

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO DE RÍO PIEDRAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES
PROGRAMA SUBGRADUADO

**EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE GRAVA EN LA HUMEDAD DEL
SUELO EN CULTIVOS DE AGUACATES EN DOS TIPOS DE MOLISOL
ALUVIALES EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA EN EL SUR DE PUERTO RICO**

Yineisi M. Aponte Colón

Investigación de Tesina
presentada como parte de los requisitos
para el grado de Bachillerato en Ciencias
con especialización en
Estudios Interdisciplinarios

Aprobada por:



Dra. Elvira Cuevas Viera



Dra. Solimar Pinto Pacheco

Juan G. García-Cancel

Fecha: 16 de mayo de 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mis padres, por ser mi mayor ejemplo de fortaleza y dedicación, por su apoyo incondicional y por confiar en mí en cada paso del camino. A mi familia, por estar siempre presente, brindándome ánimo, paciencia y amor. Y a ti, por acompañarme en este proceso y por darme tu apoyo sincero. Este logro también es de ustedes.

Agradecimientos

Agradezco, en primer lugar, a Dios por haberme guiado y sostenido durante todo este proceso. Expreso profundo agradecimiento a mi mentora, la Dra. Elvira Cuevas, por su liderazgo, orientación y apoyo a lo largo de este proyecto.

De igual manera, agradezco a la Dra. Solimar Pinto Pacheco por su valiosa co-mentoría, por su excelente trabajo y por estar siempre dispuesta a brindar su ayuda con generosidad y entusiasmo.

Gracias a todas las personas que colaboraron de alguna manera en la realización de este proyecto, en especial a Larry Díaz y al Dr. Elix Hernández por su guía y apoyo técnico. También extendiendo mi reconocimiento al equipo de EcoLab por la colaboración.

Agradezco también a los profesores del Departamento de Ciencias Ambientales: al Dr. Juan G. Cancel García, a la Dra. Elvia J. Meléndez Ackerman por su orientación cercana y su enseñanza en el curso de tesina, al Sr. Bryan Torres de Gracia por su colaboración, y al profesor el Dr. Denny Fernández del Viso Gámez.

A mi familia y amigos, gracias por su apoyo constante e incondicional.

Mi agradecimiento a Betzaida Ortiz Carrión y Josefina Arce, de la Finca Atabey, por su colaboración en el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, expreso mi agradecimiento al Center for Applied Tropical Ecology and Conservation (CATEC) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, por proveer las facilidades necesarias para llevar a cabo este trabajo.

Resumen

En el sur de Puerto Rico, una región semiárida con limitaciones hídricas, comprender las propiedades físicas del suelo es fundamental para optimizar el uso del agua y fomentar una agricultura sostenible. Este estudio evaluó el efecto del tamaño y la cantidad de partículas de grava sobre la retención de agua en suelos de diferentes texturas (arcillosa y franco-arcillosa) en cultivos de aguacate en la Finca Atabey, Santa Isabel. Se recolectaron muestras a dos profundidades (0–15 cm y 15–30 cm) y se analizó la distribución de partículas de grava en el perfil del suelo. Se plantea la hipótesis de que el tamaño de las partículas de grava afecta la retención de agua en el suelo; partículas más grandes crean más espacios porosos, lo que aumenta la infiltración y reduce la humedad retenida. El suelo de Jacaguas presentó el mayor contenido total de grava y una predominancia de la fracción gruesa en peso (52.13 %), en comparación con San Antón (47.87 %). El suelo de San Antón tuvo un mayor contenido de agua gravimétrico (54.12%), mientras que Jacaguas reflejó un valor de 45.88 %. Además, se identificó una relación significativa ($p < 0.0001$) entre la densidad aparente ajustada y el contenido de agua en Jacaguas, lo que subraya el papel de la fracción de grava en la dinámica hídrica del suelo. Los resultados confirman que tanto la cantidad como el tamaño de las partículas de grava influyen significativamente en la capacidad del suelo para retener agua. Las partículas más grandes aumentan la porosidad y la infiltración. Estos hallazgos proporcionan información valiosa para optimizar el manejo agronómico en suelos pedregosos bajo condiciones de déficit hídrico, contribuyendo a mejorar la eficiencia en el uso del agua y a fortalecer la sostenibilidad de la producción agrícola en regiones semiáridas.

Palabras claves: propiedades físicas del suelo; granulometría; retención de humedad; molisoles aluviales; regiones semiáridas; calidad del suelo; agricultura sostenible; manejo de suelos

I. Introducción

Las propiedades físicas de un suelo determinan su capacidad de infiltración, retención y almacenamiento de agua y nutrientes, e influyen en la facilidad de penetración de las raíces, la aireación del suelo y su capacidad de drenaje (Rucks et al., 2004). Entre estas propiedades, la textura, la porosidad y la densidad aparente son factores clave que influyen directamente en estos procesos. La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo: arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla. Los suelos arcillosos son suelos de partículas finas que tienden a mantenerse más húmedos por más tiempo y son más eficientes en la retención de agua que los suelos arenosos o francos (Gil et al., 2004). Los suelos franco-arcillosos poseen una textura moderadamente fina, compuesta por una mezcla equilibrada de partículas de arena, limo y arcilla, lo que les permite una buena retención de agua y nutrientes, así como una adecuada aireación (Rucks et al., 2004; Yu et al., 2023). La textura del suelo es un factor crucial para la productividad y crecimiento de las plantas. El suelo "ideal" para las plantas debe retener suficiente aire y agua, tener un espacio poroso adecuado para la penetración de raíces y proporcionar los nutrientes y minerales esenciales (Chaudhari et al., 2013).

La densidad aparente del suelo, definida como la relación del peso seco del suelo por su volumen total, evalúa el grado de compactación y el espacio poroso disponible. La compactación se refiere a la reducción del volumen de una masa de suelo, lo que disminuye el volumen de los poros. Sin embargo, no todos los poros se reducen de la misma manera; los más grandes tienden a perderse primero (Zhang et al., 2001). Esta pérdida preferencial altera la distribución del tamaño de los poros y afecta las características de retención de agua (Katou et al., 1987). La densidad aparente tiende a aumentar a medida que profundizamos en el perfil del suelo. Esto se debe al peso del

material que se encuentra en la superficie y a cómo se ha manejado la tierra. Por ejemplo, la compactación generada por la labranza provoca que haya menos espacio poroso, lo que altera las condiciones del suelo (Dexter, 2004).

El tamaño y la distribución de las partículas en un suelo determinan su porosidad, de modo que, a medida que aumenta el volumen de partículas de mayor diámetro, se incrementa el tamaño de los macroporos, lo que favorece la permeabilidad. La porosidad se expresa como el porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros (Rucks, 2004). Los poros se pueden clasificar en tres categorías: sub-microscópica, que dificulta el flujo; microscópica o capilar, que se forma entre agregados; y macroporosidad, que incluye poros grandes originados por factores como la actividad microbiana y la labranza (Pires et al., 2008). La granulometría, o distribución de partículas según su tamaño, tiene un impacto directo en la proporción de humedad y aire en el suelo (Vargas-Tapia et al., 2008). Estos factores son determinantes en la estructura del suelo y en su capacidad de retención de agua.

Los suelos aluviales, producto de materiales transportados y depositados en las planicies costeras y valles interiores, son la mayor área agrícola en Puerto Rico. Ortiz-Carrión (2021) describe lo siguiente: “Estos suelos se distinguen por su alta fertilidad natural y su capacidad para retener humedad, lo que los hace esenciales para la actividad agrícola en la isla”. Los sedimentos presentes en este tipo de suelos se conocen como 'aluviones', los cuales están compuestos por una mezcla heterogénea de partículas como arena, limo, arcilla y grava. Los suelos de Santa Isabel son molisoles aluviales con alta fertilidad agrícola, sin embargo, su tasa de retención de agua es baja (Lugo-López et al., 1994).

La disponibilidad de agua y nutrientes depende de la cantidad, distribución y periodicidad de la lluvia, la temperatura y el tipo de suelo. En Puerto Rico, la lluvia

promedio anual sigue un patrón influenciado por la Cordillera Central y los vientos alisios del noreste que se manifiestan a través del efecto orográfico de la cordillera. Esto resulta en que la región norte recibe más precipitaciones, mientras que la región sur, como Santa Isabel, recibe menos (Quiñones & Torres, 2012). La dirección del viento predominante es este/sureste, con mayor temperatura y menos humedad (Medina et al., 2010; Govender et al., 2013). Estas condiciones influyen en la productividad agrícola por su efecto en la disponibilidad de agua en el suelo y en la evapotranspiración. Los suelos de Santa Isabel, que son de textura media a fina y tienen un buen drenaje, han permitido el desarrollo del Corredor Agrícola de la Costa Sur de Puerto Rico (Ley No. 242, 2008). Este desarrollo agrícola es esencial no sólo para optimizar el uso del suelo, sino también para garantizar la seguridad alimentaria de la región (Ortiz-Carrión, 2021). Sin embargo, su localización en el área semiárida de la Isla conlleva menor precipitación anual y erraticidad en las lluvias. Por ello, en zonas como Santa Isabel, la irrigación es fundamental para el cultivo agrícola lo que asegura la disponibilidad de agua en el suelo y previene el estrés hídrico durante las fases críticas del crecimiento de las plantas (Ortiz-Carrión, 2021).

