

EL SUELO, UN SISTEMA EN EL QUE NO SOLO SE SOSTIENE LA VIDA, SI NO QUE TAMBIÉN SE REGULAN PROCESOS

JORGE SANTANA

PILAR JARA

Resumen

El siguiente trabajo se centra en el proceso de infiltración de agua en el suelo y en los aspectos que determinan la velocidad de este proceso, mediante un experimento casero que, permitirá por medio de la observación, comprender cómo un pequeño espacio puede ser capaz de albergar procesos de mayor envergadura. Este proceso, aunque parezca simple en pequeña escala puede ser ampliado a un plano de mayor envergadura geográfica como el espacio físico de Chile, sin embargo, está pre determinado por muchos factores climáticos que varían según la vegetación y los diversos suelos de la zona.

Palabras clave: Infiltración, Suelo, Vegetación, Agua.

1. Introducción

El agua es un elemento vital para toda forma de vida del planeta y se encuentra en continua circulación, a través de un conjunto de movimientos más conocido como el ciclo del agua. Dos elementos son claves para su mantenimiento: la energía radiante del Sol y la Fuerza de Gravedad.

El proceso comienza con la evaporación del agua desde la superficie de los océanos. A medida que el vapor asciende, se condensa al enfriarse, transformándose nuevamente en agua. Luego, esta agua se agrupa en nubes y, al alcanzar un peso considerable, cae en forma de precipitación, que puede manifestarse como aguanieve, granizo o lluvia, dependiendo de la temperatura atmosférica. Al llegar a la superficie terrestre, parte del agua es absorbida y utilizada por los seres vivos, mientras que el resto fluye por la superficie hacia ríos, lagos o océanos, en un proceso conocido como escorrentía.

Otro porcentaje del agua precipitada se infiltra a través de los suelos y forma capas de agua subterránea conocidas como acuíferos. Lo anterior se denomina percolación y permite que nuevamente toda esta agua vuelve a la atmósfera, dando continuidad al ciclo hidrológico.

2. Marco Teórico

La infiltración, en términos sencillos, se refiere al proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra al suelo. La importancia de la infiltración recae en la continuidad del ciclo hidrológico, pues parte del agua filtrada vuelve a la atmósfera producto de la transpiración y

más aún, por la transpiración de las plantas y el agua extraídas por medio de sus raíces; la parte restante se incorpora al acuífero e incluso pueden alcanzar la superficie en aquellos lugares que, debido a sus circunstancias topográficas, intersecan la superficie del terreno.

Ahora bien, conviene preguntarse sobre los factores que condicionan el proceso de infiltración y la importancia de las características del suelo.

El suelo, por medio de sus características físicas, resulta ser de gran importancia, pues determina el comportamiento del agua. Respecto a su textura, se puede decir que “la velocidad y magnitud de muchas reacciones, tanto químicas como físicas que ocurren en el suelo, están gobernadas por la textura, porque ésta determina la superficie en que tienen lugar las reacciones” (Millar, 1962).

En esta indagación, los conceptos presentados ofrecerán un enfoque teórico para abordar la pregunta central que guía esta investigación: ¿A qué velocidad se infiltra el agua en distintos tipos de suelo, considerando sus diferentes texturas y composiciones vegetales?.

2.1. Estudios Similares

El “Módulo 3 curvas de infiltración” de Pizarro y Flores (2008), permite comprender el proceso de infiltración y la capacidad de absorción que poseen los suelos, el exceso de agua sobre la superficie y el escurrimiento. Pizarro y Flores mencionan una importante variable para la infiltrabilidad del suelo, la

textura del mismo, así como su estructura y uniformidad. Para complementar un poco más el estudio, se agregan tres métodos de medición de la velocidad en la infiltración del suelo: los cilindros infiltrómetros, los surcos infiltrómetros y el método de represa o poceta, descritos como instrumentos fáciles de instalar y usar.

