

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN POR
PRECIPITACIONES, UTILIZANDO INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO
EN LA ZONA DE RECARGA HÍDRICA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA
DE RONTOCOCHA-ABANCAY, 2016”**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

Bach. JOSE LUIS HUAMAN HUAMAN

ASESOR:

Blga. ELENA ALVIRA MAMANI GONZALES

**Abancay - Perú
2016**

PORTADA

**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN, UTILIZANDO
INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO EN LA ZONA DE RECARGA HÍDRICA
DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE RONTOCOCHA-ABANCAY, 2016”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
CALIDAD DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**ASESOR:
BLGA. ELENA ALVIRA MAMANI GONZALES**

DEDICATORIA

Esta Investigación va dedicada a mis padres y mis hermanos por el apoyo incondicional que me ofrecieron durante mi formación universitaria y a todas las personas que me acompañaron en este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre y mis hermanos, por la motivación brindada, para el cumplimiento de mis objetivos y metas en la vida.

A Marilia el amor de mi vida, mujer que siempre está a mi lado por su gran apoyo en mis objetivos y metas.

A mis Asesora a la Bióloga Elena Alvira Mamani Gonzales por el apoyo incondicional en el planteamiento y ejecución del proyecto de Tesis.

A mis amigos Nilo, Yeyson, Pablo Briand, Sandra A. V., Josep CR7, Yorman, Ana, Carina, Yaqui, Sheyla, Chana, Pablo, Jorch, Betzi, Frank, Leydi, German, Paola, Ando Luis, Manuel por compartir y permitirme conocer verdaderos amigos y más que amigos hermanos una familia.

A mis docentes, por haberme impartido sus conocimiento y experiencia a lo largo de mi formación Universitaria

ÍNDICE

I.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1.	Descripción de la realidad problemática.....	9
1.2.	Formulación del problema	11
1.3.	Justificación o importancia del estudio.....	11
II.	OBJETIVOS	13
2.1.	Objetivo central.....	13
2.2.	Objetivos específicos.....	13
III.	MARCO REFERENCIAL.....	14
3.1.	Antecedentes	14
3.2.	Marco teórico general.....	17
3.3.	Capacidad de infiltración.....	19
3.4.	Factores que afectan a la infiltración.....	20
3.5.	Métodos para determinar la infiltración.....	23
3.6.	Ecuación de Horton.....	25
3.7.	Unidad hidrográfica.....	26
3.8.	Zona de recarga hídrica.....	28
3.9.	Marco conceptual.....	31
IV.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	34
4.1.	Hipótesis central.....	34
4.2.	Hipótesis específicas	34
V.	IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES	35
5.1.	Variable dependiente.....	35
5.2.	Variable independiente.....	35
5.3.	Operacionalización de variables.....	35
VI.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
6.1.	Tipo de Investigación.....	36
6.2.	Método.....	36
6.3.	Procedimiento	39
VII.	DETERMINACIÓN DEL UNIVERSO.....	40
7.1.	Tamaño del universo y la población.....	40
7.2.	Ubicación.....	40
7.3.	Descripción de la zona de estudio Clima y área	41
7.4.	Aspectos geológicos generales.....	41
VIII.	FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	52
8.1.	Fuentes primarias.....	52

8.2.	Fuentes secundarias.....	52
8.3.	Monitoreo	52
IX.	PROCESAMIENTO, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	53
9.1.	Descripción, análisis, e interpretación de Resultados.....	53
9.2.	Descripción, análisis de indicadores de muestras.....	54
9.3.	Formulación de conclusiones y recomendaciones.....	91
9.4.	Recomendaciones	92
X.	BIBIOGRAFIA.....	93
XI.	ANEXOS	94
11.1.	Muestras de la unidad hidrográfica en estudio	94
11.2.	Panel fotográfico	109
11.3.	Mapa de Zona de Recarga Hídrica.....	113
11.4.	Mapa de ubicación de Zona de Recarga Hídrica de Rontoccocha.	114

RESUMEN

La infiltración de suelos es un buen indicador de medida, pues determina la calidad y la salud del suelo, debido al proceso de transporte de agua que ocasiona dentro del suelo, la cual se constituye como un medio para la conservación de las actividades físicas, químicas y biológicas de los suelos, y recíprocamente a ello se genera infiltración, la cual recarga los acuíferos (Gomez, 2014).