Los cultivos de aguacates requieren condiciones específicas de humedad que demandan estrategias efectivas de manejo en donde las propiedades físicas y químicas del suelo juegan un papel crucial en la retención de agua y el crecimiento de las raíces. El transporte de solutos desde el suelo hasta las raíces de los árboles de aguacates depende de la humedad y la conductividad hidráulica (Vetterlein et al., 2007). Las condiciones climáticas extremas pueden afectar gravemente estos cultivos, interrumpiendo la maduración de los frutos, dificultando su crecimiento, provocando la caída prematura de los frutos, causándoles marchitamiento repentino y reduciendo significativamente la formación de flores (Taleb, Brhadda, & Ziri, 2022).

La medición de la densidad aparente y la retención de agua son indicadores clave para evaluar y mejorar la calidad de los suelos. Todas estas variables están basadas en el tamaño de partículas establecidas para la medición de la textura del suelo (Brady & Weil, 2008). Sin embargo, en suelos pedregosos, el tamaño, la cantidad y la distribución en profundidad de las gravas juega un papel determinante al aumentar la porosidad del sustrato (Unger, 1971; Paruelo et al., 1988).

Este estudio se enfocó en responder a la pregunta: ¿Cómo afecta el tamaño y la cantidad de las partículas de grava a la retención de agua del suelo? Para esto, se evaluó la siguiente hipótesis: El tamaño de partículas de grava afecta la retención de agua del suelo: mientras mayor es el tamaño de las partículas de grava, menor humedad va a encontrarse en el suelo debido al aumento de los espacios porosos, lo cual favorece la infiltración y reduce la retención de agua. Se analizó el tamaño y la masa de partículas de grava de muestras de suelo con diferentes texturas (arcilloso y franco-arcilloso) y profundidades (0-15 cm y 15-30 cm). Se recolectaron muestras de suelo con diferentes texturas y profundidades para determinar la densidad aparente y porcentaje de humedad. Los resultados de este estudio proporcionarán información valiosa sobre cómo las características del suelo influyen en su capacidad de retención de agua. Además, estos hallazgos contribuirán al desarrollo de estrategias de manejo del suelo más efectivas, permitiendo a los agricultores implementar prácticas que optimicen el uso del riego y mejoren la calidad del suelo en áreas semiáridas.

II. Métodos

A. Sitio de estudio y Sistema de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Finca Atabey, situada en Santa Isabel, Puerto Rico (17°59'41.66" N, 66°24'46.19" O (ver Figura 1.A y Figura 1.B). Esta finca, con una extensión de 75 cuerdas, ha sido seleccionada por su diversidad en prácticas agrícolas y variedad de tipos de suelo. La Finca Atabey recibe aproximadamente 835 mm de lluvia anuales, caracterizada por una precipitación pulsante y no continua. En promedio, los meses en Santa Isabel tienen más de 20 días sin lluvia (Ortiz-Carrión, 2021). El clima junto con la recarga de agua del Embalse Coamo y los canales del Lago Guayabal, es fundamental para las actividades agrícolas, ya que la evapotranspiración consume el 85% de la lluvia anual (Ortiz-Carrión, 2021). En Puerto Rico, el ciclo climático comienza con un periodo seco de diciembre a marzo, seguido de fuertes lluvias en abril y mayo. A esto le sigue una reducción significativa en las precipitaciones durante junio y julio, antes de iniciar un periodo húmedo que va de agosto a noviembre (Quiñones & Torres, 2012). Estos patrones pueden variar regionalmente, y en zonas semiáridas como la Finca Atabey, se presenta un déficit de lluvia. La topografía montañosa en el centro de la Isla genera un efecto orográfico que produce sombra de lluvia, reduciendo la precipitación en el área sur y afectando la disponibilidad de agua. Los suelos de la finca son suelos aluviales, específicamente, molisoles: suelos fértiles y profundos de color oscuro con un alto contenido de carbono (Salazar & Khalajabadi, s.f.). Entre los tipos de suelo se han identificado suelos arcillosos (San Antón) y franco-arcillosos (Jacaguas), lo que resalta su importancia ecológica en la retención de agua y nutrientes, especialmente para cultivos de aguacate y calabaza. La serie San Antón está compuesta por suelos muy profundos, bien drenados y de permeabilidad moderada, que se encuentran en llanuras aluviales. Estos suelos se originaron en depósitos aluviales

estratificados que resultaron de la descomposición de rocas volcánicas y calizas (U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service [USDA NRCS], 2006). Por otro lado, la serie Jacaguas incluye suelos bien drenados o incluso excesivamente drenados, con permeabilidad moderada, también ubicados en llanuras aluviales. Estos suelos tienen horizontes superficiales A de textura franco-arcillosa y color marrón muy oscuro, con una estructura granular, mientras que los horizontes B son de color marrón grisáceo y tienen una textura arcillosa y pedregosa, sobre capas muy pedregosas con guijarros (USDA NRCS, 2000).

El enfoque del estudio se centra en la caracterización física de dos tipos de suelo ubicados en sistemas de producción de aguacate (*Persea americana*). Este cultivo depende en gran medida de la cantidad de agua disponible en el suelo. El estrés hídrico en momentos clave puede causar efectos adversos como la marchitez y la caída de hojas, lo que afecta negativamente la producción de frutos. Los árboles de aguacate tienen una capacidad limitada para adaptarse a condiciones de calor extremo debido a los mecanismos que les permiten controlar parcialmente la pérdida de humedad, y su sistema radicular, superficial y con una abundancia de raíces finas en los primeros 15 cm, absorbe alrededor del 80% de la humedad de los primeros 30 cm del suelo (Ortiz-Carrión, 2021). Por lo tanto, para cultivar aguacates comercialmente en zonas semiáridas, es esencial complementar la lluvia con sistemas de riego. Los cultivos se ubican en dos tipos de suelo aluvial: el arcilloso, que retiene bien el agua, pero presenta problemas de drenaje, y el franco-arcilloso, que ofrece el equilibrio adecuado para el crecimiento. Las entradas de agua en este sistema son la precipitación y la irrigación con agua subterránea, mientras que las salidas incluyen la evapotranspiración, la infiltración y el contenido de agua del cultivo (Ortiz-Carrión, 2021).

B. Métodos de muestreo

El estudio se desarrolló mediante trabajo de campo, en el cual se realizó el muestreo en dos tipos de suelo: arcilloso y franco-arcilloso. Estos suelos dividen el cultivo de aguacates en dos parcelas representativas en la Finca Atabey: San Antón (Sa) suelo arcilloso y Jacaguas (Jg) suelo franco-arcilloso. En cada una de las parcelas se recogieron muestras de suelo bajo 5 árboles a profundidades de 0-15 cm y 15-30 cm. Las muestras estudiadas fueron recolectadas en seis fechas del año 2024: 11 y 12 de abril, 18 de junio, 28 de agosto, 25 de octubre y 13 de diciembre. Estas fechas fueron seleccionadas con el objetivo de comparar las propiedades físicas del suelo considerando las variaciones en el tiempo. Se colectaron 85 muestras en total. Para la recolección de las muestras se utilizó un muestreador de martillo con un cilindro metálico de 93 cm³, el cual permitió extraerlas directamente del suelo. Las muestras fueron pesadas en estado fresco y posteriormente secadas en un horno con ventilación forzada (*Shel Lab*) a 105 °C por 72 horas para posteriormente volverlas a pesar y poder calcular la densidad aparente y el porcentaje de humedad. La densidad aparente (D_a) se obtiene a partir de la fórmula:

$D_a = \frac{m}{v}$; donde: m = masa del suelo seco (g); v = volumen de la muestra (cm³). Para

obtener el porcentaje de humedad se calculó el contenido de agua gravimétrico (ω):

$\omega = \left(\frac{mh - ms}{ms} \right) \times 100$; donde: mh = masa del suelo húmedo (g); ms = masa del suelo seco (g).

Se realizó el análisis granulométrico utilizando un tamiz con mallas de 4.75 mm, 2.00 mm, 1.00 mm y 500 μ m, con el objetivo de clasificar las partículas de grava según su tamaño. Se consideró como grava gruesa el particulado > 2 mm, y grava fina < 2

mm. El procedimiento permitió separar el particulado de grava de la materia orgánica, así como cuantificar y determinar el peso de cada fracción retenida en los tamices.

Para la separación de la grava fina, se implementó un paso adicional debido a que el material contenía una gran cantidad de partículas de tamaño muy reducido, lo que imposibilitaba su separación manual de la materia orgánica. Se tomaron muestras de 5 gramos, las cuales se colocaron en crisoles y se introdujeron en un horno tipo mufla (*Barnstead/Thermolyne*, modelo 30400) a una temperatura de 900 °C durante 3 horas, con el objetivo de eliminar la materia orgánica mediante combustión. Posteriormente, las muestras se agitaron y se mantuvieron otras 3 horas a la misma temperatura para favorecer la descomposición térmica del carbonato de calcio (CaCO_3) presente en los fragmentos de conchas. Una vez finalizado este proceso, las muestras se trituraron con un mortero y se tamizaron nuevamente para eliminar residuos de polvo fino.

