

# Propiedades hidrológicas del suelo en una microcuenca de Filo del Tallo, Darién

## Hydrological properties of the soil in a micro-watershed of Filo del Tallo, Darién

Manuel Isaac Pérez<sup>1</sup>, Manuel Arcia<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil, Centro Regional de Panamá Oeste, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Centro Regional de Panamá Oeste, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

\*Autor de correspondencia: [manuel.arcia@utp.ac.pa](mailto:manuel.arcia@utp.ac.pa)

**RESUMEN.** Panamá es un país con abundantes precipitaciones, sin embargo, los efectos del cambio climático como una sequía prolongada en el año 2023, causó problemas con el suministro de agua para consumo humano y otras actividades como la operación del Canal de Panamá. La Cuenca del Canal de Panamá es monitoreada continuamente y allí se han realizado numerosos estudios. No obstante, son pocos los estudios en otras cuencas. El objetivo de este trabajo es determinar las propiedades hidrológicas del suelo en una microcuenca de Darién. Los ensayos se realizaron según la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales y con un método reconocido en la literatura tanto para la densidad aparente y la humedad. Por otro lado, se determinó la conductividad hidráulica no saturada mediante un infiltrómetro Mini Disk con una succión de 2 cm. Los resultados reportaron cuatro texturas: franco, franco arenoso, arenoso franco y franco limoso. Además, a lo largo de la microcuenca los suelos de textura fina mostraron un dominio de limo y los cerros de Filo del Tallo exhibieron más material grueso que el área plana de pastoreo. La densidad aparente mínima se encontró en el bosque con 0.77 Mg/m<sup>3</sup> y el área de pastoreo reportó valores inferiores a 1.3 Mg/m<sup>3</sup>. La gravedad específica se encontró entre 2.41 y 2.60, mientras que la humedad en un punto del bosque fue del 30.9% incluso después de dos meses de precipitaciones muy limitadas. Finalmente, la mayor conductividad hidráulica no saturada se encontró en un cerro, con un valor de 8.89 mm/h.

**Palabras clave.** Conductividad hidráulica, Darién, hidrología, suelo.

**ABSTRACT.** Panamá is a country with abundant precipitation, nevertheless, the effects of climate change like a prolonged drought in 2023, have caused problems with the water supplies for human consumption and other activities like the Panama Canal operation. The Panama Canal watershed is continuously monitored, and plenty of studies have been carried out there. However, the studies about the other watersheds in the country are very limited. The objective of this study is to determine the hydrological properties of the soil in a micro-watershed in Darién. The essays were carried out according to the American Society for Testing and Materials and with a recognized method in the literature for bulk density and soil moisture. On the other hand, unsaturated hydraulic conductivity was determined using a Mini Disk infiltrometer with a suction rate of 2 cm. The results reported four soil texture: loam, loamy sand, sandy loam and silty loam. Furthermore, throughout the micro-watershed fine textured soils showed a dominance of silt and the hills of Filo del Tallo exhibited more coarse material than the plain area designated for grazing. The minimum bulk density was found in the forest with 0.77 Mg/m<sup>3</sup> and the grazing area reported values lowers than 1.3 Mg/m<sup>3</sup>. The specific gravity was between 2.41 and 2.60, while the soil moisture at one point in the forest was 30.9% even after two months of very limited rainfall. Finally, the highest unsaturated hydraulic conductivity was found on the hill, with a value of 8.89 mm/h.

**Keywords.** Hydraulic conductivity, Darién, hydrology, soil.

## 1. Introducción

El agua dulce es un recurso indispensable que se ve afectado por el cambio climático y que acompañado del

fenómeno del niño pone en perspectiva nuestra vulnerabilidad frente a la seguridad hídrica. Un ejemplo de esto lo tenemos con la Autoridad del Canal de

**Citación:** M.I. Pérez et al., "Propiedades hidrológicas del suelo en una microcuenca de Filo del Tallo, Darién", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 20, no. 1, pp. (61-72), 2024.

**Tipo de artículo:** Original. **Recibido:** 01 de julio de 2023. **Recibido con correcciones:** 12 de noviembre de 2023. **Aceptado:** 15 de diciembre de 2023.

**DOI:** <https://doi.org/10.33412/idt.v20.1.3881>

**Copyright:** 2024 M.I. Perez et al., This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Panamá, que para octubre del año 2023 reportó un déficit de 3 hm<sup>3</sup> en el lago Gatún, acompañado de un registro de precipitación 25% menor que el promedio anual de los últimos 73 años [1].

El párrafo anterior pone en relevancia la necesidad de conservar las fuentes de agua dulce como lo son los ríos, lagos y humedales. En las zonas rurales como Filo del Tallo en la provincia de Darién las comunidades tienen acceso al agua gracias a los múltiples riachuelos que bajan de sus pendientes y que se encuentran resguardadas por los bosques de esta zona. Sin embargo, su conservación está mayormente ligada a las Juntas Administradoras de Agua que tienen un rol de concientización y vigilancia [2]. A pesar de esto, la presión antropogénica sobre los recursos de esta área protegida denominada Reserva Hidrológica Filo del Tallo-Canglón es latente, sobre todo en la parte baja que corresponde a pasto de ganadería.

Este es considerado el acuífero de mayor importancia para Darién y se encuentra estrechamente ligado a un humedal que tiene aportes de agua del río Tuira y riachuelos de Filo del Tallo, llamado humedal de Matusagaratí [3]. Esto reitera la importancia de Filo del Tallo, pues se encuentra conectado con el humedal más grande del país, que tiene una extensión superior a 56 mil hectáreas [4]. A pesar de esto, es una zona que tiene todo por descubrir puesto que no existen trabajos enfocados a estudiar la hidrología de este ecosistema salvo los dos recientes citados en este párrafo.

Es imperativo conocer sobre el funcionamiento hidrológico en esta área protegida para que la toma de decisiones se base en ciencia, y así se permita un mejor aprovechamiento de sus recursos con un manejo sustentable. En este sentido, este trabajo concuerda con lo planteado por el ODS 6, la meta 2 del Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050 y Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación 2019-2024 al estudiar variables hidrológicas que permitan hacer estudios como los de balance hídrico que brinden información para su conservación y aprovechamiento, y así, hacerles frente a los desafíos de la seguridad hídrica.

Para estudios de hidrología es conveniente circunscribir la investigación a un espacio definido, de manera que se recolecte información de las distintas variables, se organicen y analicen [5]. Para esto se toman áreas de drenaje como cuencas, subcuencas y microcuencas. Para esto es útil contar con un modelo

digital de elevación que permita observar estas características y generar a través de software estas zonas diferenciadas. Esto se logra puesto que el modelo es una representación 3D de la topografía del suelo con una ubicación fija para cada píxel. La precisión de estas zonas de drenaje dependerá del tamaño de los píxeles del modelo, a lo cual se le denomina resolución espacial [6].

El uso de suelo es una característica importante para tomar en cuenta en los estudios hidrológicos. El trabajo de [7] en un estudio de balance hídrico hace distinción entre microcuencas con uso de suelo bosque y pasto de ganadería, en donde el bosque presentó una escorrentía menor entre el 17% y 20% de la lluvia anual con respecto a su contraparte. Por el otro lado, el trabajo de [8] encontró por medio del método gravimétrico que zonas de plantación silvopastoril presentaron mayores humedades en el suelo que las zonas de siembra a la manera tradicional.

