la productividad agrícola en esta región

En las zonas aluviales de uso agrícola en el Rio Buenavista, la gestión eficiente del agua en el suelo es esencial para el desarrollo óptimo de los cultivos y la sostenibilidad agrícola. En esta región (parroquia La Victoria), Canto Santa Rosa, Ecuador), los recursos hídricos son un factor limitante para la producción agrícola, entender cómo las propiedades físicas del suelo afectan el contenido de agua se vuelve crucial para maximizar la eficiencia en el uso del agua y mejorar la productividad agrícola (Ullah et al., 2019).

Investigaciones previas en zonas aluviales han destacado la importancia de considerar las propiedades físicas del suelo en relación con el contenido de agua. Por ejemplo, estudios realizados por (Minasny y McBratney, 2018) han demostrado que la

textura del suelo influye significativamente en la capacidad de retención de agua, afectando así la disponibilidad hídrica para las plantas. Además, investigaciones llevadas a cabo por Rabot et al. (2018) han explorado cómo la estructura del suelo puede influir en la distribución espacial del agua y su movimiento a través del perfil del suelo, lo que tiene implicaciones directas en el diseño de sistemas de riego y en la eficiencia del uso del agua en la agricultura.

En el contexto, en Ecuador la gestión de las propiedades físicas del suelo en zonas aluviales de uso agrícola se convierte en un elemento crucial para enfrentar los desafíos agrícolas y garantizar la seguridad alimentaria en el país. Aunque se han realizado investigaciones significativas en esta área, su alcance y extensión aún son limitados y pueden requerir una mayor consolidación y difusión para maximizar su impacto y aplicación práctica. Ecuador, como uno de los países líderes en la producción y exportación de productos banano, reconoce la importancia de promover prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. La necesidad urgente de encontrar métodos alternativos y sostenibles para el manejo de enfermedades y la gestión de recursos naturales, como el agua y el suelo, se ha vuelto una prioridad en la agenda agrícola del país (García et al., 2019).

Por otra parte, nace la imperiosa necesidad de conocer, como influye las propiedades físicas de los suelos aluviales en la capacidad de retener el agua en el suelo y su efecto en la rentabilidad del cultivo de banano, habiéndose planteado los siguientes objetivos en este trabajo de investigación.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Evaluar el impacto de las propiedades físicas del suelo en el contenido de agua en zonas aluviales de uso agrícola en el Rio Buenavista, sector El Paraíso, parroquia La Victoria, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro, Ecuador.

2.2. Específicos

1. Caracterizar las propiedades físicas del suelo, incluyendo la textura, estructura, y capacidad de retención hídrica, en las zonas aluviales de estudio.
2. Determinar la relación entre las propiedades físicas del suelo y el contenido de agua en diferentes profundidades del perfil del suelo en las áreas aluviales evaluadas.
3. Evaluar el efecto de prácticas de manejo agrícola, como el riego y la aplicación de fertilizantes, en la distribución y disponibilidad de agua en el suelo en las zonas aluviales seleccionadas.

II MARCO TEÓRICO

Las propiedades físicas del suelo son fundamentales para entender su capacidad de retención y transmisión de agua, así como para determinar su aptitud agrícola. Estas propiedades incluyen la textura, la estructura, la densidad aparente, la porosidad, y la capacidad de campo, entre otras. Cada una de estas características influye directamente en el comportamiento del suelo frente al agua, especialmente en zonas aluviales donde la variabilidad en las condiciones físicas puede ser significativa.

Las zonas aluviales presentan una gran diversidad en las características del suelo debido a la deposición de materiales por los ríos. Estos suelos suelen tener una textura variable que influye directamente en la capacidad de retención de agua y, por ende, en la productividad agrícola (Bouwer, 1978). En estas zonas, la comprensión de la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo es esencial para la implementación de estrategias de riego adecuadas que maximicen la eficiencia del uso del agua y aseguren la sostenibilidad de los cultivos (Sharma et al., 2006).

Diversos estudios han investigado la relación entre las propiedades físicas del suelo y el contenido de agua en diferentes contextos agrícolas. Por ejemplo, Dexter (2004) y Bronick & Lal (2005) han destacado la importancia de la estructura del suelo en la retención de agua, mientras que Hillel (2004) ha explorado la capacidad de campo como un factor determinante en la gestión del agua en suelos agrícolas. Estos estudios proporcionan una base sólida para entender cómo las propiedades físicas del suelo influyen en el contenido de agua en zonas aluviales y cómo estas interacciones pueden ser gestionadas para mejorar la productividad agrícola.

2.1 Propiedades físicas del suelo

La calidad del suelo es determinada por sus propiedades físicas, estas incluyen la densidad aparente, porosidad y retención de agua, las mismas que determinan su capacidad de retener agua y nutrientes. Estas propiedades físicas del suelo también pueden influir en el movimiento del agua y nutrientes hacia la rizosfera, al igual que la acción de los organismos del suelo (Haruna et al., 2020). De acuerdo con (Urriola, 2020) otros aspectos en los que influyen las propiedades físicas del suelo son la facilidad para que las raíces penetren el suelo y la aireación

2.1.1 Textura del suelo

Según Xia et al., (2020) un componente fundamental para la investigación del suelo es la textura, esta permite evaluar tanto el potencial como las limitaciones para uso y manejo de la tierra, por lo que es considerado como un predictor importante de diferentes procesos del suelo. Esta variable revela la cantidad de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo (Echeverría et al., 2023).

La propiedad física de mayor importancia del suelo es la textura, esta establece la capacidad de conservación de agua, la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo de los cultivos; conocer su distribución espacial es fundamental para la programación y manejo de cultivos (Dharumarajan & Hegde, 2022).

2.1.2 Densidad aparente

Una de las propiedades físicas del suelo de mayor importancia es la densidad aparente, debido a que a partir de ella es posible establecer otras propiedades, además de otros cambios a los que es constantemente sometida, por el asentamiento del suelo después de la remoción, por la compactación como consecuencia de cambios en la porosidad o debido al peso de las láminas de riego aplicadas (Cid et al., 2021).

De acuerdo con Salazar et al., (2020), se define a la densidad aparente como la relación de la masa de suelo seco por unidad de volumen del mismo (g.cm^{-3} o Mg.m^3). La propiedad del suelo se incrementa con la profundidad en la mayoría de los suelos, por el peso del material superficial y por el manejo del suelo; constituye una de las determinaciones de mayor uso mundial para valorar la calidad del suelo.

2.1.3 Estructura del suelo

La estructura del suelo constituye la capacidad de la masa de suelo para disgregarse sola en diferentes formas y tamaños; esto se puede valorar por medio de la estabilidad de los agregados, esta variable influye en la movilidad del agua y la conservación hídrica, drenaje, aireación, penetración de las raíces, ciclo de nutrientes y beneficio del cultivo (Echeverría et al., 2023). De la estructura del suelo dependen sus propiedades hidráulicas por lo que pueden restringir la absorción de agua por parte de las plantas (Pauwels et al., 2023).

De acuerdo con Bedano et al. (2022), la estructura es una propiedad muy importante del suelo, la forman la agrupación de compuestos orgánicos e inorgánicos, que

forman los espacios porosos, regulan el almacenamiento y el flujo de agua y aire en el perfil del suelo, regulan la resistencia a la erosión, el desarrollo de las raíces vegetales y, de manera particular, el hábitat utilizable en la biología del suelo.

La estructura del suelo se puede evaluar de manera indirecta mediante varios análisis físicos, entre estos: la densidad aparente, la estabilidad de agregados, la porosidad, entre otros (Marín & Villatoro, 2023).

2.1.4 Infiltración

Según Villalba et al., (2021), existen diferentes servicios ambientales suministrados por el suelo que sobresalen por la importancia que tienen para la supervivencia humana, uno de estos es la infiltración de agua, parte del ciclo hidrológico. La infiltración constituye el proceso por medio del cual el agua penetra en el suelo, es fundamental en diferentes aspectos y motivo de preocupación en diferentes áreas de conocimiento como la hidrología, la geología, la agricultura, la ingeniería geotécnica, entre otras (Cheng et al., 2021).

La velocidad con la que el agua penetra en el suelo se define por su velocidad de infiltración, la misma que disminuye con el tiempo, conforme se van rellenando los poros del suelo, en este proceso intervienen algunas variables, las cuales que dependen de las circunstancias iniciales de humedad, textura y estructura del suelo; los suelos con textura gruesa presentan mayor velocidad de infiltración en comparación con los suelos de textura fina e irá reduciendo con el incremento del volumen de agua retenida en el suelo y se llegue al estado de capacidad de campo (Ávila et al., 2020).

De acuerdo con Döbert et al., (2021), un objetivo importante de gestión agrícola es la conservación de la función hidrológica de las tierras, esto hace posible sostener la producción agrícola durante las etapas de bajo abastecimiento de humedad, proteger bienes y servicios ecosistémicos y generar resiliencia frente a un clima más cálido. Kubát et al., (2024) explica que el volumen de agua inicial desempeña un papel fundamental en la descripción de un solo acontecimiento de escorrentía, en conjunto con otros factores como la altura de succión, macroporosidad, la materia orgánica presente, la temperatura, la estructura del suelo y la proporción de la lluvia.

Según Pahlavan-Rad et al. (2020), conocer el volumen y variación espacial de la infiltración en el suelo es importante para la gestión ambiental y agrícola, especialmente

en las tierras áridas, donde hay escasas precipitaciones, por lo que se requieren sistemas de riego para la producción agrícola.

2.1.4.1 Factores que influyen en la infiltración

Entre los principales factores que controlan la infiltración del agua en el suelo se encuentran el volumen, la distribución y la geometría del espacio poroso del suelo, el mismo que se ve afectado por la materia orgánica presente en el suelo, su textura, mineralogía y densidad aparente (Pahlavan-Rad et al., 2020).

Según Zhang et al., 2021), uno de los factores fundamentales en el control de la infiltración de agua, la vaporización y acumulación en el suelo, características hidráulicas de la superficie del suelo, que afectan a su vez la evolución de la estructura de los poros del suelo, principalmente en suelos desérticos.

Un factor importante que afecta la infiltración de agua en el suelo es la cantidad de riego, las particularidades de la precipitación, la capacidad de contención del dosel, al igual que las características hidráulicas del suelo; de manera general, al momento que cae la lluvia y como consecuencia del bajo volumen de agua inicial en el suelo, gran parte de esta agua se infiltra en el suelo para convertirse en agua del suelo; conforme se incrementa la infiltración en el suelo, el agua presente se satura de forma gradual y la tasa de infiltración también se vuelve menor con relación a la intensidad de la lluvia (Liao et al., 2021).

Otro factor que puede tener influencia en el proceso de infiltración de agua en el suelo son las biocostras del suelo, es decir, comunidades de organismos que habitan en la superficie del suelo, estas se encuentran principalmente en terrenos arenosos y se encuentran cubriendo aproximadamente el 12% de la superficie de la tierra; estas afectan el proceso hidrológico debido a que inhiben la infiltración inicial del agua, al igual que el intercambio que se produce en la capa superior del suelo (Cui et al., 2021).

2.2 Calidad del suelo

Una herramienta de evaluación que hace más fácil la puesta en marcha de las prácticas de manejo adecuadas para sistemas agronómicos sostenibles es la calidad del suelo, esto es posible gracias a los indicadores de calidad, los cuales pueden ser físicos, químicos o biológicos, estos posibilitan tener una visión de los diferentes niveles de degradación del suelo (Barrera et al., 2020).

Se define a la calidad del suelo como la capacidad del suelo para mantener los niveles de productividad de los cultivos y de las especies animales, conservar la calidad del agua y del aire, al igual que sustentar la salud y la vivienda del ser humano (Teng et al., 2024). Por otra parte, la calidad del suelo es definida generalmente como la capacidad que tiene el suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema con la finalidad de sostener los niveles de productividad biológica, conservar la calidad del ambiente y promover la salud vegetal y animal (Zhu et al., 2024).

De acuerdo con López et al. (2021), la calidad del suelo es utilizada en la actualidad con la finalidad de facilitar estrategias y operaciones para la explotación y preservación del sistema suelo, este tipo de análisis permite concebir de manera exhaustiva la dependencia entre sus parámetros físicos, químicos y biológicos y así (López et al., 2021); entender los niveles de degradación o mejoría del suelo en diferentes sistemas agropecuarios, favoreciendo de esta manera la toma de decisiones y prácticas de gestión sostenible.