Finalmente, se seleccionaron 100 partículas representativas de grava, que fueron pesadas. A partir del peso de esta muestra, se calculó el número total de partículas en cada fracción, según su clasificación por tamaño (1.00 mm y 500 μm), utilizando la siguiente fórmula de estimación basada en el peso total de la muestra:

$$N_{\text{total}} = \left(\frac{P_{\text{total}} (g)}{P_{\text{muestra}} (g)} \right) \times N_{\text{muestra}}; \text{ donde } P_{\text{total}} = \text{peso total de la muestra}; P_{\text{muestra}} = \text{peso de}$$

la muestra de 100 partículas y N_{muestra} = el número de partículas en la muestra (en este caso 100 partículas).

C. Análisis estadístico de datos

Para el análisis de datos de este estudio se utilizó el paquete estadístico JMP® Pro-18, el cual permitió evaluar los resultados de manera descriptiva e inferencial de manera paramétrica y no paramétrica. Adicionalmente, se utilizó R Studio como herramienta

complementaria. Los datos incluyeron variables como tipo de suelo, profundidad de muestreo, tamaño de partículas de grava, número y peso de partículas de acuerdo con el rango de tamaño, la humedad del suelo y densidad aparente. Se realizaron análisis de dispersión y boxplots para identificar patrones y diferencias significativas entre las variables. Además, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para evaluar el efecto de tipo de suelo y profundidad en la distribución de partículas de grava. Se hicieron matrices de correlación para determinar el grado de efecto de todas las variables. En los casos en que no se cumplieron los supuestos de normalidad, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis como alternativa apropiada (Gómez-Gómez, Danglot-Banck, & Vega-Franco, 2003). A través de estos análisis estadísticos, se buscó determinar el efecto del tamaño de partículas de grava en la humedad del suelo y observar variaciones según tipo de suelo, profundidad y mes.

III. Resultados

Los datos descriptivos muestran que la cantidad total de partículas de grava varió entre 45 y 40,782, con una media de $9,345 \pm 10,027$ (Tabla 1). Al separar la grava por tamaño, la fracción fina representó el 98.63% del total ($9,217 \pm 10,026$), mientras que la gruesa fue menor: 1.37% (127.67 ± 83.57). El rango del peso total de la grava varió entre 1.72 y 116.70 g con un promedio de (24.38 ± 16.43 g). La grava fina representó 28.34% (6.91 ± 6.24 g) del peso de las muestras, mientras que la grava gruesa (17.40 ± 14.25 g) representó 71.66%. La densidad aparente osciló entre 0.51 y 2.14 g/cm^3 ($1.06 \pm 0.30 \text{ g/cm}^3$). Al excluir la fracción de grava, la densidad aparente ajustada tuvo un rango entre 0.11 y 1.71 g/cm^3 y su promedio disminuyó ($0.80 \pm 0.27 \text{ g/cm}^3$). Por otro lado, el contenido de agua gravimétrico presentó una media de 16.38 ± 0.06 % con valores que oscilaron entre 4.53 % y 34.25 %.

Los resultados indican que los suelos son similares en densidad aparente con una tendencia a ser mayor en el suelo Jacaguas, ($1.11 \pm 0.33 \text{ g/cm}^3$), en comparación con San Antón ($1.02 \pm 0.27 \text{ g/cm}^3$) (Tabla 2). Se encontró una relación significativa entre el peso total de la grava y la densidad aparente del suelo ($p < 2.2\text{e-}16$; $F = 113.7$; $gl = 1$). El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.2516$) muestra que el peso total de la grava explica el 25.16 % de la variabilidad observada en la densidad aparente. Se analizó la asociación entre la densidad aparente y el contenido de agua gravimétrico en los suelos evaluados, con el fin de identificar posibles relaciones entre estas variables. Los resultados indican que no hay diferencia estadísticamente significativa entre la densidad aparente del suelo y el contenido de agua gravimétrico en ninguno de los suelos evaluados: Jacaguas ($p = 0.2123$) y San Antón ($p = -0.1002$). Al ajustar la densidad aparente, excluyendo el peso de la grava, se observó una relación significativa entre la densidad aparente ajustada y el contenido de agua gravimétrico ($p = 0.0001$)

para el suelo de Jacaguas (Figura 2). No obstante, para el suelo de San Antón no hubo relación significativa entre la densidad aparente (sin grava) y el contenido de agua gravimétrico ($p = 0.0728$).

No se observaron diferencias significativas en la cantidad total de número de partículas de grava entre los suelos ($F = 1.52$; $p > 0.2198$), aunque el suelo de Jacaguas tuvo una mayor variabilidad (Fig. 3). En contraste, se identificó una diferencia significativa en el peso promedio de las partículas de grava entre ambos suelos en los primeros 30 cm de profundidad ($F = 11.91$; $p < 0.0007$), siendo mayor en el suelo de Jacaguas (Fig. 4). Como se muestra en la Tabla 2, el suelo de Jacaguas presentó un peso promedio de $0.31 \pm 0.21 \text{ g/cm}^3$, mientras que en San Antón fue de $0.22 \pm 0.14 \text{ g/cm}^3$.

El número promedio de partículas de grava, en función del tamaño y la profundidad del suelo (0–15 cm y 15–30 cm), presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), con una mayor abundancia de grava fina en ambos suelos (Fig. 5). El peso promedio de las partículas de grava fue significativamente mayor en la fracción gruesa que en la fina, en ambos tipos de suelo y a ambas profundidades ($p < 0.05$) (Fig. 6). En el suelo de San Antón, esta diferencia entre tamaños de grava fue particularmente marcada en ambas profundidades. El análisis de varianza (ANOVA) indicó que la capa de 15–30 cm de profundidad presentó la mayor media de partículas de grava, tanto en número total como en peso, en ambos tipos de suelo.

Las partículas de grava gruesa ($> 2 \text{ mm}$) influyeron significativamente en la retención de humedad del suelo en ambos sitios ($p = 0.0013$), mientras que la grava fina ($< 2 \text{ mm}$) no mostró una relación significativa con el contenido de agua gravimétrico ($p = 0.54$). El suelo de Jacaguas presentó una mayor proporción de partículas de grava gruesa en número (62.73 %) en comparación con San Antón (37.27 %) (Tabla 2). En

contraste, la distribución de grava fina fue similar entre ambos suelos: 50.75 % en Jacaguas y 49.25 % en San Antón. De manera consistente, en términos de peso, la fracción de grava gruesa también fue más abundante en Jacaguas (52.13 %) que en San Antón (47.87 %). El suelo de San Antón registró un contenido de agua gravimétrico superior (54.12 %) en comparación con Jacaguas (45.88 %) (Tabla 2).

En el suelo de Jacaguas, a una profundidad de 0–15 cm, se observó una diferencia significativa en el contenido de agua gravimétrico entre los meses de abril y agosto ($p = 0.0001$) (Fig. 7.A). En abril, el valor promedio fue de 17.83 ± 0.70 %, mientras que en agosto fue de 21.14 ± 0.90 % (media $\pm$ error estándar). A una profundidad de 15–30 cm (Fig. 7.B) también se encontraron diferencias significativas entre los meses de abril, junio, agosto y octubre ($p = 0.0001$). El mes de agosto presentó la media más alta (18.923 ± 0.9476 %) y abril la más baja (16.942 ± 0.7340 %). Por otro lado, el suelo de San Antón de 0-15 cm de profundidad (Fig. 8.A) tuvo diferencias significativas en los meses de octubre y junio ($p = 0.0115$) y octubre y diciembre ($p = 0.0397$). El mes de octubre presentó el valor medio más alto (19.124 ± 1.1637 %), mientras que junio mostró una media inferior (13.672 ± 1.1637 %). Entre los meses de abril y junio se observa una diferencia estadísticamente significativa (p -valor = 0.0066) en el suelo de San Antón a una profundidad de 15-30 cm (Figura 8.B). Abril presentó la media más alta (19.426 ± 1.2569 %), mientras que junio registró la más baja (13.220 ± 1.2569 %).

IV. Discusión

Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis planteada: tanto la cantidad como el tamaño de las partículas de grava influyen significativamente en la retención de agua del suelo. Uno de los hallazgos más relevantes fue la alta proporción de grava gruesa en términos de peso en los suelos del cultivo de aguacate en la Finca Atabey. La comparación entre los suelos de Jacaguas y San Antón reveló diferencias marcadas en la distribución y composición del particulado de grava. El suelo de Jacaguas, con un mayor peso promedio de grava ($0.31 \pm 0.21 \text{ g/cm}^3$) (Fig. 4) y una mayor proporción de grava gruesa (52.13 %), presentó una menor retención de agua (45.88 %). En contraste, el suelo de San Antón, con un peso promedio de grava más bajo ($0.22 \pm 0.14 \text{ g/cm}^3$) y una menor proporción de grava gruesa (47.87 %), retuvo más agua (54.12 %). Este patrón sugiere que no solo la cantidad de grava, sino también el tamaño de las partículas influye de manera significativa en la capacidad del suelo para almacenar agua.