El estudio "Manejo de suelo y velocidad de infiltración del agua de riego en un parronal" de Muñoz y Miranda (1985) demuestra que la velocidad de infiltración del agua varía según la textura del suelo. Los suelos arcillosos, considerados "pesados", presentan una baja velocidad de infiltración, mientras que los suelos arenosos, más "livianos", permiten una mayor infiltración. Además, el uso de maquinaria afecta negativamente la velocidad de infiltración debido a la compactación. El objetivo del estudio fue buscar soluciones al problema de la lenta infiltración, comparando tres formas de manejo del suelo:

1. Mantener la cubierta vegetal natural en las entrelíneas y aplicar herbicida en las hileras de plantas, segando el pasto cuando alcanzaba una altura de 15 a 20 cm.
2. Aplicar herbicida en toda la superficie, tanto en las entrelíneas como en las hileras de plantas.
3. Realizar rastraje en las entrelíneas y aplicar herbicida sobre las hileras de plantas.

Haciendo mediciones con cilindros infiltrómetros mencionados en el estudio anterior.

2.2. Conceptos Clave

2.2.1. Infiltración

La infiltración es el proceso en el que el agua de la superficie entra en el suelo. “Ocurre cuando el agua que alcanza el suelo, penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea” (Ciclo del agua, s.f.). El modo de medir qué porcentaje de la precipitación es llamado tasa de infiltración y utiliza las pulgadas o los milímetros por hora por medio de infiltrómetros: “Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física” (Pérez, s.f.).

La capacidad de infiltración se define como el nivel máximo de agua que un suelo puede absorber dependiendo de sus propiedades físicas y del estado de humedad antecedente a la precipitación. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en mm/hora. En la década de los años treinta, los trabajos de Horton en infiltración dominaron el pensamiento hidrológico, ya que ayudó a conocer la precipitación y su capacidad de infiltración en un suelo, determinando la escorrentía superficial.

La infiltración está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar del suelo (la porosidad). Cuando los poros son muy pequeños empujan el agua por la acción capilar y contra la fuerza de gravedad. “En el control de la tasa y capacidad infiltración desempeñan un papel la textura y estructura del suelo, los tipos de vegetación, el contenido de agua del suelo, la temperatura del suelo y la intensidad de precipitación” (Pérez s.f.).

La vegetación contribuye a generar suelos más porosos, facilitando la infiltración del agua. Al proteger el suelo del estancamiento de la precipitación, evita que los poros naturales entre las partículas del suelo se cierren, lo que podría dificultar el proceso de absorción. Además, las raíces ayudan a aflojar el suelo, favoreciendo una mayor penetración del agua.

Es importante destacar que la infiltración sólo se mantendrá mientras haya suficiente espacio en el suelo para el agua adicional en la superficie. Si el suelo no puede absorber más agua, ésta terminará escurriendo debido a la falta de barreras naturales.

2.2.2. Suelo

La definición de suelo ha tenido varios matices, según quien trate de hacerla y según la época en que se realice (Jaramillo, 2002). En este sentido, el concepto ha llegado a tener definiciones bastantes simplistas, esto en relación al área o el uso que se le dé al suelo y desde la cual se podría estar definiendo. Sin embargo, con el tiempo, las distintas concepciones de suelo se agruparon en dos, la Pedología que comprende el suelo como un cuerpo natural cuyas propiedades interesan para establecer su origen y su clasificación, pero no considera sus usos (Jaramillo, 2002); y la Edafología, en donde el suelo es considerado de manera práctica y su orientación va encaminada a optimizar la actividad agropecuaria.

El suelo es la capa superficial de la tierra formada por sólidos, líquidos y gases. Un suelo ideal cuenta con una distribución equilibrada de minerales,

materia orgánica y poros que permiten la circulación de agua y aire. Según Jaramillo (2002), el suelo es una delgada capa de material no consolidado, de pocos centímetros a algunos metros de espesor, que se forma en la interfaz entre la atmósfera, biosfera y litosfera. En esta zona interactúan elementos como el aire, agua, temperatura y sedimentos, permitiendo intercambios de materia y energía entre lo inerte y lo vivo, generando gran complejidad.

2.2.3. Características físicas del suelo

La textura del suelo se refiere al tamaño relativo de las partículas del suelo y es Indicadora de finura o aspereza del suelo. (Millar, 1962). Muchas de las reacciones tanto físicas como químicas que ocurren en el suelo, en cuanto a su velocidad y magnitud, están gobernadas por la textura, la cual determina la superficie en que tendrán lugar las reacciones.