La cuantificación de la escorrentía en cuencas es esencial para la comprensión y evaluación de escenarios de cambio climático, establecimiento de embalses, intervención antropogénica y fenómenos naturales (como el fenómeno del niño) que determinan la disponibilidad del vital líquido. En este sentido, la modelación hidrológica resulta indispensable como una poderosa herramienta para gestionar con criterio y responsabilidad los recursos hídricos [9]. Existen múltiples modelos como lo son (por sus abreviaturas en el idioma inglés): SWAT, SCS-CN, HEC-RAS, NC, PLER y ARNO [10]. Estos modelos brindan información valiosa que puede ser verificada o mejorada con datos de campo como lo señala el trabajo de [11], en donde se modeló con SWAT una cuenca en la cual se hicieron ensayos de infiltración en campo mediante un infiltrómetro de disco llamado Mini Disk.

El Mini Disk provee información sobre las propiedades hidráulicas del suelo de manera más rápida que otros métodos, por ejemplo, el ensayo de infiltración de doble anillo. Por lo que es preferido para hacer estudios en zonas remotas o donde se requieran hacer múltiples ensayos. También ha sido utilizado en ensayos de laboratorio como lo muestra el estudio de [12] en el que se evaluó la escorrentía en función de la humedad del suelo, la intensidad de precipitación y las propiedades hidráulicas. Otros trabajos donde se aplicó este instrumento son los de [13,14, 15]. En los dos primeros se cuantificó la conductividad no saturada para distintos

tipos de suelo utilizando más de un modelo de infiltración y en el tercero se evaluaron las implicaciones geomorfológicas de cambios en el régimen de lluvias en el Desierto de Atacama, de manera que se encontró una conductividad hidráulica no satura de 244 mm/h en los suelos aluviales. Este último estudio se realizó a causa de que se presentó un evento extraordinario de lluvia en marzo 2015 que rebasó por mucho los registros históricos.

Entre las variables de las que depende la escorrentía se encuentra la textura del suelo, la cual determina la distribución de las partículas del suelo (arcilla, limo, arena). Uno de los métodos más reconocidos y de uso extendido es el triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos que clasifica en suelo en 12 clases desde arcilla hasta arena [16,17]. Este sistema necesita conocer la porción de granos inferiores a 0.002 mm, por lo que se requiere realizar ensayos especiales de sedimentación como el que especifica la norma ASTM D-7928. Con esta norma se determinó la textura en una subcuenca del Río Zarafí con el fin de identificar zonas de recarga de agua subterránea. En la subcuenca alta se encontró textura franco arcillo arenoso, mientras que en la baja, franco arenoso [18].

La densidad aparente del suelo es otra variable que tomar en cuenta, pues determina la capacidad del suelo para retener y transportar agua. En los trabajos de [19, 20] se encontraron mayores valores de densidad en los pastos que en el bosque, lo cual demuestra que el uso de suelo marca diferencias en esta variable. El último estudio citado reportó una densidad de 0.63 Mg/m<sup>3</sup> para el bosque y 0.98 Mg/m<sup>3</sup> para el pasto agropecuario en una microcuenca de México.

Los suelos pueden incluir granos de mayor tamaño al identificado con la norma ASTM D-7928. Para estos el método de tamizaje es adecuado y también sigue una norma estandarizada como lo es la ASTM D-6913. Los estudios de [21,22] identificaron las propiedades físicas del suelo en zonas de posible explotación minera para Ecuador y Pakistán, respectivamente, utilizando los métodos antes mencionados con el fin de obtener la curva granulométrica de estos materiales. Además, ambos realizaron el ensayo ASTM D-854 para encontrar la densidad real, que está determinada por el tipo de mineral que lo compone y que para el estudio en Pakistán se obtuvieron valores muy cercanos a 2.65.

Este artículo tiene como objetivo determinar algunas de las propiedades hidrológicas del suelo de una microcuenca con dos usos de suelo en la Reserva Hidrológica Filo del Tallo-Canglón en la provincia de Darién.

En este artículo se presenta la metodología incluida en este trabajo, la cual está conformada por: revisión de literatura, generación de microcuenca, visita a campo de identificación, visita a campo para ensayos y ensayos de laboratorio. Luego, se muestran los resultados en forma de gráficos y tablas, así como las conclusiones y recomendaciones.

## 2. Metodología

La microcuenca de estudio se localiza en el corregimiento de Río Iglesias, distrito de Santa Fe, en la provincia de Darién. Se ubica entre los meridianos 77°54'08''W y 77°53'32''W. En la figura 1 se muestra un mapa donde aparece la localización regional y la micro localización.

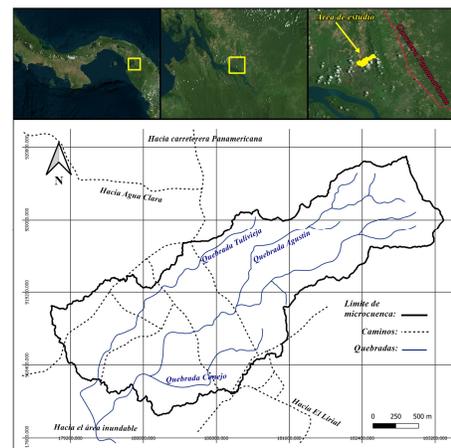


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

Se consultaron múltiples fuentes de información, principalmente, artículos científicos y trabajos de graduación para determinar la mejor metodología tomando en cuenta las distintas limitantes propias del área de estudio como la falta de electricidad, agua potable, vías de acceso en mal estado, etc.

### 2.1 Generación de microcuenca

Se utilizó un software libre, llamado QGIS, para generar la microcuenca utilizando un modelo digital del terreno proporcionado por el Instituto Geográfico

Nacional Tommy Guardia (IGNTM) con 5 m de precisión. Con este programa se tomó el mapa 4640 NW Río Iglesias del IGNTM como área adecuada para realizar la investigación puesto que se tenía contacto con una de las familias dueñas de finca y los autores habían recorrido el área con antelación.

Dentro de la opción de generación de microcuencas (r.water.outlet) de QGIS, se tantearon diferentes valores (cantidad de píxeles) para generar los polígonos de las microcuencas hasta obtener tamaños de área de drenaje adecuadas para el estudio [23]. Finalmente, se escogió una microcuenca de 5 km<sup>2</sup> con cota máxima de 533 m.s.n.m. cercana a un camino visitado con anterioridad.

## 2.2 Visita a campo de identificación

En escritorio se hizo un reconocimiento del área por medio de las imágenes de distintos proveedores como Bing, IGNTM, ESRI, entre otros; sin embargo, se realizó una inspección en campo un mes antes de la campaña de ensayos para determinar la cantidad de fincas que cubría la microcuenca, con el fin de solicitar el permiso con antelación. Además, se localizaron algunos puntos de referencia de la microcuenca con la ayuda de un mapa impreso, GPS (Garmin Etrex 10) y con la guía de uno de los ganaderos del área.