Es por ello, por su enorme importancia que se realiza la evaluación de infiltración de suelos en la zona de recarga hídrica de Rontoccocha, de la Unidad Hidrográfica Mariño, teniendo como objetivo fundamental evaluar su capacidad de Infiltración, ya que es preponderante, pues la acumulación de agua por medio de la infiltración es fundamental para recargar las lagunas y puquiales de la zona en estudio, debido a que son recursos hídricos que proveen agua para consumo humano y para riego.

La investigación tiene como propósito determinar la velocidad de infiltración de los suelos y acumulación de agua en 23 puntos de muestreo, la cual representan a la zona de recarga hídrica de Rontoccocha, para ello se utiliza la metodología del Infiltrómetro de doble anillo, que es un instrumento de medición. Por las características del estudio se determina que la investigación tiene carácter descriptivo y nivel aplicado.

Unidad Hidrográfica de Rontoccocha, se tomaron 23 muestras representativas, las cuales fueron analizadas detalladamente, utilizando para ello el Modelo Horton, la cual es una de las primeras ecuaciones de infiltración fue desarrollada en 1940 quien a partir de experimentos de campo, estableció, para el caso de un suelo sometido a una precipitación con intensidad siempre superior a la capacidad de infiltración, una relación empírica para representar el declive de la infiltración con el tiempo puede ser presentada de la siguiente forma: (Horton, 1940)

Palabras clave: Infiltración, Infiltrómetro

SUMMARY

Soil infiltration is a good measure indicator, since it determines the quality and health of the soil, due to the water transport process that it causes inside the soil, which is constituted as a means for the conservation of physical, chemical activities and biological of the soils, and reciprocally to this, infiltration is generated, which recharges the aquifers (Gomez, 2014).

This is why, due to its enormous importance, the evaluation of infiltration of soils in the Rontoccocha water recharge zone of the Mariño Hydrographic Unit is carried out, with the fundamental objective of evaluating its infiltration capacity, since it is preponderant, since the accumulation of water through infiltration is fundamental to recharge the lagoons and puquiales of the area under study, because they are water resources that provide water for human consumption and for irrigation.

The purpose of the research is to determine the infiltration rate of the soils and the accumulation of water in 23 sampling points, which represent the Rontoccocha water recharge zone. For this purpose, the methodology of the double ring Infiltrometer is used, which is a Measuring instrument. Due to the characteristics of the study, it is determined that the research has a descriptive character and an applied level.

Hydrographic Unit of Rontoccocha, 23 representative samples were taken, which were analyzed in detail, using the Horton Model, which is one of the first infiltration equations was developed in 1940 who, based on field experiments, established, for that matter of a soil subjected to a precipitation with intensity always superior to the capacity of infiltration, an empirical relation to represent the decline of the infiltration with time can be presented of the following form: (Horton, 1940)

Keywords: Infiltration, Infiltrometer

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La zona de recarga hídrica de Rontoccocha en la actualidad, va confrontando una realidad problemática, de frecuente escasez de agua y ello supone un riesgo para las poblaciones que son dependientes en lo que respecta al consumo de agua tanto para riego, agricultura, y para consumo humano. Todo ello surge a consecuencia de varios aspectos; el primero y el más importante es el cambio climático, por ser causante de las variaciones climáticas que alteran en gran medida la frecuencia de precipitaciones en la zona y variaciones de temperatura fundamentalmente. Al no generarse precipitaciones, la infiltración de suelos que es la causante de recargas de los colchones acuíferos se altera y sufren una desproporción, la cual ocasiona escasez de agua, poniendo en riesgo a los ecosistemas acuáticos aguas abajo en riesgo y a la población humana.