Las propiedades físicas del suelo como el contenido de grava y la densidad aparente presentan variaciones considerables que influyen en su capacidad de retención de humedad (Tabla 1). El amplio rango y desviación estándar del contenido de grava (45 a 40,782 partículas; $9,345 \pm 10,027$) evidencian una fuerte heterogeneidad entre muestras, posiblemente atribuida a diferencias en el origen del suelo, procesos erosivos o prácticas de manejo. Aunque la fracción fina constituye el 98.63% en número de partículas, la grava gruesa representa el 71.66% del peso total, lo que indica que esta última tiene un mayor impacto en las propiedades físicas del suelo, debido a su mayor tamaño y masa individual. Los valores obtenidos de densidad aparente permiten evaluar el nivel de compactación de los diferentes tipos de suelo analizados. Un incremento en este parámetro indica una mayor compactación y una reducción del espacio poroso (Chaudhari et al., 2013). Sin embargo, cuando el suelo contiene una proporción

considerable de partículas gruesas, como grava, esta métrica puede llevar a interpretaciones erróneas si no se considera adecuadamente su influencia. En este estudio, se observó que el suelo de Jacaguas presentó una densidad aparente total promedio de 1.11 g/cm^3 , superior a la registrada en San Antón (1.02 g/cm^3) (Tabla 2). A primera vista, esto sugeriría que Jacaguas tiene una estructura más compacta. No obstante, al considerar que este suelo contiene una mayor cantidad de grava, es necesario reevaluar esta conclusión. La inclusión de grava aumenta artificialmente la densidad aparente del suelo, pero no refleja un incremento real en la compactación de la fracción activa (arena, limo y arcilla), la cual desempeña un papel crucial en la conductividad hidráulica (Cherif Taiba, Mahmoudi, Azaiez, Belkhatir, & Baille, 2022). Por esta razón, se calcularon densidades aparentes corregidas, excluyendo la grava, lo cual permitió obtener una estimación más precisa de la estructura del suelo fino en cada sitio.

Al analizar la densidad aparente ajustada (excluyendo la fracción de grava), se observó que el suelo de San Antón presentó valores ligeramente superiores ($0.81 \pm 0.23 \text{ g/cm}^3$) en comparación con Jacaguas ($0.80 \pm 0.31 \text{ g/cm}^3$). Esto sugiere que, al eliminar la influencia de las partículas de grava, la estructura del suelo en San Antón es más compacta. Este hallazgo resalta la importancia de considerar la fracción gruesa del suelo al interpretar parámetros físicos como la densidad aparente, especialmente en suelos pedregosos. Comparaciones basadas únicamente en valores brutos podrían sobrestimar la compactación en suelos con alta proporción de grava, como es el caso de Jacaguas. En los análisis de correlación (Fig. 2), se observa que la densidad aparente ajustada presenta una pendiente positiva con respecto al contenido de agua gravimétrico en el suelo de Jacaguas, a diferencia de la densidad aparente (con grava incluida), donde no se evidencia una relación positiva. Esto indica que la presencia de grava en la matriz del

suelo interfiere con su capacidad de retención de agua. En línea con estos hallazgos, estudios previos, como los de Wang et al. (2012) y Jomaa et al. (2013), han demostrado que el contenido de grava influye en procesos clave como la infiltración y la dinámica del agua en el suelo, reforzando la importancia de las partículas de grava en la retención de humedad.

Aunque no se observaron diferencias significativas en el número total de partículas de grava entre los suelos de Jacaguas y San Antón en los primeros 30cm de profundidad, se puede ver mayor variabilidad en Jacaguas (Fig. 3). Esta variabilidad podría estar asociada tanto a su mayor contenido total de grava, como a su textura franco-arcillosa, lo que sugiere una mayor heterogeneidad espacial en comparación con el suelo arcilloso de San Antón. Por otro lado, el análisis mostró diferencias significativas en el peso promedio de las partículas de grava en los primeros 30 cm de profundidad ($F = 11.91$; $p < 0.0007$), con valores más altos en el suelo de Jacaguas (Fig. 4). Este resultado indica que las fracciones gruesas son predominantes en Jacaguas en comparación con San Antón. Los suelos con diferentes contenidos de materiales gruesos y finos pueden formar diversas estructuras en el esqueleto del suelo, lo que resulta en variaciones en la microporosidad (Zhang y Li, 2010). Aunque la presencia de partículas gruesas, como la grava, puede aumentar la porosidad total del sistema suelo-piedra, este incremento no mejora necesariamente la capacidad de retención de agua. Los poros formados por los materiales gruesos tienden a ser demasiado grandes, lo que facilita la pérdida de agua. Este efecto es más pronunciado en mezclas con alto contenido de grava (Fiès et al., 2002). La inclusión de este material grueso altera la estructura interna del suelo, afectando la organización natural de las partículas y la continuidad de los poros finos, lo que interrumpe la matriz del suelo (Beck-Broichsitter et al., 2023). Esta interrupción incrementa la permeabilidad del suelo debido al aumento

de los macroporos generados entre las partículas de grava (de Figueiredo y Poesen, 1998). Al romperse la continuidad de la red de poros finos, se reduce la porosidad capilar efectiva, crucial para la retención de agua contra la gravedad (Beck-Broichsitter et al., 2023). Como resultado, el agua se drena con mayor facilidad, disminuyendo la capacidad del suelo para retenerla como ocurre en el suelo pedregoso de Jacaguas.

La mayor abundancia de partículas de grava fina en ambos suelos y profundidades (Fig. 5) puede atribuirse a su menor tamaño, que permite una mayor densidad numérica por unidad de volumen. Esta fracción también es más propensa a ser movilizada y redistribuida a través de procesos naturales como la sedimentación, o antrópicos como la labranza, lo que favorece su acumulación en distintas capas del suelo. Al evaluar el efecto de la grava fina sobre la retención de humedad en suelos arcillosos y franco-arcillosos, se observó que su influencia no fue significativa ($p = 0.54$). En contraste con la grava gruesa, la fracción fina tiende a comportarse de manera más pasiva dentro del sistema edáfico. La representación gráfica del peso promedio (Fig. 6) muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tamaños, con valores más altos en la grava gruesa. En el suelo de San Antón, estas diferencias entre tamaños son marcadas. Al tratarse de un suelo arcilloso con un menor contenido de grava en peso, como se muestra en la figura 5, presenta una menor variabilidad. Aunque la grava fina es más abundante en número de partículas, la grava gruesa (por su mayor masa individual) aporta mayor proporción al peso total, lo que les confiere un impacto más significativo a las propiedades físicas del suelo. Los resultados del presente estudio son comparables con los reportados por Beck-Broichsitter et al. (2023), quienes encontraron que un mayor contenido de grava gruesa modifica significativamente la estructura porosa del suelo, especialmente en las fracciones de poros gruesos y finos, lo que conlleva una reducción en su capacidad de retención de agua. En cambio, la presencia de grava fina

no genera alteraciones importantes en la porosidad ni en la dinámica hídrica del suelo. Aunque los suelos analizados en ambos estudios presentan diferencias texturales: arenosos y limosos en el estudio comparativo, frente a arcillosos y franco-arcillosos en el presente trabajo, los efectos observados son consistentes. Esto refuerza la evidencia de que la presencia de grava gruesa puede ejercer una influencia negativa sobre la retención de humedad en suelos con distintas características físicas.

Se observó que la distribución vertical de la grava varía de manera distinta en los perfiles del suelo de Jacaguas y San Antón. En ambos casos, el mayor contenido de grava (en peso y número de partículas) se encontró en la capa de 15–30 cm de profundidad. La alta concentración de grava a esta profundidad puede atribuirse a procesos de sedimentación típicos de ambientes aluviales. Durante eventos de crecida, los flujos de alta energía transportan partículas gruesas, que posteriormente se depositan conforme disminuye la velocidad del agua, favoreciendo su acumulación en los estratos intermedios del perfil (DeJong, Sturm, & Ghafghazi, 2016). Los resultados de este estudio sugieren que la variabilidad en el contenido de agua del suelo está más relacionada con las propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, capacidad de infiltración y la influencia de la grava, que con factores temporales. En este sentido, la alta proporción de grava en los perfiles del suelo agrava la escasez hídrica, ya que reduce la cantidad de agua retenida tras lluvias o riego (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2000).

El enfoque del estudio fue altamente efectivo, permitiendo evaluar de manera detallada el impacto del tamaño de la grava sobre la retención de agua en suelos de diferentes texturas, como los arcillosos y franco-arcillosos. La integración de técnicas tradicionales, como el análisis gravimétrico, la granulometría y la medición de densidad aparente, facilitó una visión clara del comportamiento hidrológico de los suelos. El

muestreo estratificado en dos profundidades (0–15 cm y 15–30 cm), alineado con las zonas de mayor actividad radicular en el cultivo de aguacate, proporcionó resultados con mayor relevancia agronómica. Además, al corregir las densidades aparentes para excluir la fracción gruesa, se mejoró la precisión en la evaluación de la compactación y la estructura del suelo, fortaleciendo la metodología y ofreciendo un análisis más preciso de su funcionalidad.

El estudio, aunque bien diseñado, enfrentó algunos desafíos que deben ser considerados al interpretar los resultados. Uno de los principales fue el periodo de muestreo relativamente corto, lo que limitó la capacidad de capturar completamente las variaciones estacionales en el contenido de agua del suelo. Por lo tanto, las conclusiones sobre estacionalidad deben interpretarse con cautela, ya que no reflejan patrones a largo plazo. Además, no fue posible recolectar el mismo número de muestras en todos los meses: en agosto, el paso de la tormenta Ernesto impidió completar el muestreo planificado, y en octubre, un fallo técnico con el muestreador de martillo limitó la obtención de datos. Esto pudo haber afectado la consistencia en la comparación entre fechas y la fuerza estadística de algunos análisis. Asimismo, la ausencia de mediciones específicas sobre la distribución del tamaño de poros impidió cuantificar con mayor exactitud el impacto diferencial de la grava sobre la porosidad capilar y no capilar, variables críticas en la dinámica hídrica del suelo. A pesar de estos retos, el enfoque experimental permitió validar la hipótesis central del estudio.