Según Xia et al., (2020) un componente fundamental para la investigación del suelo es la textura, esta permite evaluar tanto el potencial como las limitaciones para uso y manejo de la tierra, por lo que es considerado como un predictor importante de diferentes procesos del suelo. Esta variable revela la cantidad de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo (Echeverría et al., 2023).

La propiedad física de mayor importancia del suelo es la textura, esta establece la capacidad de conservación de agua, la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo de los cultivos; conocer su distribución espacial es fundamental para la programación y manejo de cultivos (Dharumarajan & Hegde, 2022).

2.3 Capacidad de retención hídrica

La capacidad de retención de agua por parte del suelo es una propiedad importante de las particularidades hidráulicas del suelo y se indica mediante una curva de conservación de agua. Las características de retención de agua por parte del suelo constituyen los efectos incorporados de la estructura, textura y densidad aparente del suelo (Gan et al., 2019).

De acuerdo con Ekanem, (2020), la capacidad de retención de agua del suelo constituye una propiedad hidráulica fundamental que puede afectar la productividad del

suelo y el medio ambiente. Cuando el suelo presenta una gran capacidad para retener agua puede ocasionar inundaciones, perjudicando de esta manera los cultivos.

2.3.1 Contenido de humedad gravimétrica

Se define al contenido de humedad gravimétrica como la porción del volumen de agua existente en el suelo seco explicado en forma de porcentaje, para calcularla se debe establecer la diferencia entre el peso en gramos de la muestra en estado húmedo y seco (Pieris & Chathuranga, 2020). Según Birkeland et al. (2024), este método tiene en cuenta los siguientes supuestos: que el agua es totalmente eliminada por medio del secado, que lo único que se elimina es agua y que no se afecta otra porción del material durante la fase de cálculo.

De acuerdo con Mojica et al. (2022), manifiestan que las modificaciones de este factor en los horizontes del subsuelo, al igual que las diferencias obtenidas en el porcentaje de resistividad estimado son de gran utilidad para establecer el impacto ocasionado por la lluvia en los suelos. Tanto el volumen como la calidad del agua disponible en el suelo permiten establecer la productividad de los cultivos agrícolas (Ogwo et al., 2020).

2.3.2 Capacidad de campo

La capacidad de campo constituye la capacidad máxima de conservación de agua por parte del suelo luego que el agua superficial ha sido drenada, es decir, el volumen de agua que el suelo está en capacidad de retener en contra de la gravedad; se la considera como una variable concluyente tanto para la producción como para la sostenibilidad de los cultivos (Lince, 2021).

2.3.3 Punto de marchitez

El punto de marchitez permanente (PMP) es el contenido mínimo de agua en el suelo en el cual las plantas ya no pueden extraer suficiente agua para satisfacer sus necesidades fisiológicas, lo que provoca marchitamiento irreversible y, eventualmente, la muerte de la planta. Este punto es crucial para la gestión del riego y la sostenibilidad de los cultivos, ya que representa el límite inferior de humedad que las plantas pueden tolerar antes de que su crecimiento y desarrollo se vean gravemente comprometidos (Lince, 2021).

2.3.4 Humedad aprovechable del suelo

La humedad aprovechable del suelo es posible de estimar partiendo de las curvas de conservación de humedad que tiene el suelo y constituye un factor concluyente al momento de diseñar e implementar un sistema de riego; la humedad debe estar disponible en el suelo en un 85% de la capacidad de campo, esto acrecienta el rendimiento del cultivo (Aguilar, 2020). La eficiencia en el uso del agua ayuda al óptimo desarrollo de un cultivo, se debe al agua que está disponible para que el cultivo la pueda aprovechar, esto se debe a que el agua que se utiliza en las actividades agrícolas equivale aproximadamente a dos tercios de toda el agua que se usa en el mundo, este porcentaje generalmente es superior en las zonas áridas y semiáridas que presentan fuerte desarrollo agrícola (Flores, 2022).

2.3.5 Lámina de riego

La lámina de riego constituye el volumen determinado de agua que se necesita utilizar para su aplicación en el suelo, el mismo que servirá para satisfacer los requerimientos del cultivo; esto va a depender de la capacidad del almacenamiento de agua y de la profundidad que tengan las raíces; en lo que respecta a sus unidades de medida, estas generalmente se expresan en milímetros o centímetros (Marín, 2021).

Cabrera (2023) manifiesta que por medio de la lámina de riego es posible expresar el volumen del agua presente en el suelo medido en su altura, es decir, el volumen de agua por unidad de superficie en altura; esta lámina va a depender de la profundidad efectiva que tengan las raíces del cultivo a irrigar. Su cálculo resulta del producto entre la humedad volumétrica y la profundidad considerada

Con la finalidad de garantizar una lámina de agua aprovechable para el cultivo, se debe conocer tanto los puntos de capacidad de campo como la marchitez permanente del cultivo, los cuales se obtienen tomando en cuenta las curvas de conservación de humedad, estas pueden ser diferentes de acuerdo con las características del suelo y su textura principalmente; las fuerzas por medio de las cuales el agua aprovechable por las plantas es conservada tienen relación con fenómenos físicos como la adhesión y cohesión (Gavilánez, 2020).

Con la finalidad de garantizar una lámina de agua aprovechable para el cultivo, se debe conocer tanto los puntos de capacidad de campo como la marchitez permanente del cultivo, los cuales se obtienen tomando en cuenta las curvas de conservación de humedad, estas pueden ser diferentes de acuerdo con las características del suelo y su textura

principalmente; las fuerzas por medio de las cuales el agua aprovechable por las plantas es conservada tienen relación con fenómenos físicos como la adhesión y cohesión (Gavilánez, 2020).

2.3.6 Características del agua en el suelo

Las características del agua en el suelo, como la capacidad de campo (θ_{fc}) el punto de marchitez permanente (θ_{wp}), y el contenido de agua disponible (AWC), son fundamentales para entender la dinámica hídrica en distintos tipos de suelos y su influencia en la agricultura. La capacidad de campo (θ_{fc}) es un valor crítico que representa la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener una vez que el agua gravitacional ha drenado. Este valor es esencial para determinar cuánta agua estará disponible para las plantas, ya que es un reflejo directo de la capacidad del suelo para mantener la humedad necesaria para el crecimiento vegetal (Hillel, 1998).

El punto de marchitez permanente (θ_{wp}) es otro parámetro clave que indica el contenido de agua en el suelo cuando las plantas ya no pueden extraer agua suficiente para satisfacer sus necesidades, resultando en marchitez. Este punto marca el límite inferior del agua útil para las plantas y es un indicador importante para la gestión del riego, ya que ayuda a prevenir condiciones de estrés hídrico en los cultivos (Lal & Shukla, 2004).

El contenido de agua disponible (AWC), que se calcula como la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, representa la cantidad de agua en el suelo que las plantas pueden utilizar (Brady & Weil, 2010). Este valor es crucial para planificar el riego de manera eficiente, ya que proporciona una estimación de cuánta agua está realmente disponible para el crecimiento de las plantas entre riegos.

Por ejemplo, en suelos de textura Sandy Clay Loam, se observa que la capacidad de campo (θ_{fc}) es de 0.26, mientras que el punto de marchitez permanente (θ_{wp}) es de 0.13, lo que resulta en un contenido de agua disponible (AWC) de 0.13. Esto sugiere que, aunque este suelo puede retener una cantidad moderada de agua, también libera agua rápidamente, lo que podría requerir riegos más frecuentes en comparación con suelos de texturas más finas (Rawls et al., 1982).

En contraste, suelos como Silty Clay Loam muestran una mayor capacidad de retención de agua (θ_{fc} de 0.39) y un punto de marchitez relativamente alto (θ_{wp} de 0.21), lo que da lugar a un AWC de 0.18. Estos suelos tienen una capacidad significativa para almacenar agua, lo que podría ser ventajoso en zonas con precipitaciones irregulares o durante periodos de sequía, permitiendo un mejor soporte hídrico para las plantas (Saxton & Rawls, 2006).

En otras palabras, la comprensión de estos parámetros y sus variaciones según la textura del suelo es vital para optimizar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, lo que a su vez contribuye a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, especialmente en zonas aluviales donde las características del suelo pueden variar considerablemente debido a los procesos naturales de deposición y erosión.

La tabla 1, presenta diferentes tipos de textura de suelo, junto con tres parámetros clave que describen las propiedades hídricas de cada uno: el contenido de agua en capacidad de campo (θ_{fc}), el contenido de agua en punto de marchitez permanente (θ_{wp}), y la capacidad de almacenamiento de agua (AWC, por sus siglas en inglés). Estos valores permiten entender cómo se comporta el agua en el suelo, lo cual es fundamental para la agricultura y la gestión del riego.

El contenido de agua en capacidad de campo (θ_{fc}) representa el porcentaje del volumen del suelo que está lleno de agua después de que el exceso ha sido drenado por gravedad, pero antes de que el agua comience a evaporarse o a ser absorbida por las plantas. El contenido de agua en punto de marchitez permanente (θ_{wp}) indica el porcentaje del volumen del suelo lleno de agua cuando las plantas ya no pueden extraer suficiente agua, lo que las lleva a marchitarse. Por último, la capacidad de almacenamiento de agua (AWC) se calcula como la diferencia entre θ_{fc} y θ_{wp} , y representa la cantidad de agua disponible para las plantas.

El Sandy Loam es un tipo de suelo que destaca por su capacidad de retención de agua moderada. Tiene un valor de θ_{fc} de 0.22, lo que significa que el 22% del volumen del suelo está lleno de agua en capacidad de campo. Su valor de θ_{wp} es de 0.10, indicando que el 10% del volumen del suelo está lleno de agua cuando las plantas comienzan a marchitarse. La capacidad de almacenamiento de agua (AWC) es de 0.12, lo que sugiere que el 12% del volumen del suelo es agua disponible para las plantas.

En otras palabras, el Sandy Loam es un suelo que drena relativamente rápido después de la lluvia o el riego, lo que lo hace adecuado para cultivos que necesitan un buen equilibrio entre drenaje y retención de humedad. Su capacidad de almacenamiento de agua es moderada, proporcionando suficiente agua para el crecimiento de las plantas sin causar saturación.

Tabla 1. Ejemplos de valores de las características del agua del suelo para diversas texturas del suelo

Soil Texture	θ_{fc}	θ_{wp}	AWC
Sandy Clay Loam	0.26	0.13	0.13
Loamy Clay	0.35	0.19	0.16
Silty Clay	0.42	0.24	0.18
Loamy Sand	0.18	0.08	0.10
Clay Loam	0.34	0.20	0.14
Sandy Loam	0.22	0.10	0.12
Silt Loam	0.32	0.14	0.18
Silty Loam	0.40	0.22	0.18
Silty Clay Loam	0.39	0.21	0.18

(Informacion Uva de Mesa Juan C. Brignardello, 2017)

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización

El estudio se realizó en la finca “pedro Ramos”, ubicada en la parroquia la victoria del cantón Santa Rosa de la provincia de El Oro. (Figura1)

Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Este situado en las siguientes coordenadas:

Latitud: 86° 29' 55.58" N

Longitud: 62°22'34.01"W

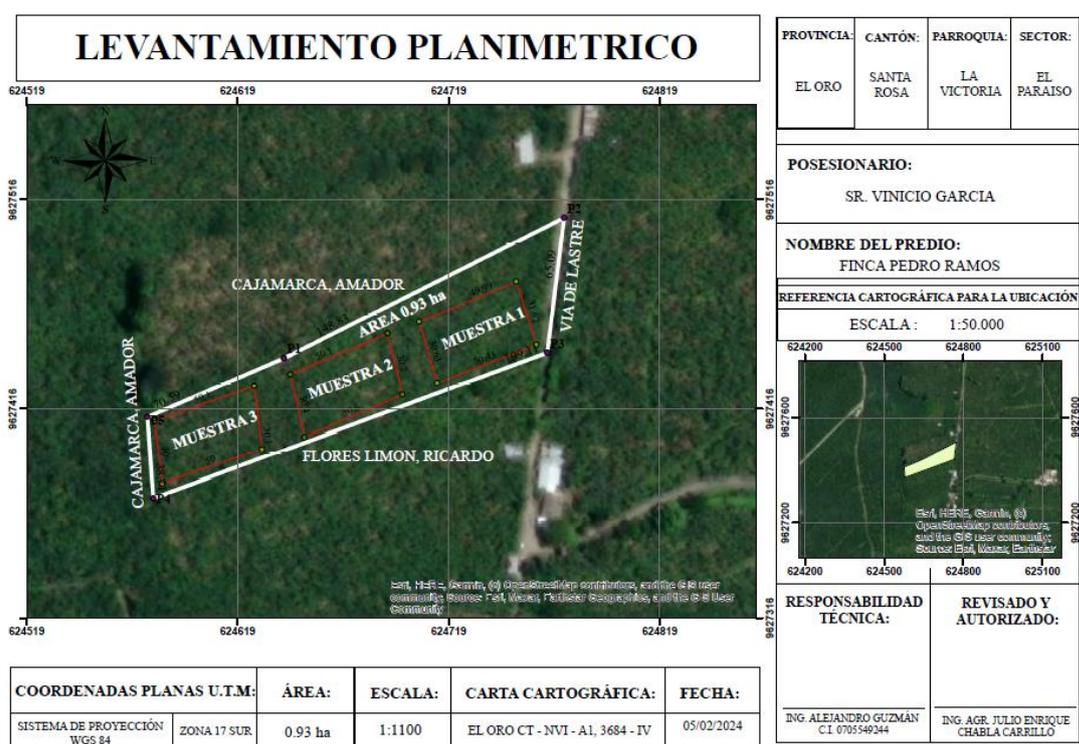


Figura 1. Ubicación de la zona de Estudio

3.2 Materiales, equipos y reactivos utilizados en la investigación

Tabla 2. Materiales, equipos y reactivos utilizados en la investigación

Materiales	Equipos	Reactivos
Palas	Estufa	Agua destilada
Cilindros de hierro Galvanizado	Gps	Oxalato de sodio
Cinta métrica	Medidor multiparametro Imacimus 10	
Barreno	Potenciómetro	
Fundas plásticas, etiquetas	ArcMap versión 10.8	

3.3. Metodología

3.3.1 Variables evaluadas en cultivo de banano.

Altura del hijo (cm)

Numero de hojas

Peso de manos (lb)

Peso de raquis (lb)

Numero de dedos

Humedad volumétrica ($\Theta_v\%$)

Nitratos

3.4.1. Diseño de la investigación

Se realizó el levantamiento topográfico de la finca “Pedro Ramos” mediante el uso de GPS. Después, se procesaron los datos recopilados y se creó el plano de la finca con el software AutoCAD (2019), garantizando el cumplimiento de todas las normativas establecidas por el MAG.

Se llevó a cabo un estudio observacional descriptivo que consistió en describir y medir un grupo de variables durante un breve período de tiempo sin la necesidad de un grupo control.

Se establecieron 3 unidades de muestreo que consiste en elegir 10 plantas prontas al azar en cada unidad, teniendo una cantidad de 30 plantas en total.

Para la recolección de datos comenzamos con la medida de altura del hijo y el conteo de número de hojas de la planta madre.

Se utilizó el barreno para tomar muestras de suelo en diferentes profundidades (5-10 cm, 20-25 cm, 35-40 cm). Las muestras seleccionadas se llevaron al laboratorio de suelos ubicada en la facultad de Ciencias Agropecuarias para su análisis. Se pesaron y se llevaron las muestras al horno a 105 °C durante 24 horas para eliminar la humedad.

Propiedades físicas y químicas del suelo.

Las propiedades físicas y químicas del suelo las realizamos en el laboratorio de la facultad de ciencias agropecuarias. (Tabla 3)

Tabla 3. Métodos de medición en las propiedades físicas.

Parámetros	Método a utilizar
Densidad Aparente (g cm^3)	Cilindro galvanizado
Densidad Real (g cm^3)	Picnómetro
Textura	Bouyoucos
Potencial de hidrogeno (pH)	Potenciómetro
Conductividad Eléctrica (dS m^{-1})	Potenciómetro

Fuente: Elaboración propia.

Densidad aparente (d_a)

Para determinar la densidad aparente de una muestra de suelo, se utilizó un cilindro metálico como herramienta principal para obtener un volumen específico del suelo. Este cilindro fue cuidadosamente insertado en el suelo para extraer una muestra de volumen conocido. Posteriormente, en el laboratorio, la muestra húmeda, junto con el cilindro, fue pesada (Figura 2), registrando el peso total. A continuación, la muestra fue colocada en una estufa a una temperatura constante de 105°C durante 24 horas (Figura 3) para eliminar completamente la humedad presente en el suelo. Una vez transcurrido el tiempo de secado, se midió el peso de la muestra seca y el peso del cilindro vacío por separado. Con estos datos, se procedió a calcular la densidad aparente del suelo, utilizando la siguiente ecuación:

$$d_a = \frac{m}{v}$$

Ecuación 1. Ecuación para determinar la densidad aparente.

Fuente: Sandoval et al. (2011).



Figura 2. Densidad aparente.

Densidad Real (D_r)

Para obtener la densidad real de una muestra, se siguió un procedimiento meticuloso que comenzó con el secado y tamizado de las muestras para asegurar la homogeneidad del material. Se pesaron con precisión 5 gramos de la muestra tamizada. Luego, se procedió a pesar un balón aforado de 50 ml en su estado seco, registrando su peso inicial. Posteriormente, se pesó el balón aforado lleno con agua destilada, a continuación, se introdujeron los 5 gramos de la muestra en el balón aforado, se añadió agua destilada y se agitó suavemente el balón hasta asegurarse de que no quedaran burbujas atrapadas. Luego, se continuó agregando agua destilada hasta alcanzar el aforo exacto del balón, y se procedió a pesar nuevamente el conjunto. Con estos datos, se pudo calcular la densidad real de la muestra utilizando la siguiente ecuación.

$$Dr = \frac{b - a}{(d - a) - (c - b)}$$

Ecuación 2. Ecuación para determinar la densidad real.

Fuente: Sandoval et al. (2011).

Donde:

b= Peso de balón + muestra de suelo

a= Peso de balón vacío

c= Peso de balón + suelo+ agua aforado

d= Peso del balón con agua aforado



Figura 3. Densidad real

Textura

Se comenzó pesando 40 gramos de suelo (TFSA), . Esta muestra se colocó en un vaso de precipitados con capacidad de 400 a 600 ml, al cual se le añadió agua destilada hasta llenarlo aproximadamente a la mitad de su volumen. A continuación, se agregaron 25 ml de un reactivo dispersante, como oxalato o hexametáfosfato de sodio, diseñado para romper los agregados del suelo y facilitar la dispersión de las partículas. La mezcla se agitó cuidadosamente con una varilla de vidrio para asegurar la integración del dispersante, y luego se dejó reposar durante 24 horas para garantizar la completa acción del reactivo.

Tras este periodo de reposo, la muestra fue transferida al vaso de un agitador mecánico, donde se agitó durante 3 minutos para asegurar la dispersión total de las partículas. Luego de la agitación, la suspensión obtenida se vertió completamente en un cilindro de sedimentación con la ayuda de una piceta, asegurando que todo el material se transfería al cilindro. Se añadió agua destilada al cilindro hasta alcanzar un volumen total de 1000 ml, y se agitó vigorosamente para disolver cualquier partícula de suelo que pudiera haber comenzado a sedimentarse. Una vez asegurada la dispersión uniforme, se introdujo

lentamente un hidrómetro en la suspensión, cuidando de no generar perturbaciones. La primera lectura de la densidad, marcada por el hidrómetro, se realizó a los 40 segundos después de que comenzó la sedimentación, capturando la concentración de partículas más grandes que sedimentaron rápidamente. Posteriormente, se realizó una segunda lectura a las 2 horas, tiempo durante el cual se sedimentaron las partículas más finas, y se registró también la temperatura de la suspensión, información crítica para la correcta interpretación de los resultados. Para determinar la textura del suelo utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$(\text{limo} + \text{arcilla})\% = \frac{[La_{40s} - ((20 - t_{a40s})x0,35)] - (Lb_{40s} - ((20 - tb_{40s})x0,35])}{m} x100$$

Ecuación 3. Ecuación para determinar el % de Limo + Arcilla.

Fuente: Sandoval et al. (2011).

Donde:

La_{40s} = lectura en g L⁻¹ de muestra a los 40 s.

Lb_{40s} = lectura en g L⁻¹ del blanco a los 40 s.

t_{a40s} = temperatura en °C de la muestra a los 40 s.

tb_{40s} =temperatura en °C del blanco a los 40 s.

0,35= factor de corrección por temperatura.

M = masa en g de muestra.

Calcular el contenido de arcilla, en % según:

$$(\text{arcilla})\% = \frac{[La_{2h} - ((20 - t_{a2h})x0,35)] - (Lb_{7h} - ((20 - tb_{7h})x0,35])}{m} x100$$

Ecuación 4. Ecuación para determinar el % Arcilla.

Fuente: Sandoval et al. (2011).

Donde:

La_{2h} = lectura en g L⁻¹ de muestra a los 40 s.

Lb_{2h} =lectura en g L⁻¹ del blanco a los 40 s.

t_{a2h} = temperatura en °C de la muestra a los 40 s.

tb_{2h} =temperatura en °C del blanco a los 40 s.

0.35= factor de corrección por temperatura.

m= masa en g de muestra.

Calcular el contenido de limo, en % según:

$$(\text{limo})\% = (\text{limo} + \text{arcilla}) - (\text{arcilla})$$

Ecuación 5. Ecuación para determinar el % de Limo.

Fuente: Sandoval et al. (2011).

Donde:

(limo + arcilla) = (limo + arcilla) % calculado

(Arcilla) = arcilla % calculado

Calcular el contenido de arena, en % según:

$$(\text{arena})\% = 100 - (\text{limo} + \text{arcilla})$$

Ecuación 6. Ecuación para determinar el % de Arena.

Fuente: Sandoval et al. (2011).

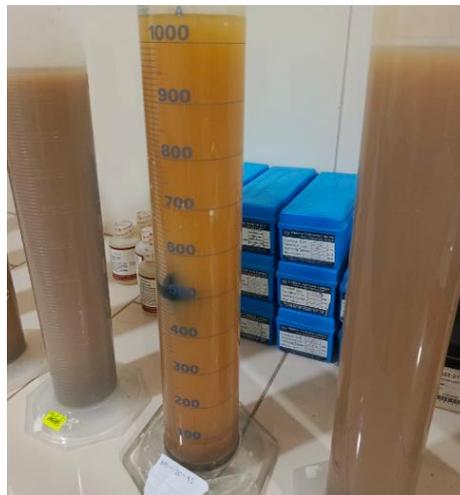


Figura 4. Determinación de textura

Potencial hidrogeno (pH)

Para medir el indicador de pH, se empleó el potenciómetro Hanna Instruments (HI98131). El procedimiento fue el siguiente:

Se preparó una solución saturada en una proporción de 1:2, mezclando una parte de suelo con dos partes de agua destilada. Esta mezcla se vertió en un recipiente de plástico adecuado para facilitar la agitación y el reposo de la solución. Luego, se agitó la mezcla durante 3 minutos para asegurar que el suelo y el agua estuvieran completamente integrados, permitiendo que los componentes del suelo interactuaran adecuadamente con el agua. Después de la agitación, la mezcla se dejó reposar durante 30 minutos, permitiendo que las partículas más pesadas del suelo se asentaran en el fondo y que el equilibrio de iones se estableciera en la solución. Finalmente, se procedió a medir el pH de la solución, proporcionando una indicación precisa de la acidez o alcalinidad del suelo en sus condiciones naturales.

Conductividad Eléctrica (C.E)

Los valores de conductividad eléctrica fueron medidos en una muestra de solución en una proporción de 1:2, utilizando un potenciómetro Hanna Instruments (HI98131), expresados en unidades de dS m^{-1} .

VARIABLES DE ESTUDIO

➤ **Humedad gravimétrica ($\Theta_v\%$)**

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\Theta_v\% = \Theta_g \times da$$

Ecuación 7. Ecuación para determinar contenido gravimétrico de agua en el suelo.

Fuente: Sandoval et al. (2011).

Donde:

Θ_g (%) = Contenido gravimétrico de agua en el suelo.

da = Densidad aparente.

Nitratos

Se pesó 10 gr de suelo seco tamizado y se colocó en un vaso de plástico, luego se agregaron 20 ml de agua destilada con el dispensador, se procedió a agitar las muestras y con la ayuda del Medidor multiparámetro Imacimus 10 pudimos obtener los datos de nitratos.