Es imprescindible indicar que además de variaciones en el clima, existen otros factores que impiden la infiltración de suelos, las cuales son, las actividades económicas humanas, y una de ellas la más importante son las ganaderas, debido a que en la zona de recarga acuífera de Rontoccocha existen familias que durante todo el año mantienen a animales domésticos como los caprinos, ovinos, ganado vacunos y ganados équidos, las cuales generan una constante degradación de suelos, ya que se afecta directamente a la cobertura vegetal que existe In situ. Asimismo, se ocasiona diversos problemas como compactación y erosión de suelo, por estar los suelos desprotegidos y son vulnerables a la erosión hídrica y la erosión eólica.

Otro problema que ocasiona el pastoreo es que se elimina la cobertura vegetal, la cual desfavorece la infiltración de suelos, toda vez que se genera precipitaciones, y solo se ocasiona escorrentías arrastrando capas del suelo, generando cárcavas, además se ocasiona compactación de suelos, por la ganadería existente, la cual altera los

suelos de su estado situacional normal, generando pérdida de diversidad biológica, fundamentalmente la flora.

En la zona de recarga hídrica, también se practica la agricultura en menor medida, pero, sin embargo, estas aún no son prácticas agrícolas que favorezcan la conservación de suelos, y mucho menos que ayuden a generar infiltración de suelos, debido a que la agricultura practicada aún genera surcos.

Por lo tanto, la disponibilidad existente, si no se conserva adecuadamente podría ser un problema grave, ya que la población de Abancay y poblaciones aledañas, dependen de esta fuente de agua, de modo que debe existir moderación de consumo por parte de la población, ya que sin su colaboración los esfuerzos técnicos que llevan a cabo algunas organizaciones resultan insuficientes. La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua.

Por razones como las que se plantearon se hace la formulación de problema de la siguiente manera.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema central

- ¿En qué medida se manifiesta el potencial de la capacidad de infiltración por precipitaciones, utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, Abancay-2016?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida evoluciona la velocidad de infiltración en su capacidad por precipitaciones utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha-Abancay-2016?
- ¿En qué medida evoluciona el volumen acumulado de Infiltración en su capacidad de infiltración por precipitaciones utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, Abancay-2016?

1.3. Justificación o importancia del estudio

El objetivo fundamental de la presente Investigación es evaluar la capacidad de infiltración utilizando como instrumento de medición, infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la Unidad Hidrográfica de Rontoccocha, con la cual se determinará la velocidad de infiltración (mm/hr) y el volumen de agua acumulada (m^3), de modo que, estos resultados de las 23 muestras distribuidas en la zona de recarga hídrica de Rontoccocha, sirvan como base para los siguientes aspectos de proyección social, como instrumento de gestión y como investigación que llene vacíos de información.

En proyección social la investigación tiene carácter preponderante, pues la investigación es importante, ya que las poblaciones aguas abajo como Atumpata, Aymas, y Abancay utilizan las aguas provenientes de la zona de recarga en mención tanto para agricultura

como para consumo humano, pues conociendo las variables en estudio, estas podrían servir para fomentar la cultura del cuidado y la conservación del agua.

Por otra parte, la información obtenida podría ser útil, para implementar mecanismo de gestión para la conservación y el aprovechamiento sostenible del recurso natural (agua, cobertura vegetal, suelo) que coadyuven desarrollar la infiltración de suelos en su estado normal. Es importante señalar que no existe bibliografía alguna sobre la capacidad de infiltración en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha por lo que el presente trabajo constituye el primer aporte de conocimiento, orientado a aportar una guía útil para las generaciones actuales y futuras que requieran realizar exploraciones similares dentro de la región Apurímac. En conclusión, a través de esta investigación se pretende realizar una evaluación completa del potencial de infiltración con que cuenta mediante un estudio detallado de la capacidad de infiltración de la zona de recarga hídrica de Rontoccocha, así como la recolección de datos de infiltración por el método del infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo central

Determinar el potencial de la capacidad de infiltración por precipitaciones utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la evolución en el tiempo de la velocidad de infiltración por precipitaciones utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.
- Determinar la evolución en el tiempo del volumen acumulado de infiltración por precipitaciones, utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.