Los resultados de este estudio confirman que la cantidad y el tamaño de la grava influyen significativamente en la retención de humedad del suelo, lo que respalda la hipótesis planteada. En particular:

(i) El suelo con mayor peso promedio de partículas de grava y mayor proporción de grava gruesa reflejó el menor contenido de humedad, lo que indica menor capacidad de almacenamiento hídrico.

(ii) En suelos con alta proporción de grava gruesa, la eficiencia del riego puede verse afectada si no se implementan prácticas de manejo adecuadas, como ajustes en la frecuencia y el volumen de aplicación.

(iii) Una mayor concentración de grava en la capa de 15–30 cm disminuye la capacidad de retención de humedad, lo que limita la disponibilidad de agua en la zona donde las raíces del aguacate realizan la mayor parte de la absorción hídrica.

Estos hallazgos evidencian la necesidad de considerar estas características del suelo al momento de diseñar estrategias de manejo sostenible, ya que estas determinan su capacidad para almacenar y regular la disponibilidad de agua. Esta consideración resulta especialmente relevante en suelos pedregosos en áreas con déficit de lluvias. Su adecuada gestión no solo es crucial a nivel de producción, sino también en el contexto del cambio climático, dado que se espera un aumento en los periodos secos y una expansión de las regiones semiáridas en el mundo (Huang et al., 2016; Soares et al., 2021). Por ello, se recomienda continuar con investigaciones que incluyan el monitoreo sistemático de las propiedades del suelo en estas áreas, con el objetivo de promover un uso sostenible de los recursos hídricos y conservar tanto el agua como la calidad del suelo a largo plazo.

V. Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2000). *Irrigation and water resources in Latin America and the Caribbean: Challenges and strategies* (92 p.). Banco Interamericano de Desarrollo, División de Tecnología Ambiental y de Producción.
- Beck-Broichsitter, S., Rizvi, Z. H., Horn, R., & Wuttke, F. (2023). Effect of gravel content on soil water retention characteristics and thermal capacity of sandy and silty soils. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 71(1), 1-10.
- Brady, N.C. & Weil, R.R (2008). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Prentice Hall. pp. 975.
- Ceballos, A., Martínez-Fernández, J., Santos, F., & Alonso, P. (2002). Soil-water behaviour of sandy soils under semi-arid conditions in the Duero Basin (Spain). *Journal of Arid Environments*, 51(4), 501-519.
- Chaudhari, P. R., Ahire, D. V., Ahire, V. D., Chakravarty, M., & Maity, S. (2013). Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific Research and Public Health*, 3, 1-8.
- Cherif Taiba, A., Mahmoudi, Y., Azaiez, H., Belkhatir, M., & Baille, W. (2022). Predicting the saturated hydraulic conductivity of particulate assemblies based on active fraction of fines and particle-size disparity parameters. *Geomechanics and Geoengineering*, 17(3), 809-821.
- de Figueiredo, T., & Poesen, J. (1998). Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil. *Soil and Tillage Research*, 46, 81–95.
[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)80110-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)80110-4)

DeJong, J. T., Sturm, A. P., & Ghafghazi, M. (2016). Characterization of gravelly alluvium. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 91, 104–115.

<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.201>

Dexter, A. (2004). Soil physical quality: Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3), 201-214.

Fiès, J. C., Louvigny, N. D. E., & Chanzy, A. (2002). *The role of stones in soil water retention*. *European Journal of Soil Science*, 53(1), 95–104.

<https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2002.00433.x>

Gill, J. S., Tisdall, J., Sukartono, K. I., & McKenzie, B. M. (2004). Physical properties of a clay loam soil mixed with sand. En *SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference*.

Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C., & Vega-Franco, L. (2003). Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuando usarlas. *Revista mexicana de pediatría*, 70(2).

Govender, Y., Cuevas, E., Sternberg, L. D. S., & Jury, M. R. (2013). Temporal variation in stable isotopic composition of rainfall and groundwater in a tropical dry forest in the northeastern Caribbean. *Earth Interactions*, 17, 1-

20. <https://doi.org/10.1175/2013EI000534.1>

Huang, J., Ji, M., Xie, Y., Wang, S., He, Y., & Ran, J. (2016). Global semi-arid climate change over last 60 years. *Climate Dynamics*, 46, 1131-

1150. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2636-8>

Inter-American Development Bank. 2000. Irrigation and water resources in Latin America and the Caribbean: challenges and strategies. 92 p. Inter-American Development Bank, Environment and Production Technology Division, Washington D.C., USA.

Jomaa, S., Barry, D. A., Heng, B. C. P., Brovelli, A., Sander, G. C., & Parlange, J. Y. (2013). Effect of antecedent conditions and fixed rock fragment coverage on soil erosion dynamics through multiple rainfall events. *Journal of Hydrology*, 484(7), 115–127. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.021>

Katou, H., Miyaji, K., & Kubota, T. (1987). Susceptibility of undisturbed soils to compression as evaluated from the changes in the soil water characteristic curves. *Soil Science and Plant Nutrition*, 33(4), 539-554.

Lugo López, M. A., Juárez, J., & Bonnet, J. A. (1968). Relative infiltration rate of Puerto Rican soils. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 52(3), 263-270.

Medina, E., Cuevas, E., Molina, S., Lugo, A. E., & Ramos, O. (2010). Structural variability and species diversity of a dwarf Caribbean dry forest. *Caribbean Journal of Science*, 46(2–3), 203–215.

Minnesota Pollution Control Agency. (n.d.). Soil physical properties and processes. *Minnesota Pollution Control Agency*. https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Soil_physical_properties_and_processes

Ortiz Carrión, B. (2021). Hidrogeología, impacto antropogénico y percepciones humanas en la zona de recarga del acuífero de Santa Isabel, Puerto Rico (Tesis doctoral, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras).

Paruelo, J. M., Aguiar, M. R., & Golluscio, R. A. (1988). *Soil water availability in the Patagonian arid steppe: Gravel content effect. Arid Soil Research and Rehabilitation*, 2(1), 67–74. <https://doi.org/10.1080/15324988809381159>

Pires, L. F., Cássaro, F. A. M., Reichardt, K., & Bacchi, O. S. (2008). Soil porous system changes quantified by analyzing soil water retention curve modifications. *Soil and Tillage Research*, 100, 72-77.

Quiñones, F., & Torres, S. (2012). Clima de Puerto Rico. *Recursos de Agua de Puerto Rico*.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Universidad de la República: Facultad de Agronomía.

Salazar, L. A. L., & Khalajabadi, S. S. *Taxonomía de suelos*.

Soares, M. D. O., Campos, C. C., Carneiro, P. B. M., Barroso, H. S., Marins, R. V., Teixeira, C. E. P., ... & Garcia, T. M. (2021). Challenges and perspectives for the Brazilian semi-arid coast under global environmental changes. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(3), 267-278. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.001>

Taleb, H. B., Brhadda, N., & Ziri, R. (2022). A study of the effect of replacing drip irrigation system by micro-sprinklers in avocado (persea americana mill) in Morocco. *Revista Electronica De Veterinaria*, 61-68.

Unger, P. W. (1971). Soil profile gravel layers: I. Effect on water storage, distribution, and evaporation. *Soil Science Society of America Journal*, 35(4), 631. <https://doi.org/10.2136/sssaj1971.03615995003500040041x>

U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2000). Jacaguas series. Established series. Rev. REG, 08/2000. https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/J/JACAGUAS.html

U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2006). San Anton series. Established series. Rev. GRB, 09/2006. https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/S/SAN_ANTON.html

- Vargas-Tapia, P., Castellanos, R. J., & Muñoz, R. J. (2008). Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 323-331.
- Vetterlein, D., Szegedi, K., Stange, F., & Jahn, R. (2007). Impact of soil texture on temporal and spatial development of osmotic potential gradients between bulk soil and rhizosphere. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 347-356.
- Wang, Y., Li, Z. X., Cai, C. F., Shi, Z. H., Xu, Q. X., Fu, Z. Y., & Guo, Z. L. (2012). Effects of rock fragment cover on hydrological response and soil loss from Regosols in a semi-humid environment in south-West China. *Geomorphology*, 151-152, 234–242.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.02.008>
- Zhang, B., Zhao, Q. G., Horn, R., & Baungartl, T. (2001). Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. *Soil & Tillage Research*, 59, 97-106.
- Zhang, L. M., & Li, X. (2010). Microporosity structure of coarse granular soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(10), 1425-1436.

VI. Tablas

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de muestras tomadas en Santa Isabel, PR 11-4-2024 a 13-12-2024.

Variable	Media	DE*	Mínimo	Máximo	Porcentaje (%)
Densidad aparente (g/cm ³)	1.06	0.3	0.51	2.14	N/A
Densidad aparente sin grava (g/cm ³)	0.8	0.27	0.11	1.71	N/A
Cantidad total de grava	9,345	10,027	45	40,782	N/A
Partículas de grava fina	9,217	10,026	14	40,655	98.63
Partículas de grava gruesa	127.67	83.57	11	524	1.37
Peso total de grava (g)	24.38	16.43	1.72	116.7	N/A
Peso de grava fina (g)	6.91	6.24	0.03	26.19	28.34
Peso de grava gruesa (g)	17.4	14.25	1.3	103.66	71.66
Contenido de agua gravimétrico (%)	16.38	5.06	4.53	34.25	N/A

DE* = Desviación estándar

Tabla 2. Características del suelo de Jacaguas y San Antón.