Se consideran partículas de suelo a aquellas de origen mineral cuyo tamaño es menor a 2 mm. Estas partículas se clasifican según su tamaño en arena, limo y arcilla. La granulometría determina la proporción relativa de estas tres categorías en un suelo y, de acuerdo con ella, se define el tipo de suelo. Las partículas superiores a 2 mm se consideran fragmentos gruesos y se clasifican en grava, piedras y rocas, dependiendo de su tamaño. La textura del suelo, influenciada por la granulometría, afecta su capacidad de retención de agua, drenaje y aireación, lo que impacta directamente en su fertilidad y en la facilidad de trabajo agrícola.

Tabla 1. Distintas propiedades del suelo según su textura.

Propiedad	Suelo Arenoso	Suelo Arcilloso	Suelo Franco
Permeabilidad.	Alta	Nula	Media
Capacidad de retención de agua	Poco	Mucho	Medio
Aireación	Buena	Mala	Buena
Nutrientes	Pocos	Muchos	Medios Altos
Tamaño de las Partículas	Medias	Muy Finas	Finas

Fuente: Elaboración propia.

La porosidad del suelo es la relación entre el volumen de huecos de cualquier tipo y el volumen total del suelo. Condicionada por la textura y estructura del suelo, se expresa en porcentajes. Los suelos de textura fina tienen mayor porosidad que los de textura gruesa.

Los suelos arcillosos tienen gran número de microporos, poros de menor tamaño capaces de retener agua, mientras que los arenosos tienen un número escaso de macroporos comunicados entre sí. Los macroporos son los poros de mayor tamaño en donde circula el agua, pero no es retenida, pues están ocupados normalmente por aire, salvo cuando por ellos circula el agua.

3. Metodología

Con una finalidad práctica de evidenciar lo que se ha podido concluir por medio de la bibliografía consultada y las observaciones propias, se ha diseñado un experimento casero que podría afirmar o no lo anteriormente planteado. Dicho experimento fue el resultado de lo que se extrajo de estudios relacionados y adecuado a materiales fáciles de conseguir. El experimento presenta

muestras de arena y limo y se hicieron tres repeticiones para cada tipo de suelo, sin vegetación y con vegetación.

Para la realización del experimento fueron necesarios los siguientes materiales:

- 1 cilindro metálico (cañón) de 5 pulgadas.
- 1 combo pequeño.
- Un trozo de cinta.
- 1 regla o escuadra.
- 1 cinta métrica.
- 1 pala.
- 1 cronómetro.
- 1 recipiente con agua. (Bidón de 5 litros)
- Lápiz, cuaderno, plumones.

En una primera etapa, el experimento fue diseñado para realizarse con dos cilindros metálicos: uno de 5 pulgadas, conocido como cañón, que finalmente fue utilizado, y otro de 12 pulgadas que fue descartado. Este último cilindro, fabricado a medida, no pudo ser enterrado debido a que la plancha metálica utilizada en su confección resultó demasiado delgada para el propósito requerido. Además, la compactación de los suelos utilizados en la muestra, causada por la acción antrópica, imposibilitó que dicho cilindro pudiera ser enterrado correctamente, lo que llevó a su exclusión del experimento.

3.1. Realización del experimento

1. Con un plumón permanente y una regla, se marcó el cilindro metálico por fuera a la altura de 10 centímetros.
2. Una vez marcados los lugares donde se realizaría el

experimento, se procedió a delimitar el perímetro en el que se trabajaría, descartando todo elemento no considerado en los criterios antes mencionados.