## 2.3 Ensayos en campo y laboratorio

Se realizó una sola campaña para los ensayos en campo entre 12 y el 17 de marzo del año 2020 que comenzó con explorar la microcuenca baja y media con el apoyo de uno de los ganaderos. Se decidió tomar dos transectos rectos, bosque y pasto de ganadería, con una separación entre puntos de medición de 300 m y 150 m, respectivamente [7]. En la figura 2 se muestran los dos transectos y su ubicación en la microcuenca, donde se pueden ver los 18 puntos de medición.

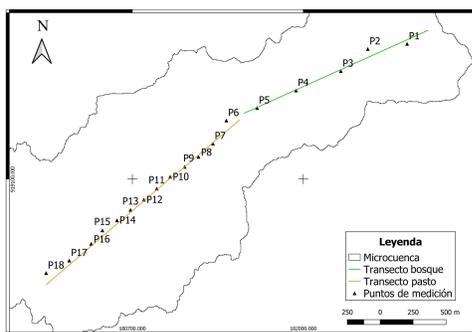


Figura 2. Transectos de estudio.

De los primeros 16 se realizaron los siguientes ensayos: granulometría de gruesos, textura, densidad real, densidad aparente, humedad natural, color y conductividad hidráulica no saturada. Mientras que en los puntos P16, P17, y P18 sólo se realizó la granulometría de gruesos. Esta diferenciación se hizo puesto que esas zonas tienen influencia del humedal de Matusagaratí y presentaban encharcamiento aún después de dos meses sin lluvia.

En esta campaña también se descargaron los datos de precipitación de un pluviómetro marca Odyssey instalado dentro de la microcuenca por el proyecto de investigación: Hidrología vegetación y avifauna del complejo de humedales de Matusagaratí, Darién.

### 2.3.1 Granulometría

Para la granulometría de granos gruesos se utilizó la norma ASTM D-6913 y para finos ASTM D-7928. En campo se tomó una muestra de suelo representativa de 1.5 kg desde la superficie hasta los 15 cm de profundidad, una para cada punto y se guardaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas [24, 25].

Para la granulometría de finos se utilizaron los siguientes tamices: 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/8", No. 4, No. 10, No. 40 y No. 200. En cuanto al ensayo de finos, se utilizó el hidrómetro 152H en la mayoría de los casos. Con este instrumento se obtuvieron las lecturas en los siguientes intervalos: 1, 2, 3, 8, 15, 30, 60, 240 y 1440 minutos. Luego, esta información se cargó a RStudio por medio del paquete Soil Texture y se clasificaron de acuerdo con el triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) [26].

### 2.3.2 Densidades

Se determinó la densidad aparente (D.A.) del suelo mediante el método del cilindro, con un cilindro de acero galvanizado de 14.7 cm de altura y 5.3 cm de diámetro interno [8,19, 27]. En la figura 3 se muestra parte del procedimiento realizado en campo, en donde se aprecia como se retiró el cilindro del suelo cubriendo tanto la parte superior como inferior. La masa del cilindro y el suelo se determinó en campo con una balanza de cocina de 25 g de precisión. En el laboratorio se dejó al horno la masa del suelo por 24 horas a 110 °C y se determinó la D.A. dividiendo la masa seca entre el volumen del cilindro [28,29].

En lo que respecta a la densidad real (D.R.), la relación entre la masa y el volumen de los minerales que

forman el suelo, se siguió la norma ASTM D-854 que establece ensayar una muestra de suelo con partículas inferiores a los 4.75 mm (correspondiente al tamiz No.4) [30,31].



**Figura 3.** Ensayo de densidad aparente. a) Extracción de muestra inalterada. b) Toma del peso del cilindro.

### 2.3.3 Humedad y color

El material utilizado para el ensayo de D.A. se utilizó para determinar la humedad natural del suelo de manera puntual. Estas muestras se dejaron al horno por 24 horas a 110 °C para así obtener el peso seco y así determinar la humedad por el método gravimétrico que sólo requiere de una masa húmeda y seca del suelo [27]. Este método es sencillo en comparación a otros métodos tecnológicos como reflectometría de dominio, GPR y capacitancia eléctrica; sin embargo, provee de información confiable dentro del alcance de esta investigación [32].

El color es la característica más fácil determinar y se ve influenciada por la materia orgánica, minerales, humedad, entre otros. Para este caso se determinó el color mediante la tabla de colores de Munsell en cada punto a 23 cm de profundidad con la ayuda de un barreno holandés [33].

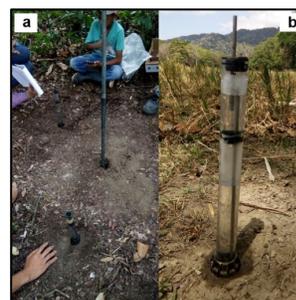
### 2.3.4 Conductividad

Se determinó la conductividad hidráulica no saturada por medio de un infiltrómetro de disco conocido como Mini Disk con las siguientes características: piedra porosa de 4.5 cm de diámetro y 3 mm de espesor, diámetro del tubo de 3.1 cm y altura total de 32.7 cm. Un rango de succión de 0.5 a 7 cm, así como una longitud del tubo de succión de 10.2 cm [34].

El Mini Disk opera bajo el modelo de Zhang para obtener la conductividad teniendo como datos de entrada los intervalos de infiltración y unas constantes que son dependientes de la textura del suelo bajo la clasificación de la USDA [35,36]. En la figura 4 se presenta el Mini Disk en dos sitios con distinto uso del suelo en donde se tomaron las mediciones.

Se tomaron dos mediciones simultáneamente en cada uno de los puntos a igual intervalo de tiempo y se obtuvo un promedio. Este intervalo se determinó con un ensayo inicial en base a la tasa de infiltración, de manera que se pudiera representar la curva del modelo de Zhang.

En todos los ensayos se utilizó una succión de 2 cm y agua de una de las quebradas dentro de la microcuenca. Para el cálculo de la conductividad se utilizó una hoja de cálculo programada, proporcionada por el proveedor del equipo. En esta hoja se colocaron los siguientes datos de entrada: tiempo, volumen de infiltración, textura del suelo y succión [13,37,38].

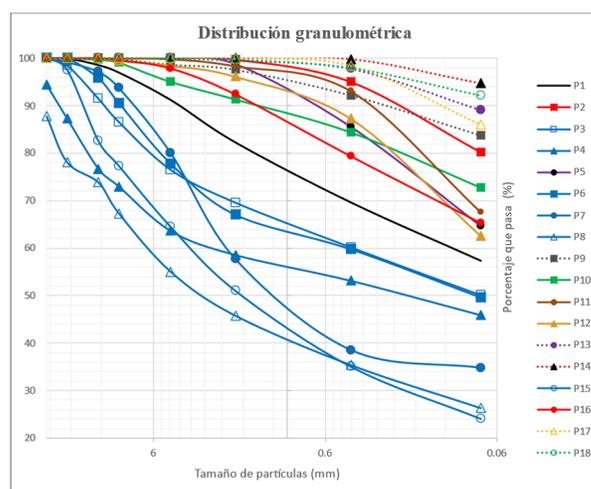


**Figura 4.** Infiltrómetro Mini Disk. a) Midiendo en el bosque. b) Midiendo en el pasto.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Resultados

De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos el P8 presentó la mayor cantidad de gravas (partículas mayores a 4.75 mm) con un 45% seguido del P4 y P15, ambos con 36%. En contraposición el P14 no presenta gravas, tal como se presenta en la figura 5 [39].