Parámetro	Jacaguas	San Antón
Densidad aparente (g/cm ³)	1.11 ± 0.33	1.02 ± 0.27
Densidad aparente sin grava (g/cm ³)	0.80 ± 0.31	0.81 ± 0.23
Cantidad total de grava / cm ³	111.49 ± 132.94	91.15 ± 81.14
Partículas de grava fina (%)	50.75	49.25
Partículas de grava gruesa (%)	62.73	37.27
Peso total de grava (g) / cm ³	0.31 ± 0.21	0.22 ± 0.14
Peso de grava fina (%)	60.68	39.32
Peso de grava gruesa (%)	52.13	47.87
Contenido de agua gravimétrico (%)	45.88	54.12

VII. Figuras

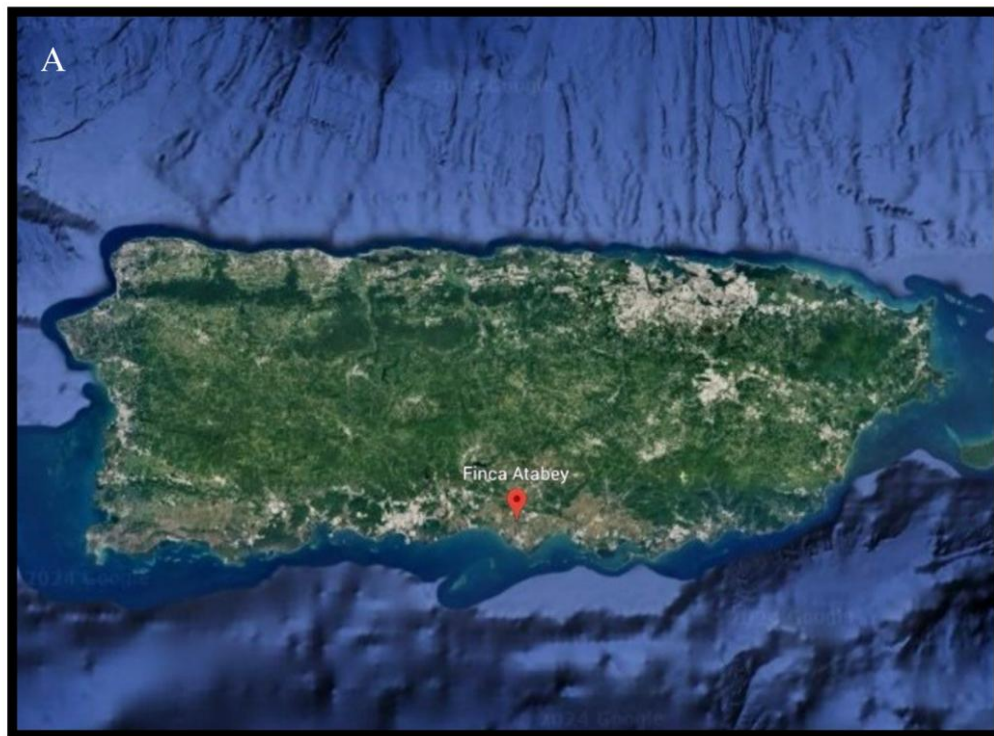


Figura 1.A Área de estudio. Imagen ampliada y editada de Google Earth®

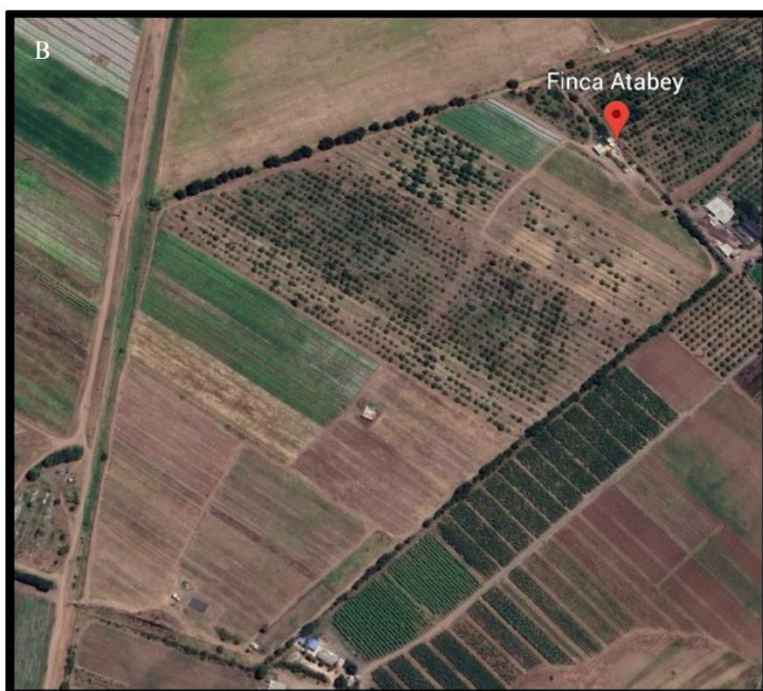


Figura 1.B Finca Atabey. Imagen ampliada y editada de Google Earth®

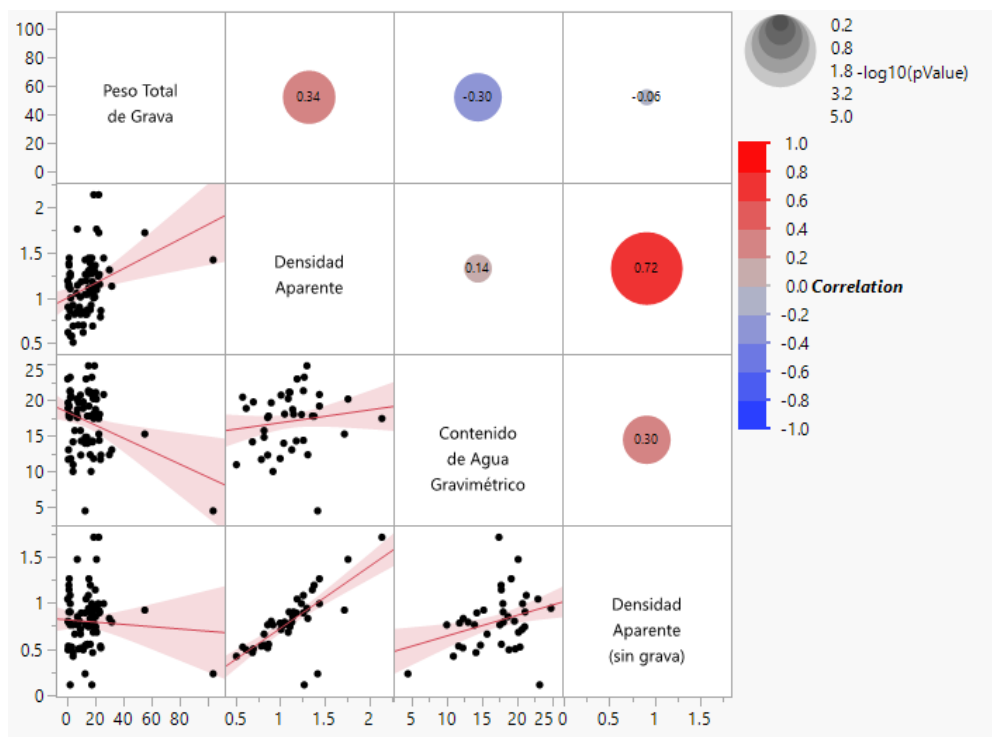


Figura 2. Correlación entre el peso total de grava, densidad aparente, densidad aparente (sin grava) y contenido de agua gravimétrico en el suelo de Jacaguas.

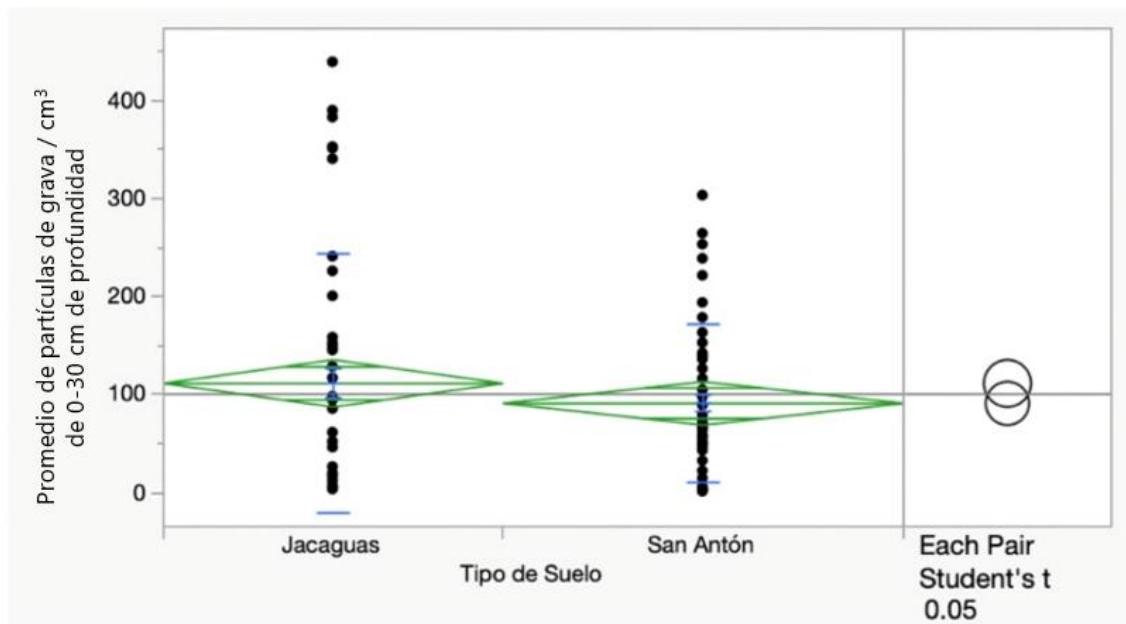


Figura 3. Variación en el número de partículas de grava según el tipo de suelo, en los primeros 30 cm del perfil.