III. MARCO REFERENCIAL

3.1. Antecedentes

3.1.1. De contexto Nacional

En una investigación intitulada Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas, cuyos objetivos fueron, evaluar, determinar el uso del suelo con mayor tasa de infiltración en la subcuenca del río Shullcas en Huancayo, para ello se utilizó una metodología con un diseño correlacional. Los usos actuales del suelo fueron demarcados según la normativa peruana, para lo cual se seleccionaron 31 muestras al azar, usando el ArcGIS, en las que se midieron la infiltración empleando infiltrómetros de doble anillo, asimismo, se registraron tipos de cobertura vegetal y se tomaron muestras de suelo para analizar sus contenidos de arcilla, arena, limo, humedad, densidad aparente y porosidad. Los resultados encontrados fueron, las tasas de infiltración promedio, según el tipo de uso de tierras, fueron: 14,04 cm /h para las tierras forestales; 12,42 cm /h para las tierras agrícolas y 2,07 cm /h para las tierras de pastoreo; además, solo el 12,63 % de la subcuenca del río Shullcas tiene infiltración mayor a 0,2 cm /h. Finalmente, las Conclusiones, afirman que no existe diferencia estadística significativa entre la tasa de infiltración de tierras forestales y agrícolas, pero si existe diferencias de la tasa de infiltración de tierras forestales y agrícolas respecto a la tasa de infiltración de tierras de pastoreo. (Gomez, 2014)

3.1.2. De contexto internacional

Por otro lado, otra investigación realizada por (Agropecuaria, 2003) con título “Rolado de fachinales e infiltración de agua en suelo en el chaco occidental-Argentina” donde menciona que el rolado es un tratamiento mecánico que trata de solucionar el problema de la baja receptividad y accesibilidad de fachinales o arbustales causados por manejo inadecuado del campo natural en la región chaqueña occidental. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto instantáneo,

y luego de una estación de crecimiento, del rolado y la presencia/ tipo de mantillo sobre el proceso de infiltración de agua en el suelo, un indicador clave de calidad del mismo. Se evaluaron dos ensayos, realizados en 1997 y 1999, respectivamente. Los tratamientos fueron rolado y testigo. La infiltración se evaluó mediante el infiltrómetro de doble anillo, estimándose la velocidad de infiltración mediante el modelo de Kostiakov, que ajustó muy bien a los datos de lámina infiltrada en función del tiempo. Se realizó un análisis de la varianza, empleando como variables independientes: tratamiento (rolado y testigo), sitio de pastizal (alto, media loma y bajo) y presencia/tipo de mantillo (suelo desnudo, mantillo de gramíneas y de leñosas). Las variables dependientes fueron infiltración básica (I_b , mm.h⁻¹) y el tiempo (T, min) que tarda el suelo en generar escorrentía ante una intensidad de precipitación de 75 mm.h⁻¹, evento con un tiempo de retorno de 1,25 años en la zona. A pesar de la gran variabilidad espacial observada en los parámetros de infiltración, los resultados indican que el rolado disminuyó la infiltración básica con respecto al testigo, sugiriendo una modificación del proceso de infiltración en los ecosistemas tratados, aunque el efecto parece ser de corta duración en el tiempo. El efecto fue diferencial por sitio de pastizal, siendo el alto el sitio más afectado. La mayor influencia sobre infiltración básica y tiempo la ejerció la presencia y el tipo de mantillo vegetal ($p < 0,05$), factor asociado especialmente a la cobertura de leñosas. Se recomienda no pastorear inmediatamente luego del rolado ni tampoco aplicar fuego de manera indiscriminada, a fin de no potenciar este efecto negativo del rolado sobre la calidad de suelos.