3. Aislado el perímetro, se introdujo el cilindro metálico hasta los 10 centímetros previamente marcados y se apoyó sobre la cinta de madera y el combo pequeño.
4. Procurando que quedara nivelado, se comprobó con una escuadra o un nivel.
5. Con el lápiz y el papel siempre a mano, se anotó el lugar donde se trabajaba (por ejemplo, limo sin vegetación, 1era repetición, etc.).
6. Se introdujo la cinta de medir en el interior del cilindro y se procedió a llenarlo con agua hasta llegar a la altura de 20 centímetros.
7. Se inició el cronómetro y se esperó a que el agua alcanzara los 20 cm, lo que se registró en un cuaderno. Por ejemplo, minuto 0, 20 centímetros.
8. A continuación, se repitió el procedimiento en los minutos 1, 3, 5 y 10, sin detener el cronómetro. En cada uno de esos momentos, se anotaron los centímetros que el agua había descendido dentro del cilindro. Después de los 10 minutos, se dejó pasar el tiempo hasta que toda el agua se infiltró en el suelo, registrándose finalmente el tiempo total de infiltración.
9. Finalmente, se ordenaron los datos recopilados para su posterior sistematización y análisis.

4. Resultados

Una vez realizado el experimento, se consideran los criterios respecto al tipo de suelo, arena y limo y, además, si este cuenta o no con composición vegetal. El orden de los datos será materializado en las siguientes tablas que permitirán apreciar los resultados que arrojó el trabajo realizado.

Tabla 2. Arena con composición vegetal.

Repetición	Min 0	Min 1	Min 3	Min 5	Min 10	Tiempo final
1	20 cm	19 cm	17 cm	15.7 cm	13 cm	42 min
1.1	20 cm	18.1 cm	17.8 cm	16.3 cm	13.4 cm	48 min, 36 seg
2	20 cm	20 cm	19.7 cm	19.2 cm	17.8 cm	1 h, 15 min

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Arena sin composición vegetal.

Repetición	Min 0	Min 1	Min 3	Min 5	Min 10	Tiempo final
1	20 cm	19 cm	16.7 cm	15 cm	11 cm	25 min, 10 seg
1.1	20 cm	18.8 cm	17 cm	15.2 cm	12 cm	31 min, 12 seg
2	20 cm	19.2 cm	18 cm	16.4 cm	13.2 cm	28 min, 30 seg

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Limo con composición vegetal.

Repetición	Min 0	Min 1	Min 3	Min 5	Min 10	Tiempo final
1	20 cm	16 cm	13 cm	10 cm	8.6 cm	15 minutos
1.1	20 cm	18 cm	15.8 cm	14 cm	11.5 cm	18 min, 13 seg
2	20 cm	17 cm	14 cm	12 cm	7.6 cm	35 min

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Limo sin composición vegetal.

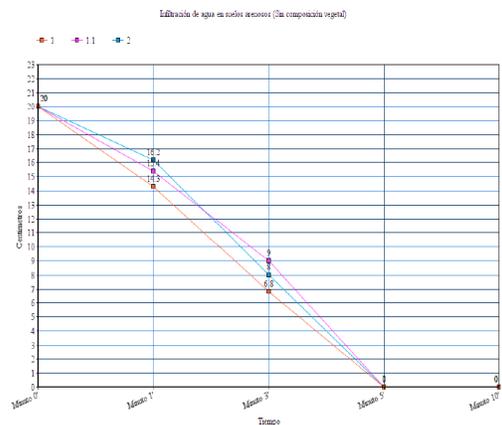
Repetición	Min 0	Min 1	Min 3	Min 5	Min 10	Tiempo final
1	20 cm	15.4 cm	9 cm	0 cm	0 cm	04 min, 39 seg
1.1	20 cm	14.3 cm	6.8 cm	0 cm	0 cm	04 min, 20 seg
2	20 cm	16.2 cm	8 cm	0 cm	0 cm	04 min, 52 seg

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos de los experimentos, la velocidad de infiltración de agua varía dependiendo del tipo de suelo y la presencia o ausencia de composición vegetal.

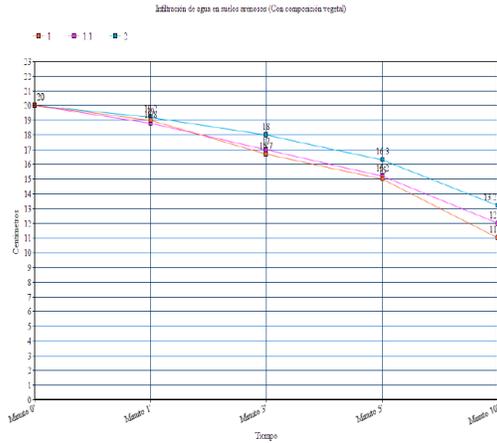
Al observar los gráficos de líneas y la inclinación en cada uno (que muestra el descenso del agua por minuto transcurrido), se puede apreciar que en los suelos sin materia vegetal, la infiltración de agua es mucho más rápida en comparación con los suelos que contienen materia orgánica.