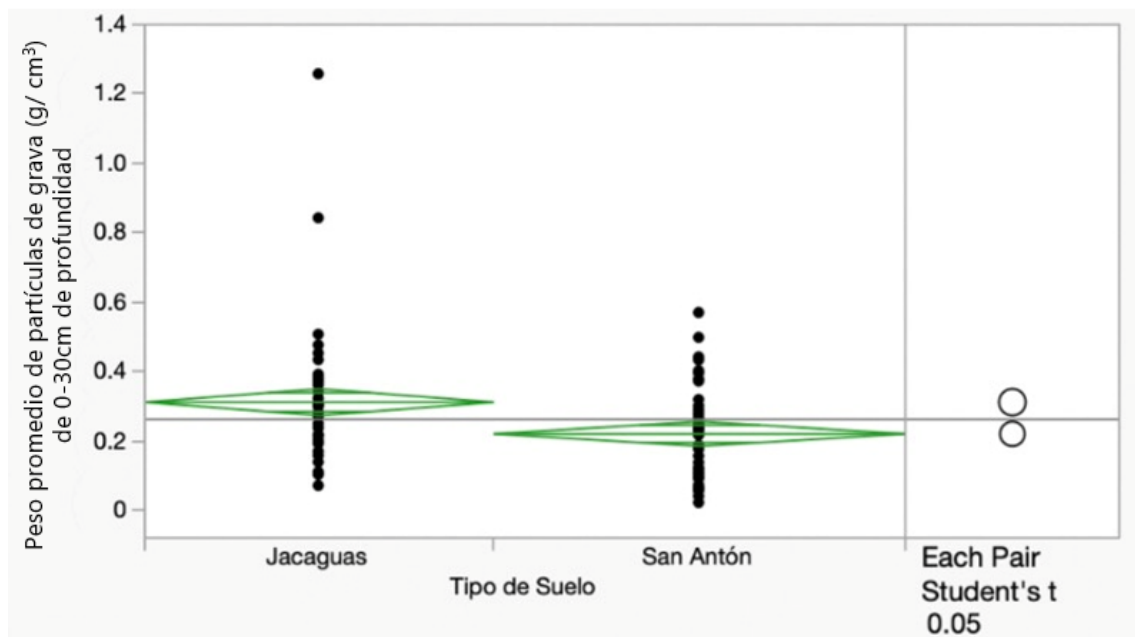


Figura 4. Variación en el peso total de partículas de grava según el tipo de suelo, en los primeros 30 cm del perfil.

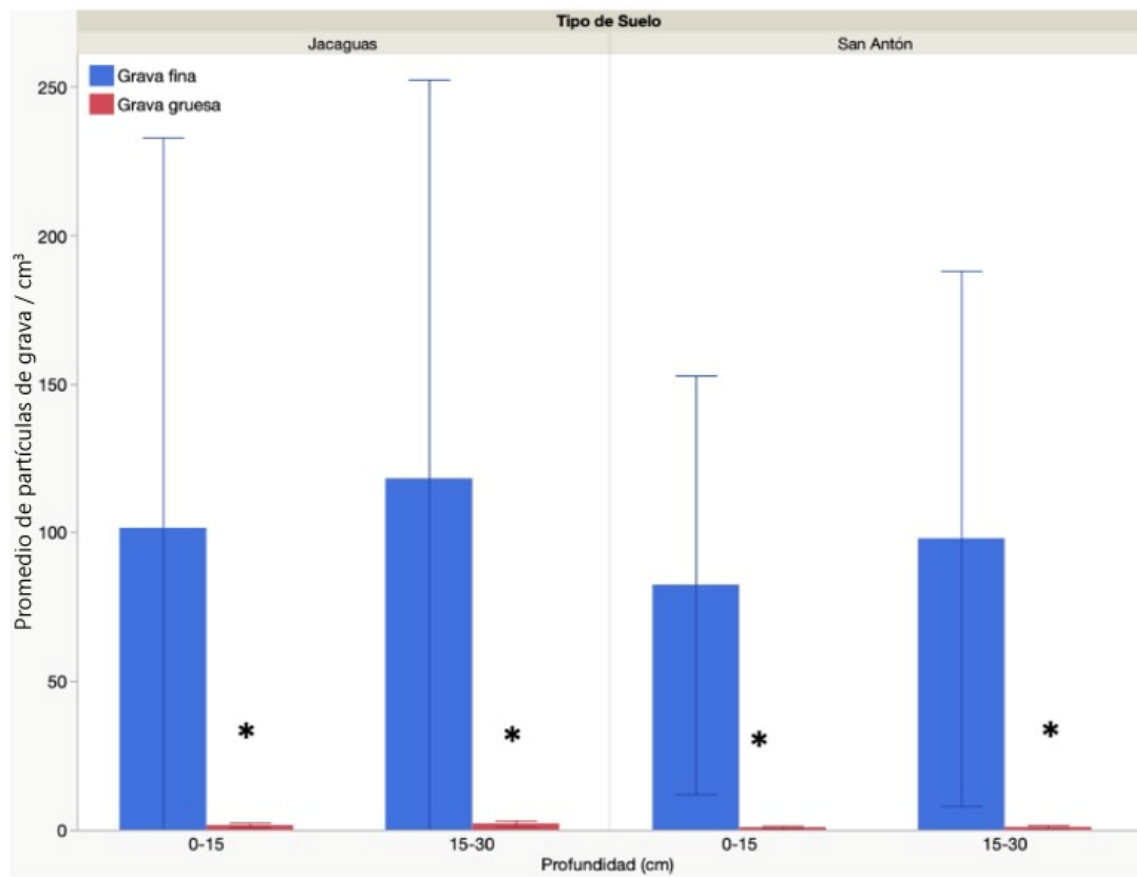


Figura 5. Contenido de grava por número de partículas en los suelos de Jacaguas y San Antón, según la profundidad del perfil.

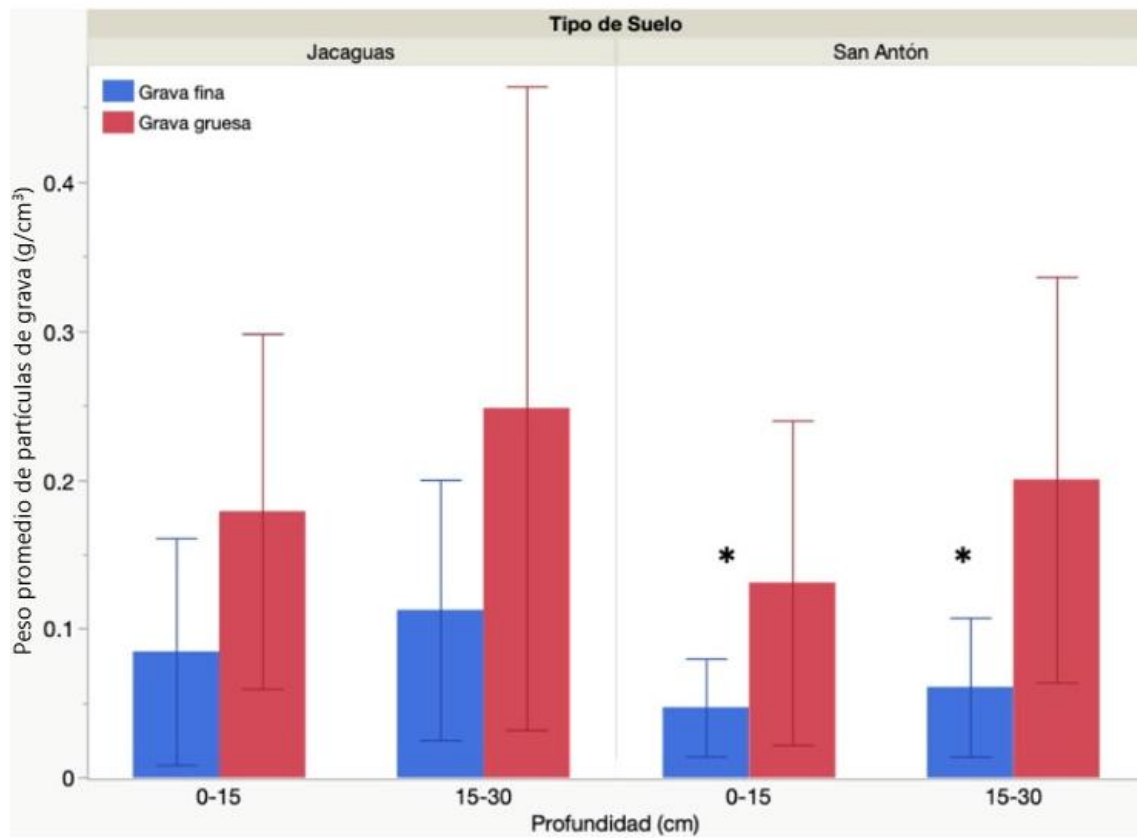


Figura 6. Contenido de grava por peso total en los suelos de Jacaguas y San Antón, según la profundidad del perfil.