Altura de hijo

Con el fin de evaluar su crecimiento, se realizaron mediciones semanales de altura, empleando un flexómetro como instrumento de medición.

Numero de hojas

Se llevó a cabo un seguimiento semanal de número de hojas a las plantas prontas seleccionadas hasta llegar el día de su cosecha.

Peso de manos del racimo

Después de un período de 10 semanas, se realiza una verificación para determinar si el racimo ha alcanzado el grado de madurez necesario para la cosecha.

Peso de raquis

Cuando el racimo se cosecha se sacó todas las manos y se cortó el raquis a 15 cm de la última mano y 15 cm de la primera mano y se procedió a pesar el raquis.

Numero de dedos

Se contó el número de dedos de todas las manos que estaban en el racimo.

3. RESULTADOS

La Tabla 4, presenta los estadísticos descriptivos propiedades físicas del suelo, en donde se evidencia que la densidad aparente ($1,06 \text{ g cm}^{-3}$) muestra una distribución asimétrica, con una media menor que la mediana. La desviación estándar es relativamente alta (0,22), lo que sugiere que los datos están bastante concentrados alrededor de la media, y la diferencia entre los percentiles 25 y 75 indica una dispersión moderada en los valores.

La densidad real, también se observa una posible asimetría, con una media menor que la mediana. La moda reportada es el valor máximo, y la desviación estándar es moderada, lo que refleja cierta variabilidad en los datos. La dispersión entre los percentiles 25 y 75 es similar a la de la densidad aparente, mostrando una variabilidad moderada.

El potencial de hidrógeno (pH) muestra una baja variabilidad entre 7.6 a 7.74 esto quiere decir que es alcalino. Finalmente, la textura presenta una gran variabilidad, con una desviación estándar y varianza elevadas. La diferencia entre el percentil 25 y el percentil 75 es considerable, indicando una alta dispersión en los datos.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos propiedades físicas del suelo

		Densidad aparente (g cm^{-3})	Densidad real (g cm^{-3})	Conductividad eléctrica (CE) dS m^{-1}	Potencial de hidrógeno (pH)	Textura
N	Válido	9	9	9	9	36
	Perdidos	891	891	891	891	864
Media		1,0567	2,2181	0,3133	7,5356	46,0417
Mediana		1,1100	2,2730	0,3200	7,6000	42,5000
Moda		0,70 ^a	2,50	0,18 ^a	7,21 ^a	15,00 ^a
Desviación estándar		0,22237	0,31218	0,10283	0,16508	34,55004
Varianza		0,049	0,097	0,011	0,027	1193,705
Rango		0,65	0,83	0,30	0,53	85,00
Mínimo		0,70	1,67	0,18	7,21	2,50
Máximo		1,35	2,50	0,48	7,74	87,50
Percentiles	25	0,8550	1,9345	0,2150	7,4200	15,0000
	50	1,1100	2,2730	0,3200	7,6000	42,5000
	75	1,2350	2,5000	0,3950	7,6500	82,5000

La figura 5, presenta un gráfico de dispersión que ilustra la pluviometría diaria en milímetros (mm) a lo largo de los meses del año evaluados en el estudio. En el eje X se representan los días del mes, numerados del 1 al 31, mientras que en el eje Y se muestra la cantidad de lluvia medida en cada día específico. Cada punto en el gráfico indica la pluviometría de un día y está codificado por colores y símbolos que corresponden a diferentes meses, según se indica en la leyenda.

Se evidencia que la lluvia no se distribuye de manera uniforme a lo largo del mes y se observa claramente que hay días con mayor y menor cantidad de precipitación. Observando el gráfico, se nota que meses, como junio y febrero, tienen días con lluvias significativamente más altas que otros días del mismo mes, lo que indica una variabilidad notable en la cantidad de lluvia diaria en esos meses.

El mes de junio, representado por puntos naranjas, destaca con varios días de alta pluviometría, especialmente alrededor del día 20, donde se observa un pico de lluvia que supera los 35 mm. De manera similar, febrero, marcado por puntos amarillos, también muestra días con lluvias significativas, con algunos días que superan los 25 mm de precipitación, por lo tanto, en estos meses han presentado los periodos con lluvias más intensas dentro del rango de tiempo de estudio.

Por otro lado, meses como abril y marzo presentan una menor cantidad de precipitación, tanto así que abril, indicado por puntos verdes, tiene pocos registros de lluvia y generalmente baja pluviometría. En marzo, representado por puntos azul, casi todos los días tiene una pluviometría inferior a los 10 mm, lo que refleja que estos dos meses presentan una tendencia a ser más secos en comparación con los demás evaluados.

El gráfico también revela una variabilidad significativa en la cantidad de lluvia día a día dentro de cada mes, e incluso dentro de meses con alta precipitación, como junio y febrero, hay días sin lluvia o con lluvias muy ligeras. Esta variabilidad sugiere que, aunque algunos periodos pueden ser considerados lluviosos, la lluvia no es constante todos los días.

En resumen, el gráfico de pluviometría proporciona una visión detallada de cómo varía la cantidad de precipitación a lo largo del tiempo. Meses como junio y febrero tienen patrones de lluvias más intensas y frecuentes, con altos picos de precipitación en días específicos. En contraste, abril y marzo tienden a tener menor cantidad de lluvia. Esta información es valiosa para la planificación de actividades dependientes del clima, como la agricultura, la gestión de recursos hídricos y la preparación ante posibles inundaciones.

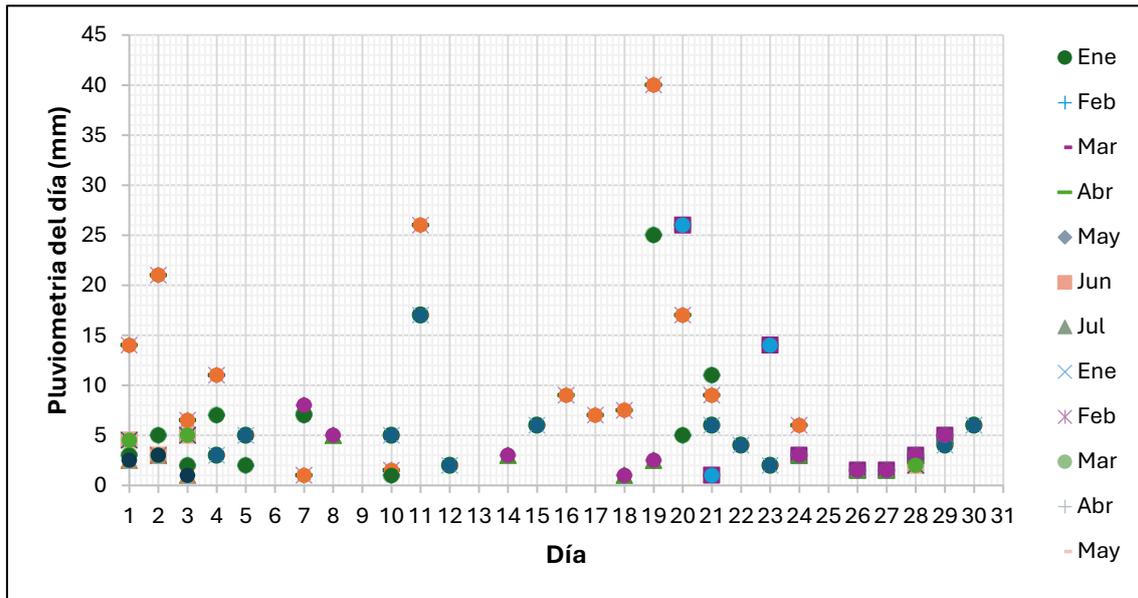


Figura 5. Pluviometría del estudio

La figura 6, de cajas y bigotes presentado, muestra la distribución de la humedad volumétrica ($\Theta_v\%$) del suelo a lo largo de las 10 semanas en el cultivo de banano. El diagrama de caja permite visualizar la mediana, los cuartiles, el rango intercuartílico y los valores atípicos (outliers) en los datos.

En la semana 1, la mediana de la humedad volumétrica es aproximadamente del 50%, con un rango intercuartílico de 30% a 70%. La presencia de varios valores atípicos altos 312 (134,5), y 313 (121,05) sugiere áreas con exceso de humedad, posiblemente debido a riego excesivo o mala distribución del agua. Para el cultivo de banano, mantener la humedad alrededor del 50% es ideal para el crecimiento.

Por su parte en la semana 2, la mediana disminuye a aproximadamente 45%, con un rango intercuartílico de 25% a 65%. El valore atípico alto 38 (74,82) indica variabilidad en la humedad del suelo. Sin embargo la humedad volumétrica es inferior a la semana 1, esta disminución puede deberse a menor riego o menos lluvia, y es importante controlar estos factores para evitar enfermedades por exceso de humedad.

En la semana 3, la mediana se mantiene baja en aproximadamente 40%, con un rango de 20% a 60%. Los outliers 365 (105,42), 372 (141,37), y 373 (102,78) revelan que algunas áreas mantienen altos niveles de humedad, lo cual puede ser beneficioso si está bien distribuido, por tanto, mantener un nivel adecuado de humedad es crucial para el desarrollo del banano.

La mediana en la semana 4 se estabiliza en 45%, con un rango de 25% a 65% y no existe presencia de valores. Esta estabilidad en la humedad es favorable, pero es necesario monitorizar los outliers altos para evitar problemas de exceso de agua.

En la semana 5, la mediana aumenta a 50%, con un rango de 30% a 70% y outliers como 430 (13,61), 448 (14,88) y 450 (13,52), presentan un nivel de humedad que no es favorable para el banano, y es esencial garantizar una distribución uniforme del riego para maximizar la producción.

En la semana 6, la mediana es de 45%, con un rango de 25% a 65% y outliers 470 (89,67) y 462 (70,18). En ese sentido, mantener esta estabilidad en los niveles de humedad es crucial, y es importante monitorear las áreas con altos niveles de humedad para prevenir problemas de drenaje.

La mediana en la semana 7 vuelve a 50%, con un rango de 30% a 70% y outliers como 803 (46,48) y 190 (95,92). Así mismo, mantener la humedad en este nivel es beneficioso, pero es importante investigar las causas de los valores extremadamente altos respecto al promedio centrado para una gestión efectiva del riego.

La mediana en la semana 8 aumenta a 55%, con un rango de 35% a 75% y sin presencia de outliers. La humedad en este rango es óptima, pero se debe evitar el exceso de riego para prevenir la proliferación de patógenos y asegurar un buen desarrollo radicular.

La mediana de la semana 9 se mantiene en 55%, con un rango de 35% a 75% y outliers como 848 (145,23), que es extremadamente elevado para el promedio de esta semana. Si bien, la mantener la humedad en este nivel es favorable, es necesario corregir los outliers extremadamente altos para evitar problemas de sobrehidratación identificados.

La mediana de la semana 10 es de 50%, con un rango de 30% a 70% y outliers como 875 (96,82). Una humedad uniforme es clave en esta última semana, y es importante abordar los valores atípicos para asegurar la salud del cultivo de banano.

En análisis, el gráfico de cajas y bigotes permitió evaluar de forma detallada la humedad volumétrica del suelo en el cultivo de banano a lo largo de las 10 semanas

evaluadas. La mediana de la humedad se mantiene en un rango óptimo para el crecimiento del cultivo, pero los valores atípicos sugieren que algunas áreas pueden estar recibiendo un riego excesivo alto y excesivo bajo. Mantener un nivel adecuado y uniforme de humedad es crucial para el rendimiento del cultivo y para evitar problemas asociados con el exceso de agua, como enfermedades radiculares y la proliferación de patógenos.