**Figura 5.** Distribución granulométrica en la microcuenca.

Se obtuvieron las siguientes cuatro clases texturales dentro de la microcuenca: arenoso franco, franco, franco arenoso y franco limoso. Entre los puntos de estudio destaca el P9, el cual obtuvo un 25% de arcilla (partículas menores a 0.002 mm, de acuerdo con la USDA). También le acompañaron el P2 y P14 con un 20%. Aquí es importante tomar en cuenta que el porcentaje descrito en este párrafo tiene como base el material utilizado en la norma ASTM D-7928, no se toma en cuenta el material mayor a 2 mm. En la figura 6 se muestran los puntos de estudio por uso de suelo y su ubicación en el triángulo de texturas.

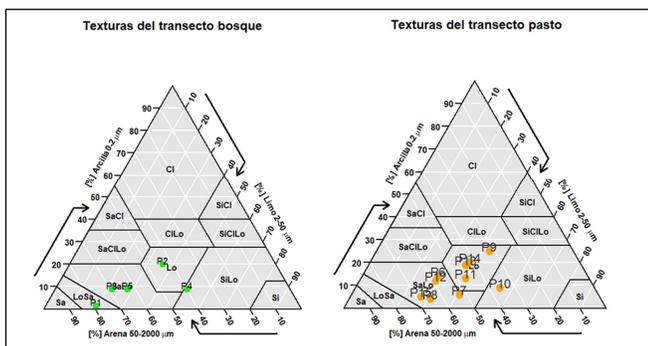


Figura 6. Triángulo de texturas de la USDA para los transectos de estudio.

Para la densidad aparente el transecto bosque presentó los menores valores, todos debajo de 1 Mg/m<sup>3</sup>. En la figura 7 es apreciable esta diferenciación. La máxima D.A. se obtuvo en el P15 con 1.29 Mg/m<sup>3</sup>, mientras que, el mínimo fue de 0.77 Mg/m<sup>3</sup> en el P4. Con respecto a la densidad real, se obtuvo un promedio de 2.48 y cuyos valores particulares se aprecian en la tabla 1. En cuanto a la humedad natural del suelo, el P4 tuvo una humedad del 30.9% y seguido el P14 con un 26.3%.

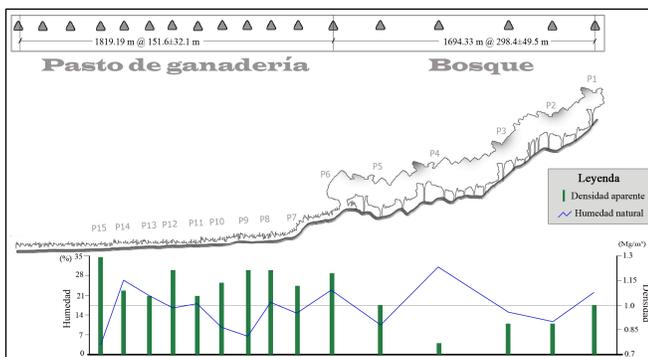


Figura 7. Distribución de la humedad y densidad aparente en la microcuenca.

Tabla 1. Densidad real y color en la microcuenca.

Puntos	D.R.	Color
P1	2.60	10YR 8/1
P2	2.41	2.5Y 4/3
P3	2.42	2.5Y 5/2
P4	2.44	GLEYS 8/10Y
P5	2.44	10YR 7/3
P6	2.47	10YR 5/2
P7	2.51	GLEYS 6/10Y
P8	2.63	GLEYS 7/10Y
P9	2.49	5Y 6/2
P10	2.54	5Y 7/2
P11	2.43	2.5Y 6/3
P12	2.50	2.5Y 4/3
P13	2.41	2.5Y 5/3
P14	2.47	2.5Y 5/3
P15	2.46	2.5YR 7/3

Todos los resultados de conductividad hidráulica no saturada corresponden al promedio de dos ensayos, con excepción del P11 cuyos datos de infiltración no se ajustaron a la curva. Una causa posible de este error es que el infiltrómetro perdió contacto con el suelo en algún momento.

En la figura 8 se muestra por color la variación superficial de la conductividad en la microcuenca. En donde el P8 resultó con un valor de 8.89 mm/h como máximo y 0.53 mm/h en el P5 como mínimo; además, que entre el P9 y el P11 se obtuvieron valores muy similares, variando sólo en el segundo decimal de 2.3 mm/h.

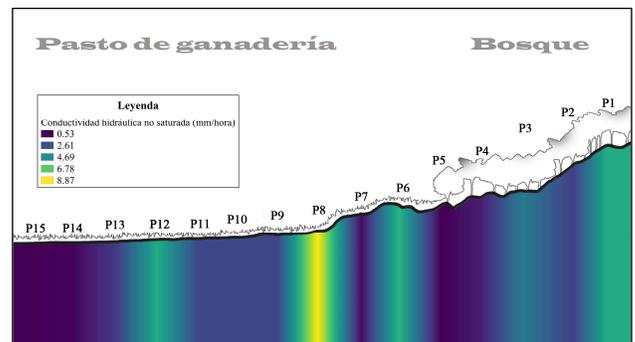


Figura 8. Distribución de conductividad hidráulica en la microcuenca.

Por último, en la figura 9 se muestra la precipitación mensual registrada en la microcuenca entre septiembre del año 2019 y febrero del año 2020. En la figura queda claro que diciembre superó por mucho a los demás meses con una precipitación superior a 1200 mm. Además, en la figura 10 se muestra un mapa afinado de la cartografía

(respecto a la del IGNTM de la figura 1) de la microcuenca donde se denotan los caminos que la atraviesan, su uso de suelo y sus quebradas: Tulivieja, Agustín, Bongo y Conejo.

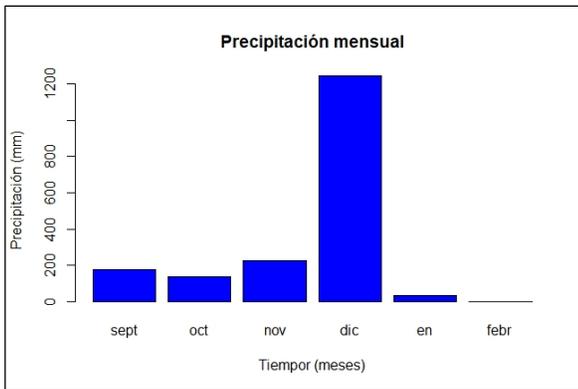


Figura 9. Precipitación mensual antecedente al estudio.