También en la investigación realizada por (Alanis, 2006) con título de “Manejo silvícola, capacidad de infiltración, escurrimiento superficial y erosión” sostiene que la Sierra Madre Occidental del estado de Durango, México es una zona forestal comercialmente importante que sirve de recarga de agua para las cuencas del Océano Pacífico y del interior del centro norte del país. En esta investigación, se estudió el efecto de cuatro tratamientos silvícolas en la infiltración, escorrentía y erosión en un suelo forestal en Santa Bárbara, Durango, México. Estos

procesos hidrológicos se evaluaron en 1998 y 1999 con el uso de un simulador de lluvia portátil, aplicando 10.47 cm h⁻¹ de agua durante 30 min. En el primer año, se encontró mayor infiltración, menor flujo superficial de agua y mayor concentración de sedimentos en el segundo aclareo en contraste con el tercer aclareo y corta de regeneración ($P = 0.0001$). El apacentamiento mostró los mayores efectos en los procesos hidrológicos en contraste con los tratamientos silvícolas ($P = 0.0001$). Para el segundo año no existieron diferencias significativas entre los tratamientos silvícolas, pero sí entre el apacentamiento y los tratamientos silvícolas, indicando que la extracción de la trocería sobre la hidrología superficial es considerada un efecto temporal y espacialmente delimitada a las áreas donde se concentra el aprovechamiento forestal. A partir de estos resultados, se observa que el apacentamiento tiene efectos a largo plazo sobre los procesos hidrológicos. Es pertinente recomendar (i) normar los cambios del uso del suelo y la capacidad de carga en los bosques, (ii) reducir los impactos ambientales provocados por la extracción de trocería y (iii) realizar prácticas de conservación de suelo y agua después de aplicar las actividades silvícolas para mantener el ciclo natural del agua en la Sierra Madre Occidental de Durango, México.

3.2. Marco teórico general

3.2.1. Infiltración

La infiltración es la cantidad de agua en movimiento que traspasa de forma vertical la superficie del suelo, como consecuencia de la acción de la fuerza gravitacional y capilar, y la cantidad de agua quedará retenida en el suelo y/o alcanzará el nivel freático del acuífero contribuyendo a que se incremente el volumen del agua

Es el proceso donde el agua penetra de la superficie del suelo hacia el subsuelo. Satisface las necesidades o deficiencias de humedad del suelo cerca de la superficie y una vez superado el nivel de humedad forma parte de los acuíferos. (Gurvich, 1985). Los factores principales que afectan la infiltración son:

- Contenido de humedad del suelo.
- Porosidad.
- Permeabilidad.
- Evapotranspiración.
- Tipo de densidad de la cobertura del suelo.
- La altura de la capa freática.
- El desarrollo de microorganismo del suelo.

Debido a estos factores que afectan la infiltración, resulta difícil estimar con algún grado de precisión su verdadero valor a menos que el estimativo se haga con base en determinaciones directas. (Gurvich, 1985)

Luque (1981), citado por (Ortea, 2015) define como el flujo de agua desde el suelo hacia las zonas no saturada y saturada.

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y después cualquier proceso pasa a ser parte del agua subterránea. Kramer (1974), citado por (Ortea, 2015)

La infiltración se refiere a la entrada descendente o movimiento del agua a través de la superficie del suelo (Narro, 1994).

Foth y Turk (1979) define la filtración como "...el movimiento del agua a través de una columna de suelo, generalmente en condiciones subsaturadas o casi saturadas".

Según Aparicio (2004) define como "el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia dentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares".