Gráfico 1. Tipo de Suelo Arena con vegetación.



Fuente: Elaboración propia.

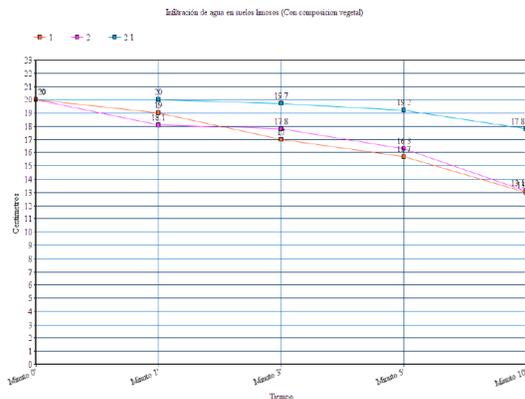
Gráfico 2. Tipo de suelo arenoso sin vegetación.



Fuente: Elaboración propia.

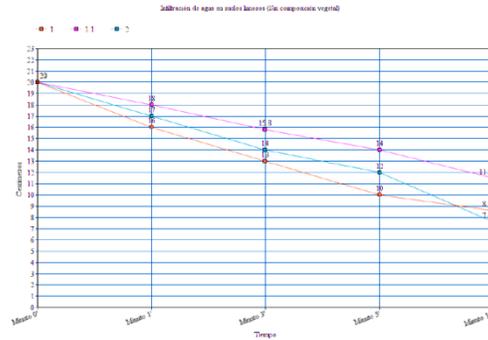
En el caso de los suelos arenosos sin materia orgánica, la infiltración del agua fue significativamente más rápida. La infiltración total del agua en estos suelos se completó en un promedio de 4 minutos y 30 segundos. En contraste, en los suelos arenosos que contenían materia orgánica, el proceso de infiltración fue mucho más lento. En promedio, la infiltración completa de agua en estos suelos tomó alrededor de 30 minutos en las 3 repeticiones realizadas.

Gráfico 3. Tipo de suelo Limo con Vegetación.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4. Tipo de suelo Limo sin Vegetación.



Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos del suelo tipo limo, las repeticiones que se hicieron en los terrenos sin composición vegetal, mantienen un promedio más rápido de infiltración del agua respecto a los suelos que poseen materia vegetal. En el suelo tipo limo, sin composición vegetal, el tiempo promedio de la absorción final de las tres repeticiones fue de 35 minutos aproximadamente y en el tipo limo con composición vegetal, el promedio del tiempo final de las tres repeticiones mostró mayores variaciones una respecto a las otras, durando en dos de los casos, un aproximado de 45 minutos y en el tercer caso llegando a durar 1 hora y 15 minutos.

5. Discusión

Respecto a los resultados finales, estos se ven afectados por diversos factores. Por tanto, se debe replantear la formulación del experimento y fijar criterios adicionales a los considerados inicialmente como los factores ambientales y los factores de carácter antrópicos, determinantes directos en la velocidad de infiltración.

En cuanto a la compactación del suelo, la humedad inicial de este, tiene relación directa con la velocidad con la que el suelo filtra el agua y con la absorción parcial o total. Considerando estos factores, se logró apreciar, en una de las repeticiones con el suelo tipo limo con presencia de composición vegetal, un proceso conocido como anegamiento, en el que la absorción del agua terminó por estancarse, no pudiendo drenar el agua por el suelo, debido a que la capacidad de infiltración fue superada por el agua vertida. Si bien el terreno en donde se trabajó era plano, si se reemplazara por un espacio con una pendiente, con cierto grado de inclinación, y en base a lo estudiado, seguramente se hubiera producido escorrentía.

De igual manera, el factor climático condiciona el proceso de infiltración de agua, sobre todo en cuanto a la caída de lluvia, pues esta incidirá directamente en la humedad que pueda tener el suelo al momento de realizar el experimento, afectando a su vez la capacidad de absorción de este y determinando la velocidad a la que se infiltra el agua en el suelo.