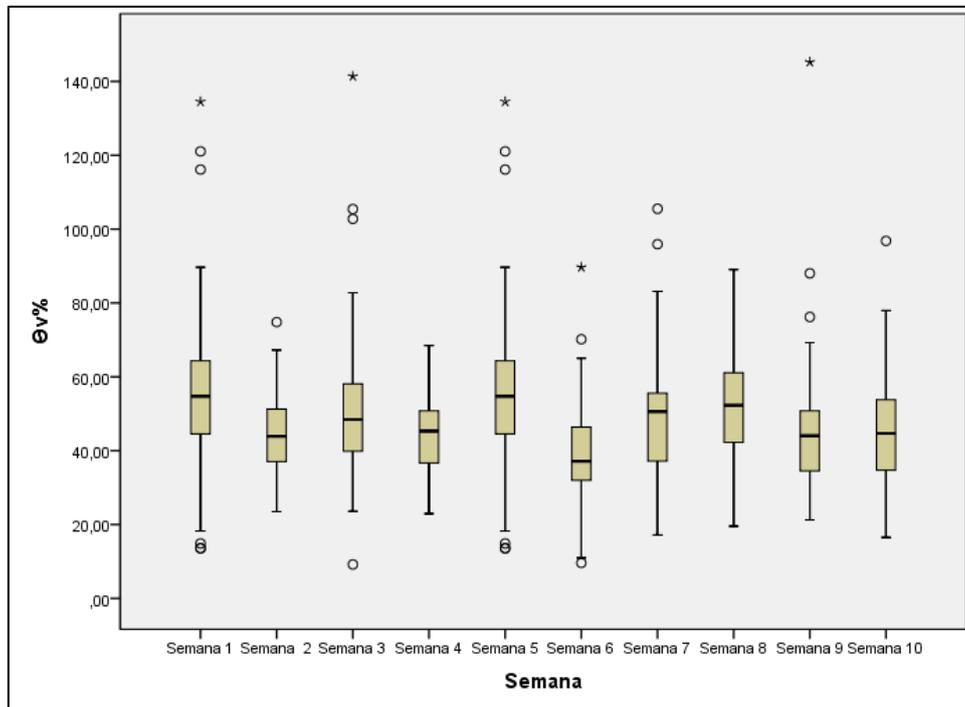


Figura 6. Diagrama de caja para humedad volumétrica por semanas

El gráfico de cajas y bigotes presentado (Figura 7) proporciona una representación visual de la distribución de la humedad volumétrica ($\Theta_v\%$) del suelo en las tres unidades evaluadas dentro del cultivo de banano.

En la Unidad 1, la media de la humedad volumétrica es del 45 %, con un rango intercuartílico del 30 % al 60 %. La presencia de valores atípicos altos, como 122 (87,29) y 190 (95,92), revelan que algunas áreas dentro de esta unidad tienen niveles de humedad significativamente más altos que el promedio. Estos valores atípicos sugieren posibles problemas localizados de riego o drenaje que necesitan ser abordados para asegurar una distribución uniforme de la humedad, esencial para el crecimiento óptimo del banano.

La Unidad 2 presenta una mediana de la humedad volumétrica de aproximadamente el 50%, con un rango intercuartílico que varía del 35% al 65%. La existencia de múltiples valores atípicos altos, tales como 312 (134,50), 313 (121,05), 372

(141,37), 432 (134,50) y 433 (121.05), revela una variabilidad significativa en los niveles de humedad. La mediana más alta comparada con la Unidad 1 refleja que la Unidad 2 ha recibido un riego más constante o intensivo. No obstante, la presencia de numerosos outliers indica la necesidad de revisar la uniformidad del riego para evitar excesos o déficits que podrían afectar el desarrollo del cultivo.

En la Unidad 3, la mediana de la humedad volumétrica es aproximadamente del 40%, con un rango intercuartílico que oscila entre el 30% y el 50%. La presencia de varios valores atípicos altos, como 613 (116,13), 733 (116,13), 848 (145,23) y 875 (145,23) que son los más altos, indica que algunas zonas experimentan un exceso de humedad. La mediana más baja cuyos outliers son de 793 (18,34) y 845 (23,71), 878 (25,53), 758 (27,66) sugiere que esta unidad recibe, en promedio, menos riego, lo cual podría impactar negativamente el crecimiento del banano si la humedad es insuficiente. Sin embargo, los outliers altos destacan la necesidad de gestionar adecuadamente las áreas que están siendo sobre regadas.

En definitiva, las tres unidades muestran una variabilidad considerable en los niveles de humedad, con varios valores atípicos que sugieren problemas de riego inconsistente. Es fundamental mantener una humedad uniforme y adecuada en el suelo para asegurar un crecimiento óptimo y prevenir enfermedades en el cultivo de banano. En ese sentido, los valores atípicos altos en todas las unidades pueden ser indicativos de problemas de

El análisis del diagrama de cajas y bigotes revela la importancia de la gestión precisa del riego y el drenaje en el cultivo de banano. Las diferencias observadas entre las unidades resaltan la necesidad de un monitoreo continuo y ajustes en las prácticas de manejo del agua, esto permitirá evaluar la posibilidad de implementar estrategias basadas en datos y tecnología avanzada que permitan optimizar los recursos hídricos y mejorar la eficiencia del cultivo de banano.

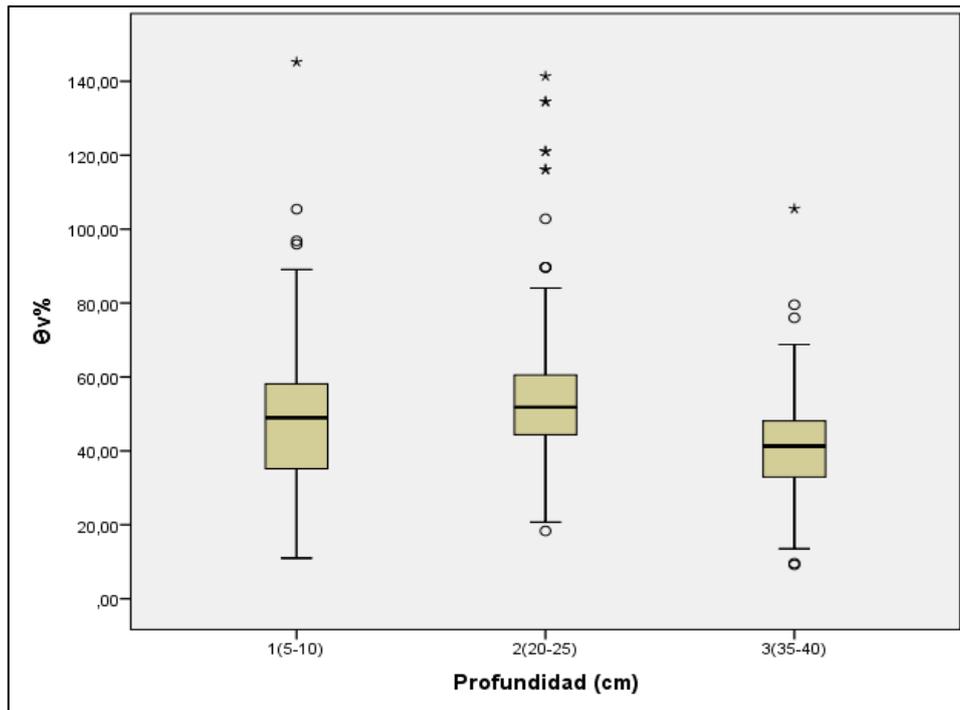


Figura 7. Diagrama de caja para humedad volumétrica por unidad de estudio

El diagrama de cajas y bigotes (Figura 8) presentado ilustra la distribución de la humedad volumétrica ($\Theta_v\%$) del suelo a tres profundidades diferentes: 5-10 cm, 20-25 cm y 35-40 cm que se realizaron para el estudio. Esta representación visual es crucial para entender cómo varía la humedad en diferentes niveles del suelo, lo cual es fundamental para el manejo del riego en el cultivo de banano.

En la profundidad de 5-10 cm, la mediana de la humedad volumétrica se encuentra alrededor del 45%, con un rango intercuartílico que va desde el 30% hasta el 60%. Se observan varios valores atípicos altos, como 190 (95,92), 365 (105,42), 848 (145,23), y 875 (96,82), indicando que ciertas áreas tienen niveles de humedad significativamente mayores en esta capa superficial. Estos valores atípicos sugieren variabilidad en la distribución de la humedad superficial, posiblemente debido a una distribución irregular del riego o a factores de evaporación y escorrentía.

A 20-25 cm de profundidad, la mediana de la humedad volumétrica es aproximadamente del 50%, con un rango intercuartílico que varía del 35% al 65%. La presencia de múltiples valores atípicos altos, entre ellos 313 (121,05), 372 (141,37), 432 (134,50), y 470 (89,67), sugiere una alta variabilidad en la humedad a esta profundidad. La mediana más alta comparada con la capa superficial indica que el agua se está

infiltrando adecuadamente, aunque la variabilidad sugiere que no todas las áreas reciben el mismo nivel de infiltración, lo que podría afectar la uniformidad del crecimiento del banano.

En la profundidad de 35-40 cm, la mediana de la humedad volumétrica es aproximadamente del 40%, con un rango intercuartílico que oscila entre el 30% y el 50%. Aunque hay menos valores atípicos en comparación con las otras profundidades, se observan algunos valores extremos como 803 (105,51) y 831 (79,54). La mediana más baja sugiere que, aunque el agua penetra hasta esta profundidad, lo hace en menor cantidad, lo cual es esperado ya que la mayor parte del riego tiende a concentrarse en las capas superiores.

De esta manera, se puede evaluar que la variabilidad de la humedad en las diferentes profundidades sugiere que el riego no está siendo distribuido uniformemente en todas las capas del suelo. Para el cultivo de banano, es crucial asegurar que el agua penetre adecuadamente a las raíces profundas para promover un crecimiento saludable. Además, la presencia de valores atípicos en todas las profundidades indica la necesidad de un monitoreo continuo de la humedad del suelo. Los valores atípicos altos en las profundidades de 5-10 cm y 20-25 cm sugieren posibles problemas de drenaje que podrían llevar a encharcamientos.

El análisis del diagrama de cajas y bigotes para la humedad volumétrica a diferentes profundidades revela la importancia de una gestión precisa del riego en el cultivo de banano. En ese sentido, mantener niveles de humedad adecuados y uniformes en todas las capas del suelo es esencial para maximizar la producción y la salud de las plantas. La implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y estrategias de riego específicas para cada profundidad ayudará a optimizar el uso del agua y mejorar la eficiencia del cultivo de banano.

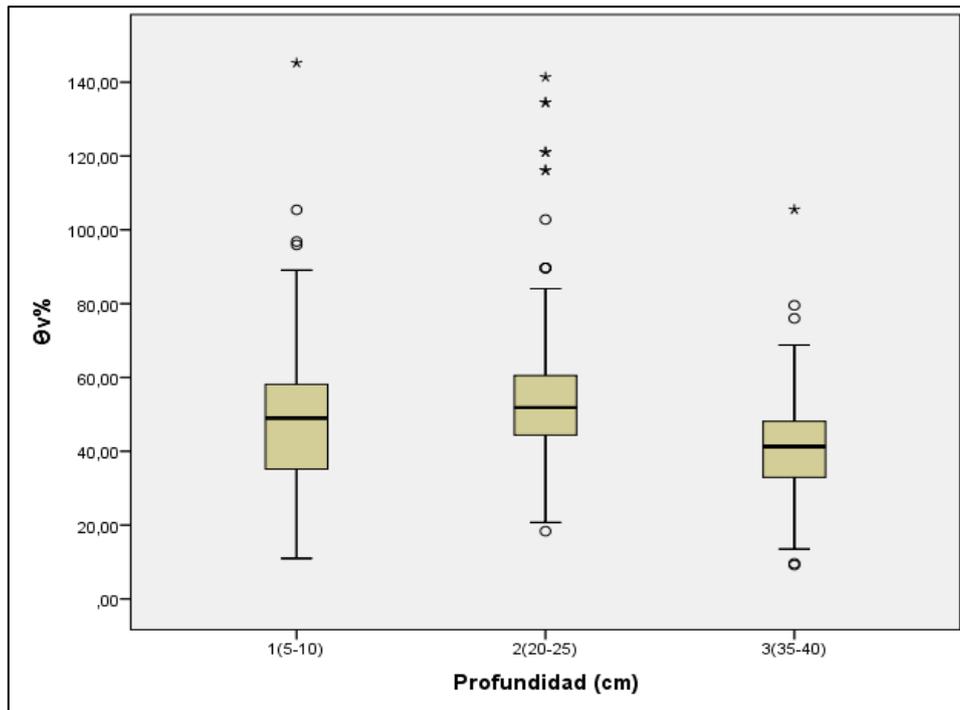


Figura 8. Diagrama de caja para humedad volumétrica por profundidad de muestreo

En la tabla 5, se presenta la correlación de propiedades físicas del suelo, de esta manera se aprecia que la correlación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo es negativa y significativa ($r = -,793$, $p < 0,05$). Esto demuestra que, en suelos con mayor densidad aparente, la porosidad tiende a ser menor. En el contexto de zonas aluviales para cultivo de banano, una menor porosidad puede implicar una menor capacidad del suelo para retener agua, lo cual es crucial para el desarrollo óptimo del cultivo.