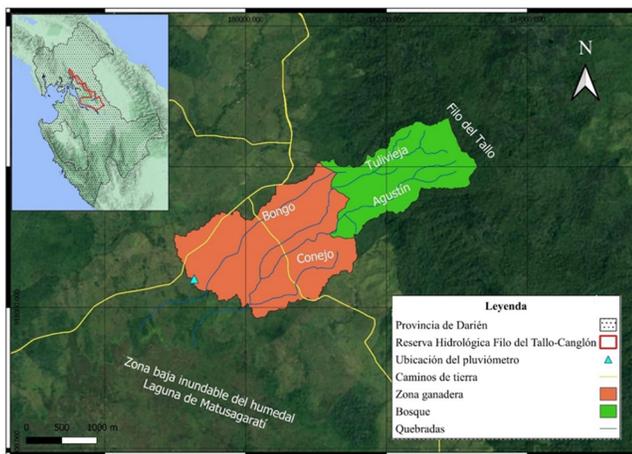


Figura 10. Cartografía e hidrografía de la microcuenca afinada.

### 3.2 Discusión

El P9 fue el punto con mayor porcentaje de arcilla en la microcuenca, esto coincide con su ubicación, pues se localiza a los pies de la serranía de Filo del Tallo en donde se acumula todo el material fino transportado tanto por la lluvia como por el viento. Sin embargo, el triángulo de texturas expone claramente que la porción fina en la microcuenca es mayoritariamente limo, es decir, granos entre los 0.05 mm y 0.002 mm de diámetro.

Con respecto a la granulometría gruesa en la microcuenca se diferencian tres zonas: el transecto bosque con proporciones balanceadas, el transecto pasto

de la serranía y el transecto pasto de la planicie. En la serranía (P6,P7,P8) se obtuvieron altas porciones de gravas mientras que en la planicie dominó el material fino, con excepción de un punto, el P15. Este punto resultó con dos características particulares, una alta porción de gravas y rocas redondeadas. Estas rocas no se encontraron en ningún otro punto en la superficie. En este sentido [40] demostró que la granulometría puede variar significativamente a los 25 cm de profundidad y es precisamente a esa profundidad en quebrada Tulivieja que se observó este mismo material redondeado a través de las cárcavas que superaban los 65 cm de profundidad. Este material pudo haber sido arrastrado desde Filo del Tallo por la quebrada luego de intensas precipitaciones (como se explica más adelante) y haberse depositado en distintas capas, en esa zona donde el cauce es angosto. Esto se podría evaluar mejor con un estudio por medio de calicatas, como se hizo en la subcuenca del río Zaratí, Coclé donde se examinó el perfil del suelo [41].

Con respecto a la granulometría gruesa el P1 se mostró diferenciador, ocupando en la gráfica de distribución granulométrica una posición central, casi como una recta, además de un aspecto físico distinto en cuanto a la forma de las rocas (rocas angulares). La curva en esta forma explica que el P1 cuenta con un material bien graduado, es decir, una proporción homogénea de granos de distinto tamaño. En este mismo gráfico las curvas en color azul representan los puntos con mayor proporción de gravas, y en las que aparece tanto el P3 y P4 que forman parte del transecto bosque. Sus granulometrías tienen explicación con la topografía de su alrededor, el P3 era un sitio con alta pendiente que pierde material fino con facilidad, mientras que el P4 se encontraba en una zona estrecha y alta como en el P7.

De acuerdo con los ganaderos (J. Castillo y G. Gómez, comunicación personal, marzo 2020) cada año hay una lluvia torrencial cercana al día 25 del mes de diciembre. Esto fue corroborado con el registro del pluviómetro, en donde destaca el mes de diciembre con una precipitación superior a los 1200 mm. Para poner en contexto, la precipitación promedio anual en Panamá es de 2924 mm [42]. Al realizar un análisis más profundo de ese mes, se observó que la mayoría de la precipitación en realidad fue producto de los eventos del 23 y 24 de diciembre. Cada uno con profundidades superiores a los 380 mm. Estas intensas precipitaciones causan una escorrentía que se desarrolla a gran velocidad producto de las altas pendientes de la serranía de Filo del tallo y llega a las partes bajas de poca pendiente y nula cobertura vegetal donde se fatiga la cohesión de los agregados con

dominancia de limos lo que favorece a la erosión y produce cárcavas como las que se encontraron [43].

Esta condición es perjudicial para la microcuenca, puesto que se pierde por medio de erosión hídrica la capa del suelo con mayor contenido de materia orgánica y nutrientes. Como referencia, una microcuenca en Ecuador de 7.6 km<sup>2</sup> con una textura franco arenoso como dominante resultó con una pérdida anual del suelo de 10 t/ha atribuido a las nulas prácticas de conservación de suelo en actividades mayoritariamente agrícolas [44]. Al final, estos sedimentos muy posiblemente llegan humedal de Matusagaratí y cuyo efecto debería ser objeto de estudio, puesto que se trata del humedal más grande del país.

En lo que respecta a la D.A. los resultados de este estudio coincidieron con los de [19], reportando menores D.A. en el bosque respecto al pasto. Además, en términos generales el suelo de la microcuenca presenta una buena salud debido a que ningún punto superó los 1.5 Mg/m<sup>3</sup> que corresponde al límite que permite el paso del agua y el crecimiento de las plantas [45]. Si el resultado hubiera sido contrario, para reforestar hubiese sido necesario bajar la D.A. como lo logró [46] con estiércol luego de 206 días. Los resultados también coinciden con lo encontrado en el estudio de [47] donde se determinó que existe una relación inversamente proporcional entre la humedad y la D.A. En la figura 7 esto es evidente con los puntos P4 y P15. En esta misma figura se muestra que el P14 tuvo una alta humedad (26.3%) compitiendo con el P4 (30.9%) a pesar de estar en el transecto pasto, no obstante, este punto se encontraba cercano a un árbol contiguo a quebrada Tulivieja, lo cual explica su resultado.

Al analizar la D.A. si el material es abundante en material grueso se debe considerar que las partículas mayores a 2 cm pueden causar una sobreestimación y se dejen realizar ajustes [45]. Para este estudio sólo el P8 presentó esa característica, pero en una baja proporción.

La conductividad hidráulica no saturada es la variable más compleja de este estudio. Sus resultados son afectados por otras variables como la granulometría e incluso la humedad [48]. Sin embargo, se encontraron comportamientos que son explicables con la literatura y los demás resultados. Por ejemplo, en la figura 7 y 8 se nota para que para el P6(1.19 Mg/m<sup>3</sup> y 5.98 mm/h), P8(1.21 Mg/m<sup>3</sup> y 8.89 mm/h) y P12(1.21 Mg/m<sup>3</sup> y 5.7 mm/h) se expresa un aumento en la conductividad producto de un alto valor en la D.A. en el transecto pasto. De la misma forma en el transecto bosque esta relación

es observable entre el P1 y el P4, tal como lo plantea [49] en su estudio.

El argumento sustentado en el párrafo anterior no corresponde al comportamiento de la conductividad del P8 y P9 que resultaron con igual D.A. Aquí la variable que ejerció efecto fue la granulometría [50], pues el P8 contaba con más material grueso que el P9, por lo que resultó con una mayor conductividad. Estos resultados también concuerdan con lo encontrado por [51] en donde el suelo franco arenoso obtuvo mayores valores de conductividad que el suelo franco.