Por otro lado, la compactación del suelo tipo limo y en los que había presencia de composición vegetal, presentaron mayor grado de saturación y, por ende, menor infiltración de agua. Esto debido a que estos tipos de suelos presentan una mayor compactación, poseen una alta porosidad y dificultan que las moléculas de agua ingresen al suelo y se produzca una infiltración de manera constante o más rápida.

Aunque los poros actúan como tuberías por donde el agua circula bajo la tierra,

desafiando incluso la gravedad, los poros en los suelos arenosos son comparativamente más grandes y permiten un paso más rápido del agua. En contraste, los poros en suelos compuestos mayoritariamente por arcilla o limo son más pequeños y retienen mejor el agua. Sin embargo, este tipo de suelo no permite una infiltración tan rápida como la que ocurre en suelos arenosos. En suelos arenosos con composición vegetal, se generan condiciones más porosas, y con el tiempo, la arena se vuelve más fina. Este proceso incrementa el tiempo de infiltración, lo que en las repeticiones del experimento resultó en tiempos de hasta una hora para que el agua se infiltrara completamente.

En cuanto a los resultados esperados a partir del marco teórico, se pronosticó en un inicio que el paso del agua por la arena sería más rápido respecto al limo, esto debido a que los poros y su estructura son de mayor tamaño, además de que este al tener menor capacidad de retención del agua, permite que esta tenga menos probabilidades de saturarse, permitiendo finalmente que el agua pase de manera más expedita. Respecto a los resultados de la arena o limo con vegetación, no se tenía claridad en cuanto a la velocidad, pero si en la práctica se comprobó lo expuesto por el portal Ciclo Hidrológico (Pérez, s.f.).

6. Conclusión

El agua presenta diversas propiedades físicas, entre las cuales se destaca la adhesión, que es la atracción de las moléculas de agua hacia superficies sólidas como el suelo. En los

experimentos realizados en el presente estudio, se observó que, a medida que se incrementaba el número de repeticiones, se hacía cada vez más evidente la importancia de la variable de composición vegetal en los suelos. Esta variable resulta fundamental para evaluar tanto la capacidad como la velocidad de infiltración del agua, ya que la presencia de materia orgánica influye significativamente en el comportamiento del agua al infiltrarse en distintos tipos de suelo.

Diversos factores como la composición del suelo afectan la infiltración del agua, entre ellos se encuentran: la textura, la estructura, la densidad o la porosidad misma de este.

A partir de lo observado con la realización del experimento, se pudo corroborar respecto en el suelo tipo limo, que el agua se infiltra con mayor rapidez a diferencia del suelo tipo arena, debido a la estructura de esta misma y en general, a las propiedades expuestas en la tabla 1.1; experimento que por lo demás permitió corroborar en terreno la porosidad del componente vegetal en los suelos, haciendo en el caso particular de la arena, que sus partículas se volvieran más finas. Si bien la porosidad incide en el proceso de infiltración, esto no es sinónimo de velocidad, sino que es proporcional a su capacidad de retención de agua.

Por otra parte, también se pudo comprender cómo, mediante un trabajo práctico realizado en una pequeña área seleccionada, es posible dimensionar procesos a gran escala y reflexionar sobre problemáticas locales conocidas, como las inundaciones en las calles.

En este sentido, aunque al inicio del trabajo se subrayó la importancia del agua, durante el desarrollo del estudio se destacó la relevancia del suelo, sus propiedades y su estructura. Se evidenció cómo el suelo no solo afecta, sino que también regula diversos procesos, siendo en este caso específico, la infiltración de agua.