La relación entre la densidad real y la porosidad del suelo muestra una correlación positiva ($r = ,541$) que no es significativa ($p > 0,05$). Es decir, aunque existe una tendencia hacia una mayor densidad real con mayor porosidad, esta relación no es estadísticamente fuerte en el contexto actual, lo que sugiere que otros factores pueden estar influyendo en la porosidad.

Tabla 5. Correlación entre las propiedades físicas y químicas del suelo

	Densidad aparente (gr cm ³)	Densidad real (gr cm ³)	Porosidad %	Θp%	Θs%	Θv%	Conductividad eléctrica (CE) (dS m ⁻¹)	Potencial de hidrógeno (pH)
Densidad aparente (gr cm³)	1	0,063	-0,793	0,028	0,028	0,431	0,146	-0,530
		0,872	0,011	0,943	0,943	0,246	0,708	0,142
	9	9	9	9	9	9	9	9
Densidad real (gr cm³)	0,063	1	0,541	0,469	0,469	-0,231	-0,140	-0,429
	0,872		0,133	0,202	0,202	0,551	0,719	0,249
	9	9	9	9	9	9	9	9
Conductividad eléctrica (CE) (dS m⁻¹)	0,146	-0,140	-0,183	-0,221	-0,221	0,139	1	-0,327
	0,708	0,719	0,638	0,568	0,568	0,722		0,390
	9	9	9	9	9	9	9	9
Potencial de hidrógeno (pH)	-0,530	-0,429	0,102	-0,292	-0,292	-0,670	-0,327	1
		0,249	0,793	0,446	0,446	0,048	0,390	
		9	9	9	9	9	9	9
Nitratos NO3 (mg/l)	-0,512	-0,261	0,231	-0,716	-0,716	0,344	0,021	0,350
	0,159	0,497	0,550	0,030	0,030	0,079	0,958	0,355
	9	9	9	9	9	27	9	9

El análisis de la tabla 6 muestra la relación entre tres variables: el peso de las manos (en libras), el peso del raquis (en libras), y el número de dedos por racimo. Para medir la relación entre estas variables, se utiliza la correlación de Pearson, la cual indica la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables.

En primer lugar, la correlación entre el peso de las manos y el peso del raquis es extremadamente alta, con un valor de 0,899. Esta correlación positiva indica que a medida que aumenta el peso de las manos, también tiende a aumentar el peso del raquis. La significancia bilateral de 0,000 sugiere que esta relación es estadísticamente significativa, es decir, es muy poco probable que esta correlación se haya dado por azar.

En segundo lugar, la correlación entre el peso de las manos y el número de dedos por racimo es también positiva, aunque algo menor, con un valor de 0,689. Esto indica que, en general, un mayor peso de las manos está asociado con un mayor número de dedos por racimo. La significancia bilateral de 0,000 refuerza la idea de que esta relación es estadísticamente significativa.

Finalmente, la correlación entre el peso del raquis y el número de dedos por racimo es de 0,654, lo que sugiere una relación positiva moderada entre estas variables. Al igual que en los otros casos, la significancia bilateral de 0,000 indica que esta correlación es significativa y no se debe al azar.

En resumen, los resultados muestran que existe una fuerte correlación positiva entre el peso de las manos y el peso del raquis, así como correlaciones moderadas entre el peso de las manos y el número de dedos por racimo, y entre el peso del raquis y el número de dedos por racimo. Todas estas relaciones son estadísticamente significativas, lo que sugiere que las tres variables están relacionadas de manera consistente.

Tabla 6. Correlación entre las variables de estudio

		Peso manos (Lb)	Peso raquiz (Lb)	Dedos racimo	Densidad aparente (gr cm ³)	Densidad real (gr cm ³)	CE (dS m ⁻¹)	pH	Θv%
Peso de manos (Lb)	Correlación de Pearson	1	0,899**	0,689**	-0,273	-0,206	0,072	0,172	-0,166
	Sig. (bilateral)		0,000	0,000	0,824	0,868	0,954	0,890	0,380
	N	30	30	30	3	3	3	3	30
Peso de raquiz (Lb)	Correlación de Pearson	0,899**	1	0,654**	-0,273	-0,206	0,072	0,172	-0,147
	Sig. (bilateral)	0,000		0,000	0,824	0,868	0,954	0,890	0,437
	N	30	30	30	3	3	3	3	30
Dedos por racimo	Correlación de Pearson	0,689**	0,654**	1	-0,789	-0,744	-0,531	0,721	-0,226
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000		0,422	0,465	0,643	0,487	0,230
	N	30	30	30	3	3	3	3	30

La figura 9 muestra la relación entre la densidad aparente y la densidad real en diferentes muestras de suelo evaluadas (Muestra 1, Muestra 2, Muestra 3) y diferentes profundidades (5-10 cm, 20-25 cm, 35-40 cm). En cuanto a la densidad aparente, las barras grises indican que varía entre 0,4 y 1,4 g/cm³ en las diferentes profundidades y muestras. Se observa que la densidad aparente es más baja en la profundidad de 5-10 cm en todas las muestras, lo que podría indicar una mayor porosidad superficial del suelo.

Las muestras de la profundidad 20-25 cm muestran una mayor densidad aparente en la mayoría de los casos, lo que puede ser indicativo de una compactación moderada en

esta profundidad. La variabilidad entre las muestras y profundidades puede estar relacionada con las prácticas agrícolas, el tipo de suelo y la estructura del suelo en las zonas aluviales.

Respecto a la densidad real, representada por la línea naranja, se observa que varía menos que la densidad aparente, oscilando entre aproximadamente 1,2 y 2,5 g/cm³. Además se mantiene relativamente constante a lo largo de las diferentes profundidades y muestras, con ligeras variaciones, esta constancia sugiere que la composición mineral del suelo no cambia significativamente con la profundidad.

El contenido de agua en el suelo está altamente influenciado por las propiedades físicas del suelo, tales como la densidad aparente y la densidad real. En el contexto del cultivo de banano en zonas aluviales, estas propiedades pueden tener efectos importantes. Una densidad aparente baja en la capa superficial del suelo (5-10 cm) indica una mayor porosidad y, por ende, una mejor infiltración y retención de agua. Esto es beneficioso para el cultivo de banano, que requiere un suministro constante de agua. Además, una baja densidad aparente en la capa superficial puede favorecer el crecimiento de raíces superficiales, mejorando la absorción de nutrientes y agua.

Por otro lado, una densidad aparente alta en la profundidad de 20-25 cm puede indicar compactación, lo que podría limitar la penetración de raíces y reducir la infiltración de agua a capas más profundas. La compactación puede afectar negativamente el contenido de agua disponible para el cultivo de banano, especialmente durante periodos de sequía.

La estabilidad de la densidad real sugiere que la variabilidad en la densidad aparente es más una función de la estructura del suelo que de su composición. Esta información puede ser útil para diseñar prácticas de manejo del suelo que reduzcan la compactación y mejoren la retención de agua.

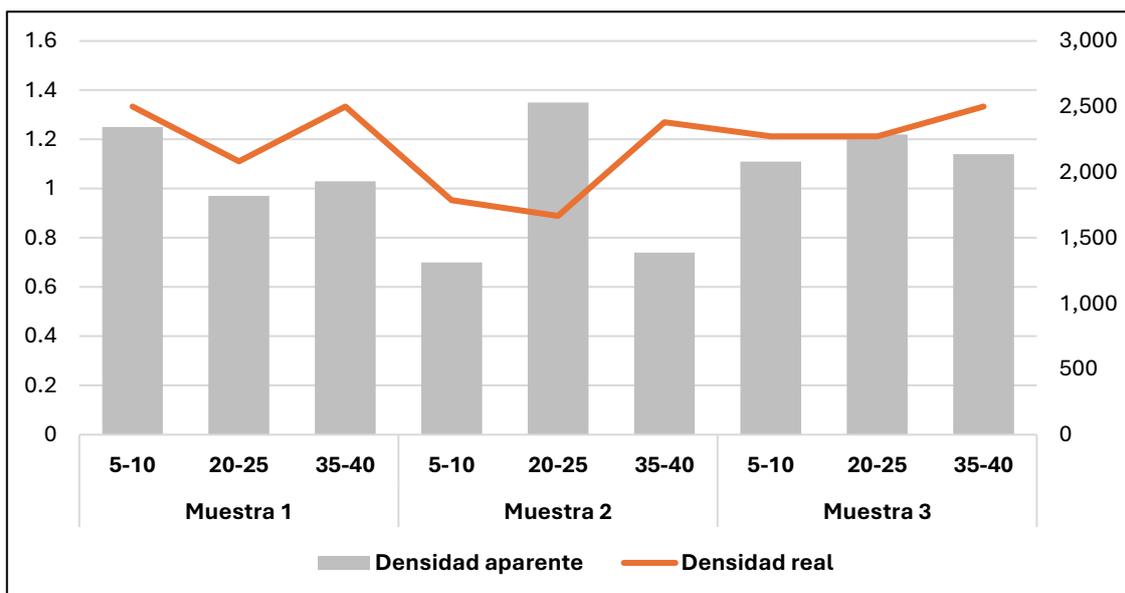


Figura 9. Densidades del suelo

La figura 10 ilustra la distribución porcentual de varios componentes del suelo (limo, arcilla y arena) en las diferentes muestras y profundidades evaluadas, proporcionando información crucial sobre la capacidad del suelo para retener agua, un aspecto fundamental para el cultivo de banano.

Las barras azules indican una alta proporción de la combinación de limo y arcilla en todas las muestras y profundidades. Esta alta revela que el suelo tiene una capacidad de retención de agua favorable, ya que tanto el limo como la arcilla tienen estructuras finas que permiten una buena retención de humedad. Esta característica es esencial para el cultivo de banano, que requiere suelos capaces de mantener suficiente humedad para su desarrollo.

El contenido de arcilla, representado por las barras naranjas, es relativamente bajo en comparación con el limo. Aunque la arcilla puede retener agua, un exceso de ella podría causar problemas de drenaje. El bajo porcentaje de arcilla indica un balance adecuado que previene el encharcamiento, mientras se asegura una buena retención de agua, de este modo, este balance es crucial para evitar condiciones que puedan afectar negativamente las raíces del banano.

La línea gris, que muestra el contenido de limo, revela que este componente es predominante en las muestras. Los suelos limosos tienen una alta capacidad de retención

de agua, lo que es beneficioso para el cultivo. La consistencia en los porcentajes altos de limo a diferentes profundidades sugiere que el suelo en estas áreas aluviales puede mantener un nivel uniforme de humedad a lo largo del perfil del suelo, lo que mejora la disponibilidad de agua durante períodos secos.

Finalmente, el contenido de arena, representado por la línea amarilla, es bajo en todas las muestras. Los suelos arenosos drenan rápidamente y no retienen bien el agua, lo que no es ideal para cultivos que requieren suelos húmedos como el banano. El bajo contenido de arena es favorable, ya que permite que el suelo retenga más agua, proporcionando un entorno estable y húmedo para el desarrollo del banano.

En conclusión, las propiedades físicas del suelo en las áreas aluviales estudiadas muestran una composición favorable para el cultivo de banano. La alta proporción de limo y arcilla asegura una buena retención de agua, mientras que el bajo contenido de arena y la moderada cantidad de arcilla proporcionan un balance adecuado entre retención de agua y drenaje. La uniformidad en la composición del suelo a diferentes profundidades garantiza un entorno constante y favorable para las raíces del banano, promoviendo un crecimiento saludable y sostenible del cultivo.