De manera general, se puede decir que la infiltración es un proceso físico que consiste en el paso del agua del ambiente atmosférico al edáfico, sin considerar el flujo hacia los estratos inferiores del suelo (percolación).

describe el proceso de infiltración de la siguiente manera: si se considera un área de suelo suficientemente pequeña, de modo que sus características (tipo de suelo, cobertura vegetal, etc.), así como la intensidad de la lluvia en el espacio puedan considerarse uniforme, aunque la última cambie en el tiempo; suponiendo que, al inicio de la tormenta, el suelo está seco de tal manera que la cantidad de agua que puede absorber en la unidad de tiempo (capacidad de infiltración) es mayor que la intensidad de la lluvia en esos primeros instantes de la tormenta. Berlijn (1997), citado por (Ortea, 2015)

Según Mendizábal (1968), citado por (Ortea, 2015) plantea que la capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones. Una superficie compacta permite menos infiltración. El impacto de la lluvia reduce la infiltración, en especial en suelos dispensables con facilidad e influye en forma directa sobre la infiltración, pero no sobre la capacidad de infiltración. La superficie del suelo con capa vegetativa tiene más velocidad de infiltración que los suelos sin cubierta vegetal.

3.2.2. Fases del proceso de infiltración.

A. Intercambio.

Se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua puede retornar a la atmósfera por medio de la evaporación o evapotranspiración debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas. (Gurvich, 1985).

B. Transmisión.

Ocurre cuando la acción de la gravedad supera a la capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable. (Gurvich, 1985)

C. Circulación.

Se presenta cuando el agua se acumula en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por la acción de la gravedad, obedeciendo las leyes del escurrimiento subterráneo. (Gurvich, 1985).

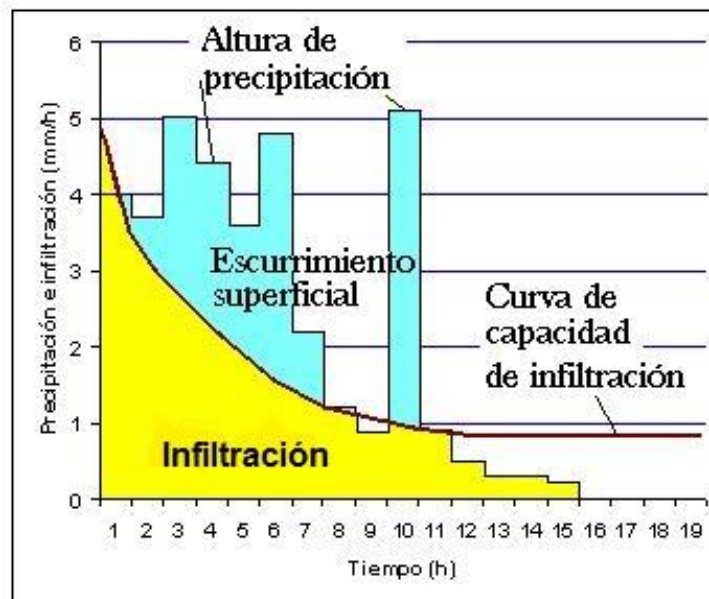
3.3. Capacidad de infiltración.

Es la máxima cantidad de agua que puede absorber el suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función: de la humedad del suelo, material que conforma el suelo y de la mayor o menor comparación del mismo. (Gurvich, 1985).

La capacidad de infiltración disminuye hasta alcanzar un valor casi constante a medida que la precipitación se prolonga, y es entonces cuando empieza el escurrimiento.

A la lluvia que es superior a la capacidad de infiltración se le denomina lluvia neta (es la que escurre). A la lluvia que cae en el tiempo en que hay lluvia neta se le llama lluvia eficaz, por lo tanto, la lluvia neta equivale a la lluvia eficaz. (Gurvich, 1985).

Figura 1. Curva de la capacidad de infiltración.