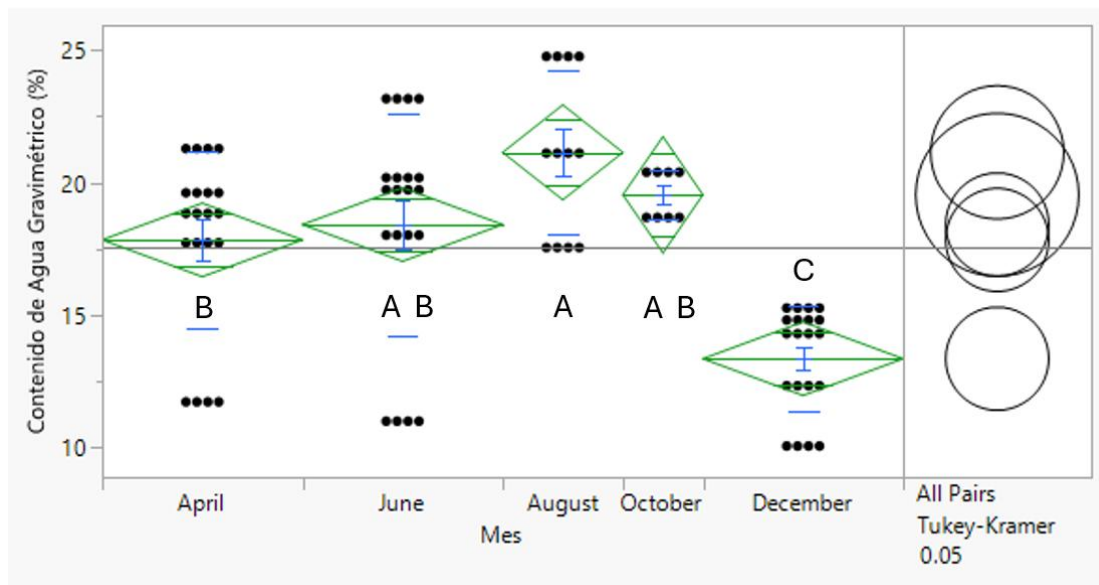


Figura 7.A Variación de la retención de agua del suelo según mes, para el suelo de Jacaguas (0-15 cm).

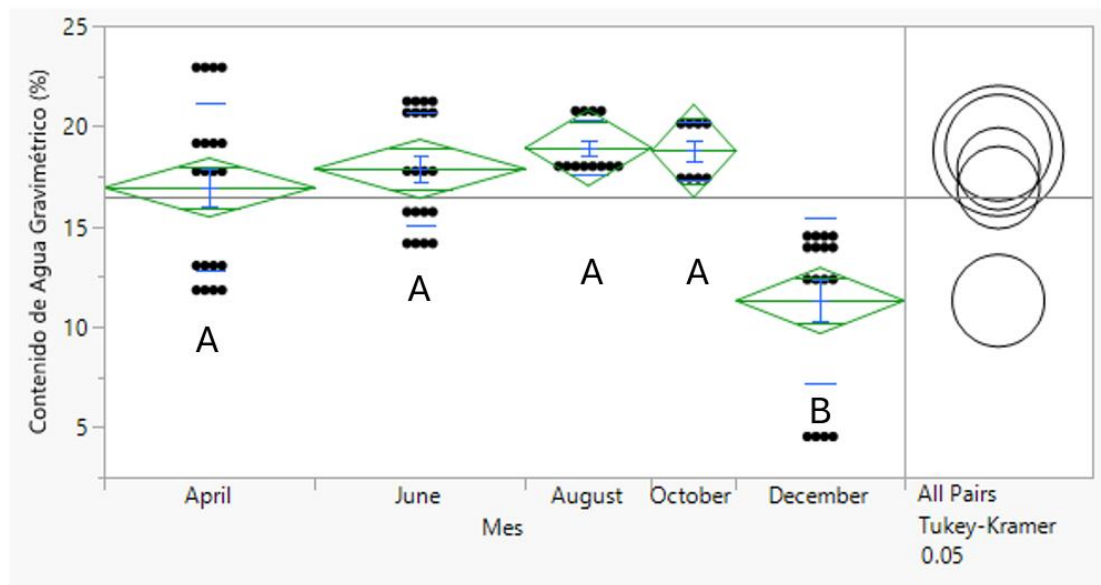


Figura 7.B Variación de la retención de agua del suelo según mes, para el suelo de Jacaguas (15-30 cm).

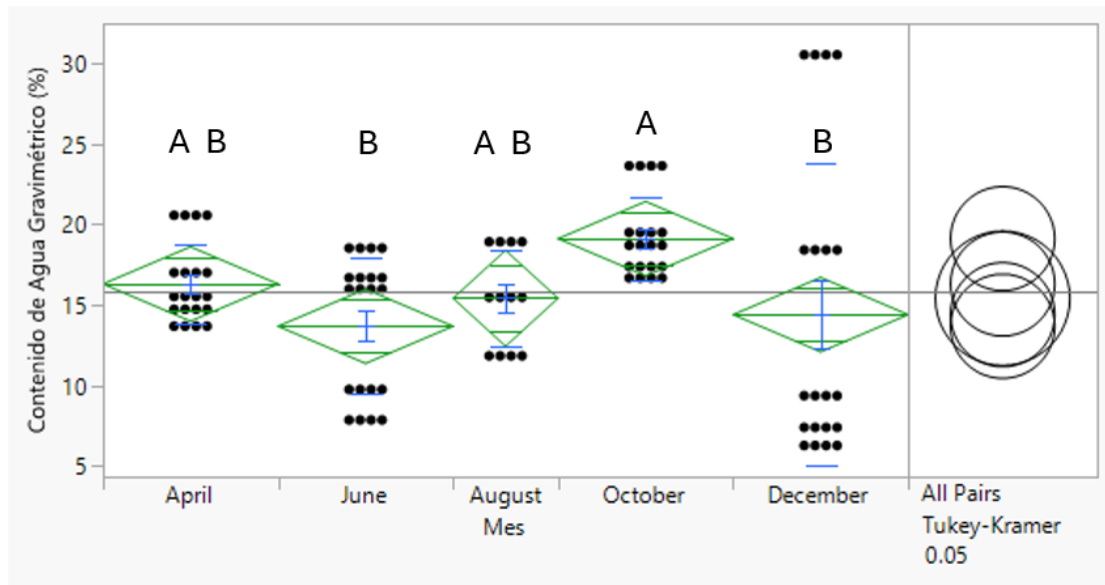


Figura 8.A Variación de la retención de agua del suelo según mes, para el suelo de San Antón (0-15 cm).

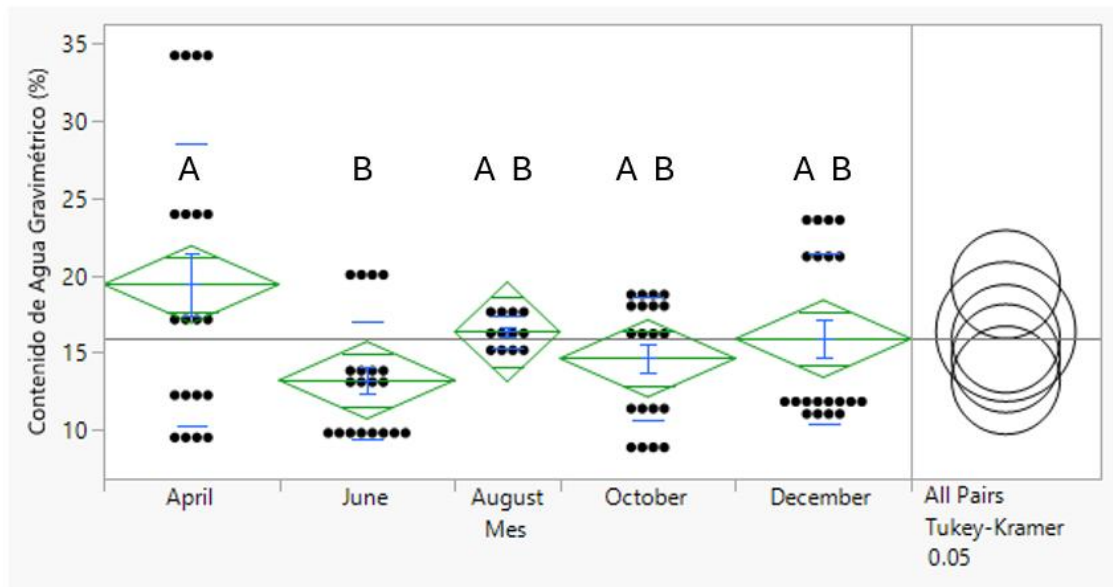


Figura 8.B Variación de la retención de agua del suelo según mes, para el suelo de San Antón (15-30 cm).