En la República de Panamá se han realizado ensayos de conductividad mediante el mismo método de este estudio, no obstante, resulta difícil hacer comparaciones debido su dependencia a otras variables. Además, los trabajos de [52,53] indican que la conductividad tiende a disminuir a medida que se aumenta la succión en el instrumento (pasar de 2 cm a 5 cm, por ejemplo). Este ajuste propio del ensayo es necesario para obtener un valor representativo de la matriz del suelo y donde se excluyen los macroporos que pueden dar información errónea [54]. Entre estos estudios tenemos los trabajos de [55,38,51,56]. Algunos de estos resultados de conductividad para la textura franco (Lo) se muestran en la tabla 2 incluyendo el de Filo del Tallo.

**Tabla 2.** Conductividad evaluada por distintos autores en Panamá.

Provincia	K (cm/h)	Autores
Colón	2.75	Cerrud, 2012
Coclé	0.45	Márquez et al., 2021
Los Santos	2.50	González et al., 2021
Darién	0.23	Los autores, 2023

La modelación de cuencas hidrográficas es una poderosa herramienta que permite analizar escorrentía y caudales. Donde se toman en cuenta otras variables además de las propiedades físicas del suelo y donde los resultados de este estudio pueden aportar [57,58]. Por ejemplo, el software Soil Water Assessment Tool (SWAT) realiza esta modelación incluso bajo una extensión dentro del programa de QGIS [11,59]. Para esta opción es importante tomar en cuenta que conductividad solicita el programa, si la saturada o la no saturada, puesto que la conductividad hidráulica saturada refleja mayores magnitudes que la no saturada [60]. Sin embargo, existen métodos que ayudan en este sentido, como el que presenta [52] en su estudio extrapolando datos del Mini Disk con diferentes valores de succión.

## 4. Conclusiones

Este trabajo contribuye con datos necesarios para estudios hidrológicos en una zona con alto potencial hídrico en donde la información de este tipo es nula. La microcuenca (5 km<sup>2</sup>) presentó en el transecto bosque densidades aparentes menores a 1 Mg/m<sup>3</sup>, mientras que en el transecto pasto de ganadería los valores fueron superiores. En este transecto se tuvo una densidad aparente máxima de 1.3 Mg/m<sup>3</sup> lo que refleja buenas condiciones en el suelo a pesar de más de 30 años de pastoreo.

La humedad del suelo en la microcuenca estuvo entre el 3% y el 31%, siendo el mayor valor un punto en el bosque. En cuanto a densidad real se reportaron valores entre 2.41 y 2.63.

La conductividad hidráulica no saturada resultó mayor en la zona de serranía de Filo del Tallo con 8.89 mm/h, correspondiente a pasto de ganadería. La conductividad promedio para el transecto bosque fue de 2.70 mm/h, mientras que para el pasto de ganadería fue de 3.17 mm/h.

Se obtuvieron cuatro texturas de acuerdo con la USDA, siendo la textura más común franco y franco arenoso. Las otras dos que se presentaron son arenoso franco y franco limoso. En esta misma dirección, los resultados aportados por los ensayos de granulometría demostraron que en las zonas bajas se deposita el material más fino, mientras que en las partes alta los granos gruesos persisten.

En base a los resultados se pudo verificar que incluso en un espacio muy reducido, como una microcuenca de tan solo 5 km<sup>2</sup> las variables de estudio pueden presentar diferencias importantes. Esta es una de las limitantes en los estudios hidrológicos, pues existe variabilidad tanto espacial como temporal; sin embargo, la información presentada aquí tiene aplicación en la modelación de escorrentía y como un componente en el cálculo de balance hídrico.

Para trabajos futuros basados en esta metodología se recomienda hacer mediciones tanto en la temporada lluviosa como la seca, puesto que para las modelaciones se requieren datos de ambas. Además, para el ensayo de densidad aparente se recomienda utilizar un cilindro con una relación altura/diámetro de 0.4 o menor, pues ofrece mejores resultados por la ausencia del efecto de rose. Para esto será necesario utilizar una balanza con mejor precisión en campo y mantenerla en un punto de control donde se pueda obtener la masa luego de cada jornada de trabajo diaria.

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre y hermano, así como también a la Dra. Indra Candanedo por brindarme la oportunidad de hacer esta investigación dentro de un proyecto I+D; al Dr. Martín Candanedo por su agilidad en los diferentes trámites administrativos que necesité.

Al Secretaría Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SENACYT) por financiar este estudio a través de los fondos del proyecto FID17-043. Al Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, al Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) y al Laboratorio de Suelos del Centro Experimental de Ingeniería (CEI). Por otro lado, al Centro Regional de Panamá Oeste de la UTP por todo su apoyo y al Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) del Ministerio de Ambiente.

A las familias de ganaderos de Agua Buena, en Filo del Tallo-Canglón, por su cordialidad y atenta colaboración: Castillo, Gómez y Rodríguez. Con mención especial para el señor Juan Castillo, cuyo apoyo fue clave para hacer realidad este trabajo de graduación.

Merecen mención por sus aportes: Ing. Emperatriz Vega, Ing. Sidney Saavedra y Mgter. Diana Laguna. A la Dra. Eleonora Carol y Dra. Pilar Alvarez. También, a la Dra. Nathalia Tejedor, Dr. Euclides Deago, Ing. Erick Vallester y al Dr. Alexis Baules. Además, al Téc. Jairo Aguilar y al Sr. Narciso Rivera.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

## CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

M.I.P. conceptualización, ensayos de campo, ensayos de laboratorio, análisis de datos y redacción del manuscrito.

M.A. conceptualización, ensayos de campo, revisión y corrección del manuscrito.

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

## REFERENCIAS

- [1] ACP, "Más allá de la escasez: Cómo el Canal administra el desafío del agua" 2023. [Online]. Available: <https://pancanal.com/como-el-canal-administra-el-desafio-del-agua/>. [Accessed Oct. 19, 2023]
- [2] PNUD, "Cartilla para las Juntas Administradoras de Acueductos Rurales" 2015. [Online]. Available: [https://ppdpanama.org/index.php?format=&option=com\\_dro](https://ppdpanama.org/index.php?format=&option=com_dro)