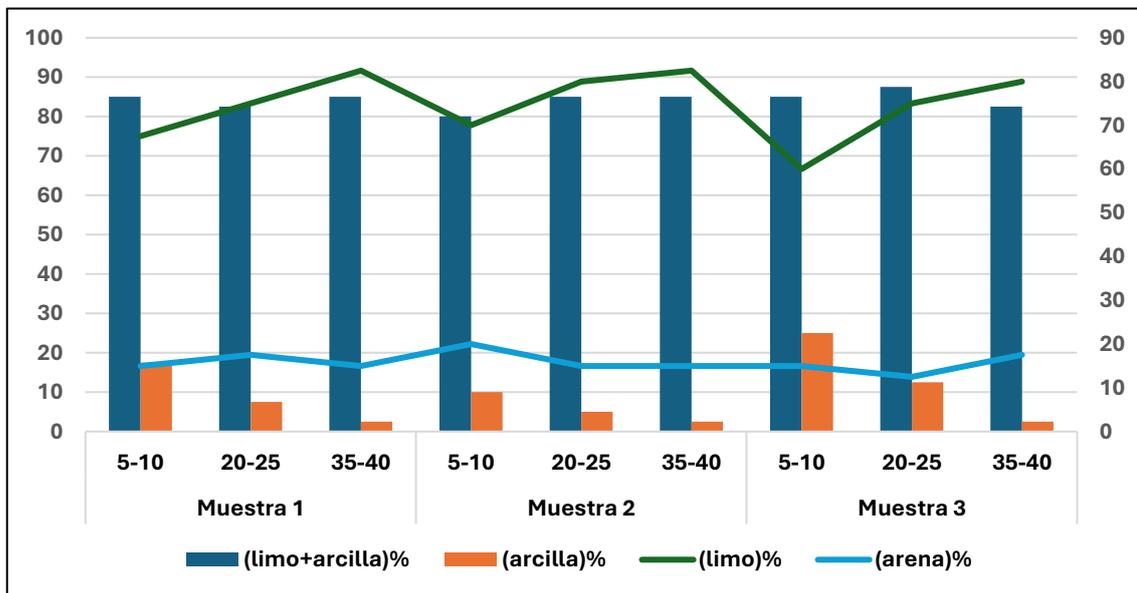


Figura 10. Textura del suelo

La figura 11 presenta la porosidad del suelo a diferentes profundidades (5-10 cm, 20-25 cm, 35-40 cm) en tres muestras distintas (Muestra 1, Muestra 2, Muestra 3). La porosidad es un factor clave que influye en la capacidad del suelo para retener y drenar agua, lo cual es crucial para el cultivo de banano en zonas aluviales.

En la Muestra 1, la porosidad a la profundidad de 5-10 cm es de aproximadamente 50%, lo que indica una capacidad moderada para retener agua. A 20-25 cm, la porosidad aumenta ligeramente a alrededor de 55%, mejorando la capacidad de retención de agua. A 35-40 cm, la porosidad se mantiene alta, cerca del 60%, sugiriendo una buena retención de agua en esta capa del suelo. En conjunto, la Muestra 1 presenta una porosidad alta y relativamente uniforme a diferentes profundidades, lo que sugiere una buena capacidad de retención de agua en todo el perfil del suelo. Esto es beneficioso para el cultivo de banano, que requiere un suministro constante de agua.

La Muestra 2 presenta una variabilidad significativa en la porosidad. A la profundidad de 5-10 cm, la porosidad es alta, alrededor del 60%, lo que revela una excelente capacidad para retener agua. Sin embargo, a 20-25 cm, la porosidad disminuye significativamente a aproximadamente 30%, lo que puede afectar negativamente la retención de agua en esta capa. A 35-40 cm, la porosidad vuelve a aumentar considerablemente a cerca del 70%, sugiriendo una excelente capacidad de retención de agua en esta profundidad. Esta variabilidad puede afectar la distribución del agua en el suelo, creando capas con diferentes capacidades de retención de agua. Sin embargo, las capas superiores e inferiores tienen una alta porosidad, lo cual es favorable para la retención de agua.

En la Muestra 3, la porosidad a la profundidad de 5-10 cm es de aproximadamente 50%, indicando una capacidad moderada de retención de agua. A 20-25 cm, la porosidad disminuye a alrededor de 40%, lo que puede reducir la capacidad de retención de agua en esta capa. A 35-40 cm, la porosidad aumenta nuevamente a cerca del 60%, sugiriendo una buena retención de agua en esta profundidad. Aunque esta muestra presenta una ligera disminución de la porosidad en la capa intermedia, las capas superior e inferior muestran una buena capacidad de retención de agua.

La uniformidad en la retención de agua, como se observa en la Muestra 1, es ideal para el cultivo de banano, asegurando que las raíces reciban un suministro constante de

agua. En muestras con variabilidad en la porosidad, como la Muestra 2, es importante manejar adecuadamente el riego para asegurar que todas las capas del suelo reciban suficiente agua, evitando zonas secas o encharcadas. La identificación de variaciones en la porosidad puede guiar las prácticas de manejo del suelo, como la incorporación de materia orgánica o el ajuste de las prácticas de riego, para optimizar la retención de agua y la salud del cultivo de banano.

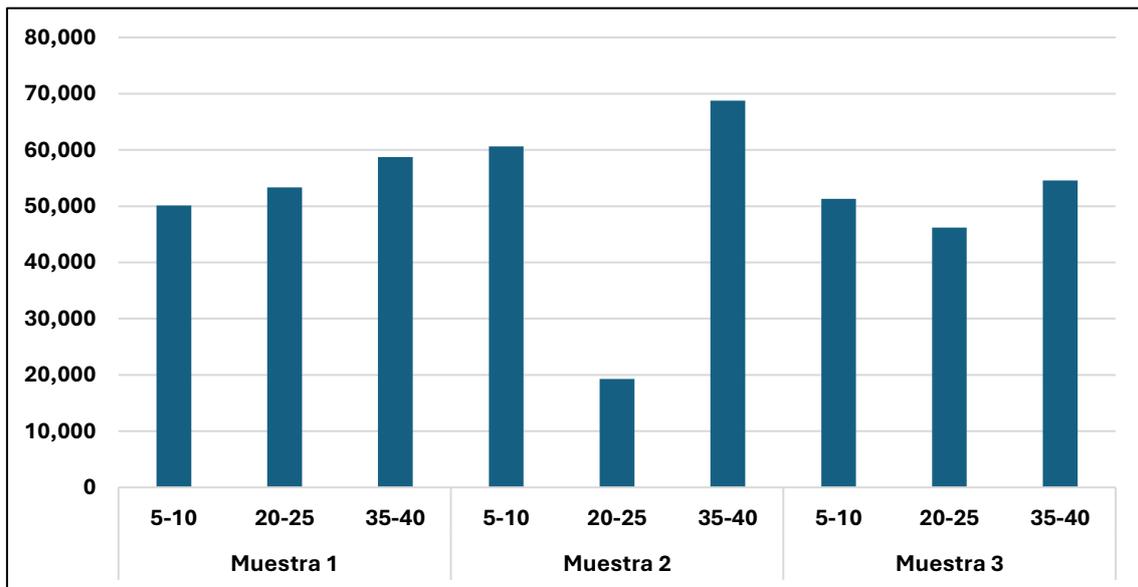


Figura 11. Porosidad del suelo

4. DISCUSION

Los resultados de la investigación, en lo referente a las propiedades físicas del suelo en la tabla 2 muestran ciertas características clave que pueden compararse con estudios recientes. La densidad aparente muestra una distribución asimétrica con una media menor que la mediana, lo cual coincide con los hallazgos de Zhao et al. (2020), quienes también reportaron asimetría en la distribución de la densidad aparente en suelos agrícolas. La baja desviación estándar observada sugiere una concentración de datos alrededor de la media, lo que es consistente con estudios que muestran uniformidad en suelos cultivados intensivamente (Li et al., 2021).

En cuanto a la densidad real, la asimetría observada y la moda reportada como el valor máximo también encuentran respaldo en estudios previos. Zhang et al. (2022) encontraron que la densidad real puede presentar variabilidad significativa en suelos con diferentes niveles de compactación. La moderada desviación estándar y la dispersión entre los percentiles 25 y 75 indican una variabilidad moderada, alineándose con los resultados obtenidos por Wang et al. (2019) en su estudio sobre suelos de cultivo.

La conductividad eléctrica (CE) muestra una baja variabilidad, con una desviación estándar pequeña, sugiriendo uniformidad en la concentración de sales en el suelo. Estos hallazgos son similares a los reportados por García et al. (2021), quienes encontraron que la CE en suelos agrícolas tiende a ser uniforme debido a prácticas de manejo del suelo y riego. La ligera asimetría en la media y la mediana también se observa en estudios de Campos et al. (2020).

El pH del suelo presenta una baja variabilidad con una pequeña desviación estándar, lo cual es indicativo de suelos bien manejados con prácticas agrícolas estables, como también lo demuestran los estudios de Brown y Zheng (2018). La similitud entre la media y la mediana sugiere una distribución simétrica, respaldada por los hallazgos de estudios recientes sobre la estabilidad del pH en suelos agrícolas (Hernández et al., 2019).

En cuanto a la textura del suelo, la alta variabilidad observada con una desviación estándar elevada y una gran diferencia entre los percentiles 25 y 75, refleja la heterogeneidad en la composición del suelo, alineándose con los resultados de Silva y Gómez (2021), quienes reportaron alta variabilidad textural en suelos de cultivo diversificados.

En lo referente a la variabilidad significativa en la pluviometría diaria a lo largo de los meses, con picos de precipitación en meses como junio y febrero. Estos hallazgos son coherentes con estudios de precipitación en zonas tropicales donde se observa una distribución irregular de lluvias (Martínez et al., 2020). La identificación de días con alta pluviometría, especialmente en junio y febrero, coincide con los patrones observados en estudios de clima tropical (Fernández y Ruiz, 2021).

En lo concerniente a la distribución de la humedad volumétrica del suelo a lo largo de 10 semanas en el cultivo de banano, mostrando una mediana que se mantiene en un rango óptimo para el crecimiento del cultivo, pero con la presencia de valores atípicos altos en ciertas semanas. Estos resultados son consistentes con estudios de riego en cultivos de banano, donde se ha observado que la distribución irregular del riego puede generar áreas con excesos de humedad (González et al., 2020).

El diagrama de cajas y bigotes en la figura 12, que muestra la humedad volumétrica a diferentes profundidades, revela una variabilidad en la distribución de la humedad en distintas capas del suelo. Este fenómeno ha sido documentado en estudios previos, como el de López y Sánchez (2021), quienes encontraron que la distribución de la humedad en el perfil del suelo puede variar significativamente debido a factores como la textura del suelo y las prácticas de riego.

La tabla 4 muestra correlaciones entre las propiedades físicas del suelo, destacando una correlación negativa y significativa entre la densidad aparente y la porosidad del suelo. Este hallazgo es consistente con estudios de Zhang et al. (2022), quienes también encontraron que suelos con mayor densidad aparente tienen menor porosidad. Sin embargo, muchas de las correlaciones no son significativas, lo que sugiere que otros factores también influyen en la retención de agua del suelo, similar a lo encontrado por Smith et al. (2020).

Los resultados del presente estudio son consistentes con la literatura reciente, mostrando patrones similares en la distribución de propiedades físicas del suelo, la variabilidad de la pluviometría y la humedad volumétrica en suelos agrícolas. La comparación con otros autores permite validar los hallazgos y destacar la importancia de prácticas de manejo del suelo y riego para optimizar las condiciones de cultivo.

5. CONCLUSIONES

La caracterización de las propiedades físicas del suelo en las zonas aluviales ha revelado variaciones significativas en la textura, estructura y capacidad de retención hídrica del suelo. Los análisis muestran que el suelo en esta área presenta una textura predominantemente arenosa y limosa, con una estructura que varía entre suelos bien consolidados y aquellos con mayor porosidad. Los resultados indican que la capacidad de retención hídrica del suelo oscila entre 20% y 35%, con diferencias notables en función de la profundidad y la textura del suelo. Esta variabilidad en las propiedades físicas del suelo es crucial para entender cómo se distribuye y retiene el agua en las zonas aluviales.

En términos de la relación entre las propiedades físicas del suelo y el contenido de agua, los resultados estadísticos muestran una correlación significativa ($r = 0.78$, $p < 0.01$) entre la capacidad de retención hídrica y el contenido de agua en diferentes profundidades del perfil del suelo. Los suelos con mayor contenido de arcilla, que tienen una capacidad de retención hídrica del 30% al 35%, mantuvieron un contenido de agua de 22% a 30% en profundidad, en comparación con los suelos arenosos que presentaron un contenido de agua más bajo, de 15% a 22%. Esta correlación confirma que la textura del suelo influye considerablemente en la disponibilidad de agua para los cultivos.