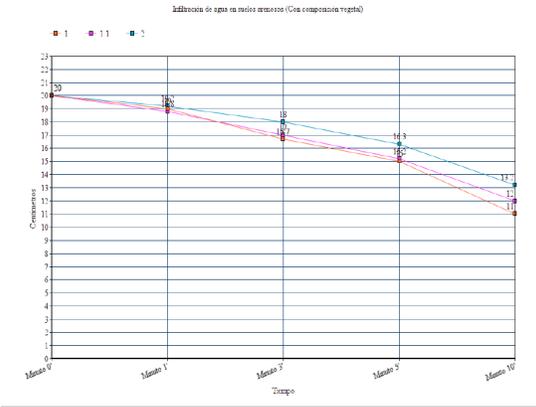
En este sentido, dentro de los conceptos abordados en esta indagación, se incluyen los diferentes tipos de suelos que, en conjunto, forman un suelo heterogéneo. Esto se debe a que los tres tipos de suelo estudiados están presentes en diversos proporciones. Asimismo, se destaca el impacto de la vegetación en el suelo y la importancia de los suelos más porosos. Finalmente, a través de este ejercicio, se explican procesos a mayor escala, como la escorrentía, que ocurre cuando la tasa de infiltración es superada por la tasa de precipitación. En estos casos, la falta de una barrera natural provoca que el agua se escurra en lugar de infiltrarse.

7. Bibliografía

- Ciclo del agua. (s.f.). www.ecured.cu.
https://www.ecured.cu/Ciclo_del_agua#Infiltraci.C3.B3necured
- Jaramillo, D. (2002) "Introducción a la Ciencia del Suelo". Medellín: Universidad de Colombia. Facultad de Ciencias.
- Millar, C. (1962) "Fundamentos de la Ciencia del Suelo" México: Compañía Editorial Continental, S.A.
- Muñoz, I., y Miranda, O. (1985) "Manejo de suelo y velocidad de infiltración del agua de riego en un parronal" cv. Sultanina. *Investigación y Progreso Agropecuario La Platina*.
- Pérez, G. (s.f.). Ciclo Hidrológico. https://www.ciclohidrologico.com/infiltracion_d_el_agua
- Pizarro, R., y Flores, J. (2008) "Módulo 3 Curvas de infiltración". *Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos*.

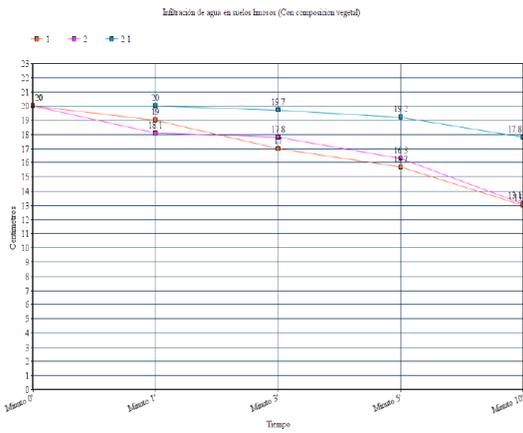
8. Anexos

Gráfico 5. Infiltración de agua en suelos arenosos con composición vegetal.



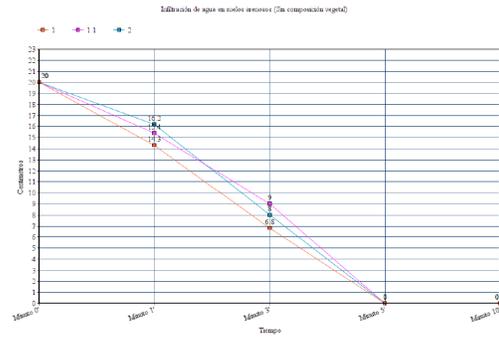
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Infiltración de agua en suelos limosos con composición vegetal.



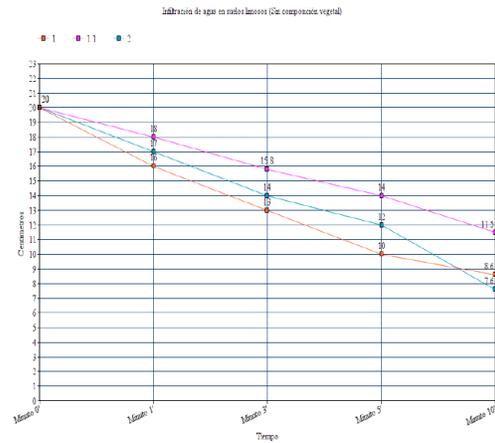
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7. Infiltración de agua en suelos arenosos sin composición vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8. Infiltración de agua en suelos limosos sin composición vegetal.



Fuente: Elaboración propia.