- pfiles&task=frontfile.download&catid=18&id=142&Itemid=100000000000 [Accessed Oct. 28, 2023]
- [3] E. Carol, M. del Pilar Alvarez, I. Candanedo, S. Saavedra, M. Arcia, A. Franco "Surface water-groundwater interactions in the Matusagaratí wetland, Panama", *Wetlands Ecology and Management*, 28, 971-982, Nov. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09762-9>
- [4] Carol, E., Pilar Alvarez, L. Santucci, I. Candanedo, M. Arcia. "Origin and dynamics of surface water - groundwater flows that sustain the Matusagaratí Wetland, Panamá". *Aquat Sci*, Vol. 84, Dec. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00847-y>
- [5] R. Chorley. "Water, Earth, and Man a Synthesis of Hydrology, Geomorphology, and Socio-Economic Geography", Routledge, Nov. 2021. ISBN 9780367771959
- [6] A. Sharma, D.S. Bagri " Comparison and Validation of Elevation Data at Selected Ground Control Points and Terrain Derivatives Derived from Different Digital Elevation Models" *Remote Sens Earth Syst Sci*, Vol. 6, pp. 38-59, 2023. <https://doi.org/10.1007/s41976-023-00081-0>
- [7] L. Silveira, M. Crisci, J. Alonso, L. Martínez, S. Symon, Ch. Chreties "Comparación de balance hídrico en dos microcuencas (pasturas-plantación eucaliptus) del Uruguay". Congreso Latinoamericano de Hidráulica 24th, Punta del Este, Uruguay, 2010.
- [8] F. Gómez, M. Tarabini, C. Buduba, A. Von Müller, L. La Manna "Balance hídrico en plantaciones de Pinus radiata en el NO de la Patagonia argentina" *Ecología austral*, Vol. 29, no.2, pp. 261-271, 2019.
- [9] D. Karunanidhi, B. Anand, T. Subramani, K. Srinivasamoorthy "Rainfall-surface runoff estimation for the Lower Bhavani basin in south India using SCS-CN model and geospatial techniques" *Environ Earth Sci*, Vol. 79, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09079-z>
- [10] P. García Ramirez, L. C. Alatorre Cejudo, y L. C. Bravo Peña "Modelos de escorrentía superficial en la última década. Una revisión bibliográfica", *Ciencia Latina*, vol. 7, no. 1, pp. 7726-7750, Mar. 2023. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.5001](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5001)
- [11] J. O. Noel Amaya, J. Fábrega Duque, y M. G. Castrellón "Identificación de áreas de recarga a través de un modelo hidrológico en la región del Arco Seco de Panamá", *apanac*, pp. 251-256, Jun. 2021. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3193>
- [12] B. Pearson, R. Beeson, A. Shober, C. Reinhart-Adams, G. Knox, y M. Olexa "Influence of soil, precipitation, and antecedent moisture on stormwater runoff and leachate from runoff boxes containing simulated urban landscape soils" *Florida Scientist*, Vol.77, no.3, pp. 109-125, 2014.
- [13] N. Aparimita, G. Biplab y P. Sreeja "Estimating soil hydraulic properties using mini disk infiltrometer" *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.25, no.1, pp. 62-70, Jun. 2019. DOI: 10.1080/09715010.2018.1471363
- [14] G. Kargas, K. Dimitrios and L. Paraskevi "Evaluation of Soil Hydraulic Parameters Calculation Methods Using a Tension Infiltrometer" *Soil Systems*, Vol. 6, no. 3, Jul. 2022. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6030063>
- [15] M. Pfeiffer, A. Morgan, A. Heimsath, T. Jordan, A. Howard, R. Amundson "Century scale rainfall in the absolute Atacama Desert: Landscape response and implications for past and future rainfall", *Quaternary Science Reviews*, Vol. 254, Feb. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106797>
- [16] U. Jiménez "Funciones de R para graficar, clasificar y explorar los datos de textura del suelo" 2019 [Online]. Available: <https://ridda2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/9429/m-anual-R-funciones-graficar-clasificar-suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accessed Jan. 12, 2020]
- [17] J. Moreno and J. Alonso, "Evaluation of the USDA soil texture triangle through Atterberg limits and an alternative classification system", *Applied Clay Science*, Vol. 229, Aug. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106689>
- [18] K. Márquez, C. Carranza, J. Fábrega, M. Muñoz, and J. Leiva "Caracterización de la textura de suelo en la subcuenca del río Zaratí para la evaluación del sistema de agua subterránea", XVIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología, Panamá, Panamá, 2021. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3203>
- [19] M. Pérez, M. Flores, Á. Martínez and M. Chávez "Impact of Extensive Grazing on Supporting and Regulating Ecosystem Services of Mountain Soils" *Mountain Research and Development*, Vol. 38, no.2, pp. 125-134, May 2018. <http://dx.doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00103>
- [20] C. Sandoval García, I. Cantú Silva, H. González Rodríguez, M. I. Yáñez Díaz, J. G. Marmolejo Monsiváis, y M. V. Gómez Meza, "Efecto de diferentes usos del suelo en las propiedades físicas e hidrológicas de un Luvisol en Oaxaca", *RMCF*, Vol. 12, no. 68, pp. 151-177, Nov. 2021. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.982>
- [21] J. Villegas "Diseño de explotación de la cantera San Juan, ubicada en sector de achotillo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas". Tesis de licenciatura. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2020.
- [22] A. Kaleem and N. Ahmad "Characterization and Standardization of Sand for Laboratory Testing in Pakistan" 2nd Conference on Sustainability in Civil Engineering (CSCE'20), Islamabad, Pakistan, 2020. <https://csce.cust.edu.pk/archive/20-610.pdf>
- [23] D. Acosta, A. Camarena, A. Chang, A. Díaz, E. Fuller, C. González and A. Tejedor De León "Uso de software para el procesamiento de imágenes digitales para la definición de cuencas hidrográficas" *Revista De Iniciación Científica*, Vol. 2, no.1, pp. 12-18, Sep. 2016.
- [24] ASTM, "Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis" 2009 [Online]. Available: DOI: 10.1520/D6913-04R09E01 [Accessed Nov. 28, 2022]
- [25] ASTM "Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis" 2017 [Online]. Available: DOI: 10.1520/D7928-21E01 [Accessed Oct. 20, 2023]
- [26] Soil Science Division Staff "Soil survey manual USDA Handbook 18". Government Printing Office, Washington, D.C., 2017.
- [27] D. Ortiz "Fundamentos y procedimientos para análisis físico morfológicos de suelos" Ediciones UTMACH, 2016. ISBN: 978-9942-24-082-8
- [28] R. Aguilar and A. Ortega "Análisis de la dinámica del agua en la zona no saturada en un suelo sujeto a prácticas de conservación: implicaciones en la gestión de acuíferos y adaptación al cambio climático" *Revista mexicana de ciencias geológicas*, Vol. 34, no.2, pp. 91-104, 2017.