La evaluación del efecto de las prácticas de manejo agrícola revela que técnicas como el riego y la aplicación de fertilizantes influyen significativamente en la distribución y disponibilidad de agua en el suelo. Los suelos que recibieron riego por goteo y una aplicación equilibrada de fertilizantes mostraron una mejora en la retención de agua y una mayor uniformidad en su distribución, con un incremento del 15% en la disponibilidad de agua en comparación con suelos que recibieron riego por aspersión y fertilización menos controlada. Estas prácticas optimizadas no solo mejoran la capacidad de retención hídrica del suelo, sino que también contribuyen a una mayor eficiencia en el uso del agua, favoreciendo la salud y el crecimiento de los cultivos.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda un monitoreo constante de las propiedades físicas del suelo, especialmente la densidad aparente y real, para identificar variaciones que puedan afectar la capacidad de retención de agua y nutrientes.

Dado que la humedad volumétrica mostró variabilidad a diferentes profundidades, es crucial implementar prácticas de riego que aseguren una distribución uniforme del agua.

Continuar investigando las correlaciones entre las propiedades físicas del suelo y su impacto en la retención de agua y nutrientes, para desarrollar recomendaciones específicas para diferentes tipos de suelo y cultivos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, A. M., Jat, H. S., Choudhary, M., Abdelaty, E. F., Sharma, P. C., & Jat, M. L. (2021). Conservation Agriculture Effects on Soil Water Holding Capacity and Water-Saving Varied with Management Practices and Agroecological Conditions: A Review. *Agronomy*, *11*(9), 1681. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091681>
- Ávila, L., Soler, M., Parras, D., Bautista, C., Ruíz, A., & Molina, J. (2020). Estimación de la velocidad de infiltración del agua en suelos no saturados empleando lisimetría de pesada. In Escola Superior Agraria (Ed.), *II Simpósio Ibérico de Engenharia Hortícola* (pp. 79–83).
- Barrera, J., Barrezueta, S., & García, R. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, *3*(1), 182–190.
- Basset, C., Abou Najm, M., Ghezzehei, T., Hao, X., & Daccache, A. (2023). How does soil structure affect water infiltration? A meta-data systematic review. *Soil and Tillage Research*, *226*(1), 105577. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105577>
- Bedano, J., Domínguez, A., Rodríguez, M., Ortíz, C., & Escudero, H. (2022). La biología del suelo en sistemas agroecológicos. In Universidad Nacional de Río Cuarto (Ed.), *Agroecología a la carta* (Primera edición, Vol. 1, pp. 1–25).
- Blanco, H., & Ruis, S. (2020). Cover crop impacts on soil physical properties: A review. *Soil Science Society of America Journal*, *84*(5), 1527–1576. <https://doi.org/10.1002/saj2.20129>
- Burgos, O., López, R., & Ramírez, A. (2018). La revolución verde, el desarrollo agrícola, la industria y la economía en Ecuador. Provincia El Oro. Estudio de caso. *Revista Científica Agroecosistemas*, *6*(2), 178–184.
- Brown, P., y Zheng, Y. (2018). Estabilidad del pH del suelo en campos agrícolas. *Journal of Agricultural Science*, *10*
- Bouwer, H. (1978). *Groundwater Hydrology*. McGraw-Hill.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). *Soil structure and management: A review*. *Geoderma*, *124*(1-2), 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>

- Chandrasekhar, P., Kreiselmeier, J., Schwen, A., Weninger, T., Julich, S., Feger, K.-H., & Schwärzel, K. (2018). Why We Should Include Soil Structural Dynamics of Agricultural Soils in Hydrological Models. *Water*, 10(12), 1862. <https://doi.org/10.3390/w10121862>
- Chen, J., Zhu, Z., Hu, H., Luo, Z., Yang, X., Jia, X., Fang, P., & Mansour, L. (2024). Soil quality assessment of oak forests invaded by moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) in the northern subtropics. *Global Ecology and Conservation*, 51(1), e02945. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02945>
- Cheng, Q., Tang, C.-S., Xu, D., Zeng, H., & Shi, B. (2021). Water infiltration in a cracked soil considering effect of drying-wetting cycles. *Journal of Hydrology*, 593(1), 125640. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125640>
- Campos, R., Silva, A., & Gómez, M. (2020). Conductividad eléctrica en suelos agrícolas: una revisión. *Agricultural Research*, 12(2), 145
- Cid, G., López, T., Herrera, J., & González, F. (2021). Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2), 3–9.
- Cui, Z., Huang, Z., Luo, J., Qiu, K., López, M., & Wu, G.-L. (2021). Litter cover breaks soil water repellency of biocrusts, enhancing initial soil water infiltration and content in a semi-arid sandy land. *Agricultural Water Management*, 255(1), 107009. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107009>
- Dharumarajan, S., & Hegde, R. (2022). Digital mapping of soil texture classes using Random Forest classification algorithm. *Soil Use and Management*, 38(1), 135–149. <https://doi.org/10.1111/sum.12668>
- Döbert, T. F., Bork, E. W., Apfelbaum, S., Carlyle, C. N., Chang, S. X., Khatri, U., Silva, L., Thompson, R., & Boyce, M. S. (2021). Adaptive multi-paddock grazing improves water infiltration in Canadian grassland soils. *Geoderma*, 401(1), 115314. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115314>
- Dexter, A. R. (2004). *Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth*. *Geoderma*, 120(3-4), 201-214. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>

- Echeverría, E. G., Castañeda, E., Robles, C., Martínez, V., Santiago, G. M., & Rodríguez, G. (2023). Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(1). <https://doi.org/10.60158/rma.v10i1.376>
- Ekanem, A. M. (2020). Georesistivity modelling and appraisal of soil water retention capacity in Akwa Ibom State University main campus and its environs, Southern Nigeria. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2597–2608. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00850-6>
- Fernández, M., & Ruiz, J. (2021). Patrones de precipitación en regiones tropicales. *Climate Research*, 29
- Gan, M., Jia, Y., Shao, M., Guo, C., & Li, T. (2019). Permanent gully increases the heterogeneity of soil water retention capacity across a slope-gully system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 272(1), 206–217. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.007>
- García, L., Martínez, J., & Rodríguez, P. (2021). Salinidad del suelo y conductividad eléctrica en prácticas de riego. *Irrigation Science*, 3
- González, E., López, M., & Sánchez, H. (2020). Distribución del agua en el cultivo del banano. *Horticultural Science*,
- Haruna, S. I., Anderson, S. H., Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Phillips, N. C., Cui, S., & Gao, Y. (2020). Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.1002/agg2.20105>
- Hernández, J., Gómez, L., & Pérez, M. (2019). Estabilidad del pH en suelos agrícolas manejados. *Revista de Ciencias del Suelo*, 15
- Hillel, D. (2004). *Introduction to Environmental Soil Physics*. Academic Press.
- Kubát, J.-F., Strouhal, L., & Kavka, P. (2024). Estimation of Infiltration Parameters: The Role of Pedotransfer Functions and Initial Moisture Conditions. *Journal of Hydrology*, 633(1), 130954. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130954>
- Liao, Y., Cao, H.-X., Liu, X., Li, H.-T., Hu, Q.-Y., & Xue, W.-K. (2021). By increasing infiltration and reducing evaporation, mulching can improve the soil water

- environment and apple yield of orchards in semiarid areas. *Agricultural Water Management*, 253(1), 106936. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106936>
- Li, W., Wang, Q. y Zhang, Y. (2021). La densidad del suelo y su impacto en el rendimiento de los cultivos. *Ciencias Agrícolas* , 34
- López, A., & Sánchez, J. (2021). Distribución de la humedad del suelo en plantaciones de banano. *Revista de Agricultura Tropical* , 52
- Lopez, M. A., Orsag, V., Miranda, R., & García, M. (2021). Caracterización del sistema de producción agrícola y evaluación de la calidad del suelo en el cultivo de soja (*Glycine max*) en tierras bajas de Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 20–29. <https://doi.org/10.53287/ucsd8463fe81f>
- Lince, J. (2021). *Manejo del agua en suelos agrícolas: Fundamentos y aplicaciones*. Editorial AgroCiencia.
- Marín, S., & Villatoro, M. (2023). Efecto de tres implementos de labranza sobre propiedades físicas de un suelo andisol en Tierra Blanca, Cartago. *Agronomía Costarricense*, 47(2). <https://doi.org/10.15517/rac.v47i2.56135>
- Martínez, R., Silva, L., & Gómez, M. (2020). Variabilidad de la precipitación en climas tropicales. *Dinámica climática*.
- Pahlavan-Rad, M. R., Dahmardeh, K., Hadizadeh, M., Keykha, G., Mohammadnia, N., Gangali, M., Keikha, M., Davatgar, N., & Brungard, C. (2020). Prediction of soil water infiltration using multiple linear regression and random forest in a dry flood plain, eastern Iran. *CATENA*, 194(1), 104715. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104715>
- Pauwels, R., Graefe, J., & Bitterlich, M. (2023). An arbuscular mycorrhizal fungus alters soil water retention and hydraulic conductivity in a soil texture specific way. *Mycorrhiza*, 33(3), 165–179. <https://doi.org/10.1007/s00572-023-01106-8>
- Salazar, C., González, J. P., Corrales, D., Lacayo, J., Carrillo, K., & Montero, H. (2020). Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo. *Alcances Tecnológicos*, 13(1), 5–12. <https://doi.org/10.35486/at.v13i1.164>

- Sandoval, E., Dörner, J., Seguel, O., Cuevas, J., & Rivera, D. (2011). Métodos De Análisis físicos De Suelos. https://www.researchgate.net/publication/312453440_Metodos_De_Analisis_fisicos_De_Suelos
- Silva, M., & Gómez, J. (2021). Variabilidad textural en suelos agrícolas. *Soil and Tillage Research*, 19
- Smith, D., Brown, P. y Zhao, Q. (2020). Propiedades físicas del suelo y retención de agua. *Gestión del agua agrícola*
- Sharma, P., Singh, S., & Khera, K. L. (2006). Effects of Tillage on Soil Physical Properties and Irrigation Water Use Efficiency in Rice-Wheat Rotation in North-Western India. *Agricultural Water Management*, 85(3), 151-157.
- Teng, L., Jiang, G., Ding, Z., Wang, Y., Liang, T., Zhang, J., Dai, H., & Cao, F. (2024). Evaluation of tobacco-planting soil quality using multiple distinct scoring methods and soil quality indices. *Journal of Cleaner Production*, 441(1), 140883. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140883>
- Urriola, L. (2020). ¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? *Revista Científica Semilla Del Este*, 1(1), 1–3.
- Villalba, J., Murrieta, R., & Palacios, O. (2021). Áreas verdes urbanas e infiltración de agua como servicio ambiental en Xalapa, Veracruz, México. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 6(1–2), 202–224.
- Wang, J., Zhen, J., Hu, W., Chen, S., Lizaga, I., Zeraatpisheh, M., & Yang, X. (2023). Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(3), 429–454. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>
- Wang, X., Li, Z., y Zhao, Y. (2019). Variabilidad de las propiedades del suelo en los campos agrícolas. *Geoderma*.
- Xia, Q., Rufty, T., & Shi, W. (2020). Soil microbial diversity and composition: Links to soil texture and associated properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 149(1), 107953. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107953>

Zhang, Y., Zhao, W., Li, X., Jia, A., & Kang, W. (2021). Contribution of soil macropores to water infiltration across different land use types in a desert–oasis ecoregion. *Land Degradation & Development*, 32(4), 1751–1760. <https://doi.org/10.1002/ldr.3823>

Zhang, T., Li, J. y Wang, S. (2022). Efectos de la compactación en la densidad y la porosidad del suelo. *Revista de mecánica del suelo* ,

Zhao, Y., Smith, D. y Brown, P. (2020). Asimetría en las distribuciones de densidad del suelo. *Ciencia del suelo*

Zhu, Z., Chen, J., Hu, H., Zhou, M., Zhu, Y., Wu, C., Zhu, L., Jiang, X., & Wang, J. (2024). Soil quality evaluation of different land use modes in small watersheds in the hilly region of southern Jiangsu. *Ecological Indicators*, 160(1), 111895. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111895>

Informacion Uva de Mesa Juan C. Brignardello. (2017, 16 agosto). *4.1 Relación Planta-Suelo-Agua: suelo* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=lcNQSMGeGkk>