- [29] N. McKenzie, D. Jacquier, R. Isbell, K. Brown "Australian Soils and Landscapes An Illustrated Compendium" CSIRO Publishing, Melbourne, Australia, 2004.
- [30] ASTM "Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometerddd D854-14" 2016 [Online]. Available: DOI: 10.1520/D0854-14 [Accessed Oct. 8, 2023]
- [31] P. Whittington, A. Koiter, D. Watts, A. Brewer and V. Golubev "Bulk density, particle density, and porosity of two species of Sphagnum: Variability in measurement techniques and spatial distribution" *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 85, no.6, pp. 2220-2233, Sep. 2021. <https://doi.org/10.1002/saj2.20327>
- [32] M. Muhammad and S. Almushfi "Dielectric Analysis Model for Measurement of Soil Moisture Water Content Using Electrical Capacitance Volume Tomography" *Modern Applications of Electrostatics and Dielectrics*, IntechOpen, Oct. 2019. DOI: 10.5772/intechopen.89057
- [33] D. Soto, J. María, R. Gutiérrez, A. Delia, P. García, and A. Sandoval "Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos" *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, Vol. 3, no.1, pp. 141-155, 2012.
- [34] Meter Group "Mini Disk manual" 2018 [Online]. Available: [https://publications.metergroup.com/Manuals/20421\\_Mini\\_Disk\\_Manual\\_Web.pdf](https://publications.metergroup.com/Manuals/20421_Mini_Disk_Manual_Web.pdf) [Accessed Dec. 29, 2019]
- [35] R. Zhang "Determination of Soil Sorptivity and Hydraulic Conductivity from the Disk Infiltrometer" *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 61, pp.1024-1030, 1997. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100040005x>
- [36] R. Carsel and P. Rudolph "Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics". *Water Resource Research*, Vol. 24, no.5, pp. 755-769, 1988.
- [37] B. Pearson, R. Beeson, A. Shober, C. Reinhart-Adams, G. Knox and M. Olexa "Influence of soil, precipitation, and antecedent moisture on stormwater runoff and leachate from runoff boxes containing simulated urban landscape soils". *Florida Scientist*, Vol. 77, no. 3, 109-125, 2014.
- [38] K. Márquez y C. Carranza "Determinación de la variación espacial de las tasas de infiltración en los suelos de la subcuenca del río Zaratí" Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá, 2021.
- [39] M. Braja "Fundamentos de ingeniería geotécnica" Cengage Learning Editores, 2013. ISBN: 978-607-519-373-1
- [40] C. Balmaseda, D. López, A. Hernández, F. Morell, I. La Rosita "Características y distribución de los suelos" *Cultivos Tropicales*, Vol. 31, no.1, pp. 41-47, 2010.
- [41] M.G. Castrellón, M. Muñoz, G. Guerra-Chanis, J. Leiva, L. Foglia, J. Fábrega "Las aguas subterráneas en el Arco Seco de Panamá: Un tesoro por explorar", *apanac*, pp. 113-119, Jun. 2021. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3180>
- [42] Consejo Nacional del Agua "Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos" República de Panamá, 2016. ISBN: 978-9962-5581-0-1
- [43] F. A. Nuñez Ravelo "Geomorfología y sedimentología del sistema de cárcavas en el borde costero al suroeste del Castillo de Araya, Estado Sucre, Venezuela», *Investigaciones Geográficas*, no. 92, Mar. 2017. <https://doi.org/10.14350/rig.53428>
- [44] M. Quiñonez y M. Patricia "Evaluación de riesgos por erosión hídrica en el suelo de la microcuenca de la quebrada Quitumbe", Tesis de maestría. Universidad Técnica del Norte, Imbabura, Ecuador, 2022.
- [45] K. Brown and A. Wherrett "Bulk Density. Department of Agriculture and Food, Australian Government" 2005. [Online]. Available: <http://soilquality.org.au/factsheets/bulk-density-measurement>. [Accessed Nov. 4, 2019]
- [46] J. Flores, C. Valero, P. Osuna, B. Corral, K. Shukla, E. Salazar "Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino" *Terra Latinoamericana*, Vol. 31, no.3, pp. 211-220, Sep. 2013.
- [47] G. Hossne and J. Américo "La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo". *Terra Latinoamericana*, Vol. 26 no. 3, pp.195-202, Sep. 2008
- [48] K. Smith and Ch. Mullins (ed) "Soil and Environmental Analysis" Marcel Dekker Inc., 2001. ISBN 0-8247-0414-2
- [49] V. Klipa, D. Zúmr, M. Snehota, M. Dohnal "Temporal changes of topsoil hydraulic conductivity studied by multiple-point tension disk infiltrometer". *European Geosciences Union General Assembly Conference Abstracts*, Vienna, Austria, 2015.
- [50] J. Hopmans and E. Dennis "Introductory soil physics, Chapter 4 - Water Flow in Unsaturated Soils" University of California, Davis, Lecture, 2000 [Online]. Available: <https://lawr.ucdavis.edu/classes/ssc107/SSC107Syllabus/cha4-00.pdf> [Accessed Dec. 18, 2021]
- [51] A. González, G. Rodríguez, J. Fábrega "Impacto de la cobertura boscosa y uso de suelo sobre la textura y conductividad hidráulica del suelo en la subcuenca del río Estibaná" *apanac*, pp. 257-262, 2021. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3194>
- [52] A. Ghosh, S. Pekkat "A critical evaluation of the variability induced by different mathematical equations on hydraulic conductivity determination using disc infiltrometer" *Acta Geophys.* Vol. 67, pp. 863-877, Mar. 2019 <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00266-6>
- [53] R. Enriquez y O. Orozco "Conductividad hidráulica en diferentes suelos del Municipio de San José de los Remates, Boaco 2009" Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua, 2011.
- [54] M. Fatehnia, K. Tawfiq, T. Abichou "Comparison of the Methods of Hydraulic Conductivity Estimation from Mini Disk Infiltrometer". *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 19, pp. 1047-1063, 2014.
- [55] J. Cerrud "Determinación de la conductividad hidráulica en una ladera de monitoreo en Cerro Pelao- Gamboa, mediante el uso de infiltrómetro de minidisco" Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá, 2012.
- [56] Y. Serra, A. Santamaria "Caracterización espacio temporal y balance hídrico de la ciénega de Las Macanas" Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá, 2022.
- [57] E. González-Sosa, I. Braud, J. Dehotin, L. Lassabatère, R. Angulo-Jaramillo, M. Lagouy, F. Branger, C. Jacqueminet, S. Kermadi and K. Michel "Impact of land use on the hydraulic properties of the topsoil in a small French catchment" *Hydrological Processes*, Vol. 24, pp. 2382-239, Jul. 2010. <https://doi.org/10.1002/hyp.7640>
- [58] B. Needelman, W. Gburek, W. Gary, N. Andrew, J.A. Peter "Surface Runoff along Two Agricultural Hillslopes with

- [59] L. Hernández and J. Salamanca "Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca del Río Sardinata, del departamento de Norte de Santander - Colombia" Tesis de maestría, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2019.
- [60] J. Jobbágy, K. Krištof, M. Angelovič, J. Zsembeli "Evaluation of Soil Infiltration Variability in Compacted and Uncompacted Soil Using Two Devices" Water, Vol. 15, no. 10, 1918, May. 2023. <https://doi.org/10.3390/w15101918>

## ANEXOS

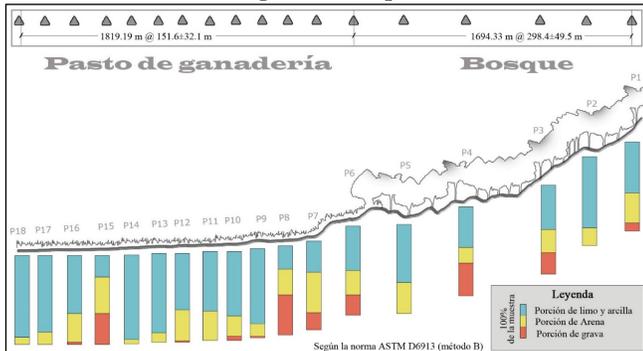
### Anexo 1. Fotografía aérea mirando hacia microcuenca alta.



### Anexo 2. Fotografía aérea mirando hacia microcuenca baja.



### Anexo 3. Granulometría gruesa vista por transectos.



### Anexo 4. Tesista y ganadero en trabajo de campo.



### Anexo 5. Cárcavas encontradas en la microcuenca baja.



### Anexo 6. Precipitación del mes de diciembre 2019.