Fuente: (Gurvich, 1985)

3.4. Factores que afectan a la infiltración.

3.4.1. Características del Suelo.

Entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento del suelo, mayor será la permeabilidad y por lo tanto también mayor capacidad de infiltración. (Gurvich, 1985)

La textura del suelo influye por sí y por su influencia en la estabilidad de la estructura, en forma tanto menor cuanto mayor sea la proporción de materiales finos que contenga. Un suelo con gran cantidad de limos y arcillas, está expuesto a la disgregación y arrastre de estos materiales por el agua, con el consiguiente llenado de poros más profundos. (Segeer, 2006)

La estructura define el tamaño de los poros. La existencia de poros grandes reduce la tensión capilar, pero favorece directamente la entrada de agua y el calor específico del terreno influirá en su posibilidad de almacenamiento de calor, afectando a la temperatura del fluido que se infiltra, y por lo tanto, a su viscosidad. (Segeer, 2006)

El aire que llena los poros libres del suelo, tiene que ser desalojado por el agua para ocupar su lugar, lo que reduce la intensidad de la infiltración, hasta que es desalojado totalmente. (Segerer, 2006).

3.4.2. Grado de Humedad del suelo

La infiltración varía en proporción inversa a la humedad del suelo, es decir, un suelo húmedo presenta menor capacidad de infiltración que un suelo seco. (Gurvich, 1985)

Por otro lado (Segerer, 2006), establece que la humedad inicial del suelo tiene una importancia capital en el proceso. Cuando el suelo se halla seco al comienzo de la lluvia, se crea una fuerte capilaridad al humedecerse las capas superiores, efecto que se suma al de gravedad, incrementando la intensidad de infiltración. A medida que el suelo se humedece, las arcillas y coloides se hinchan por hidratación, cerrando los vacíos y disminuyendo en consecuencia la capacidad de infiltración. Cuando un suelo tiene completa su capacidad de absorción de agua al comenzar la precipitación, resulta evidente que la cantidad de agua que admitirá será mucho menor.

3.4.3. Acción de la precipitación sobre el suelo.

El agua de lluvia al chocar con el suelo facilita la compactación de su superficie disminuyendo la capacidad de infiltración; por otra parte, el agua transporta materiales finos que tienden a disminuir la porosidad de la superficie del suelo, humedece la superficie, saturando los horizontes más próximos a la misma, lo que aumenta la resistencia a la penetración del agua. (Gurvich, 1985)

3.4.4. Cubierta vegetal.

La cubierta vegetal densa favorece la infiltración y dificulta el escurrimiento superficial del agua. Una vez que la lluvia cesa, la humedad del suelo es retirada a través de las raíces, aumentando la capacidad de infiltración para próximas precipitaciones. (Gurvich, 1985)

3.4.5. Acción del hombre y de los animales.

El suelo virgen tiene una estructura favorable para la infiltración, alto contenido de materia orgánica y mayor tamaño de los poros. Si el uso de la tierra tiene buen manejo, se favorecerá el proceso de la infiltración, en caso contrario, cuando la tierra está sometida a un uso intensivo por animales o sujeto al paso constante de vehículos, la superficie se compacta y se vuelve con menor capacidad de permeabilidad. (Gurvich, 1985)

3.4.6. Temperatura.

Las temperaturas bajas dificultan la infiltración ya que puede ser bajo en el suelo, como para provocar el congelamiento del agua recibida. La capa helada que se forma, puede considerarse prácticamente impermeable. No obstante, el agua de lluvia puede llegar a proporcionar calor suficiente para la fusión de esa primitiva capa y penetrar en el terreno. (Segerer, 2006).

3.4.7. La textura de un suelo

Se refiere a la proporción en la que están distribuidas las partículas que lo componen; es decir, los porcentajes de arena, limo y arcilla que están presentes en éste.

Tabla 1. Propiedades físicas del suelo.

Textura del suelo	Densidad aparente (gr/cc)	Capacidad de campo
Arenoso	1.55 – 1.80	6 – 12
Franco - arenoso	1.40 – 1.60	10 – 18
Franco	1.35 – 1.50	18 – 26
Franco – arcilloso	1.30. – 1.40	23 – 31
Arcilloso – arenoso	1.25 – 1.35	27 – 35
Arcilloso	1.20 – 1.30	31 - 39

Fuente: (Chow, 1996)

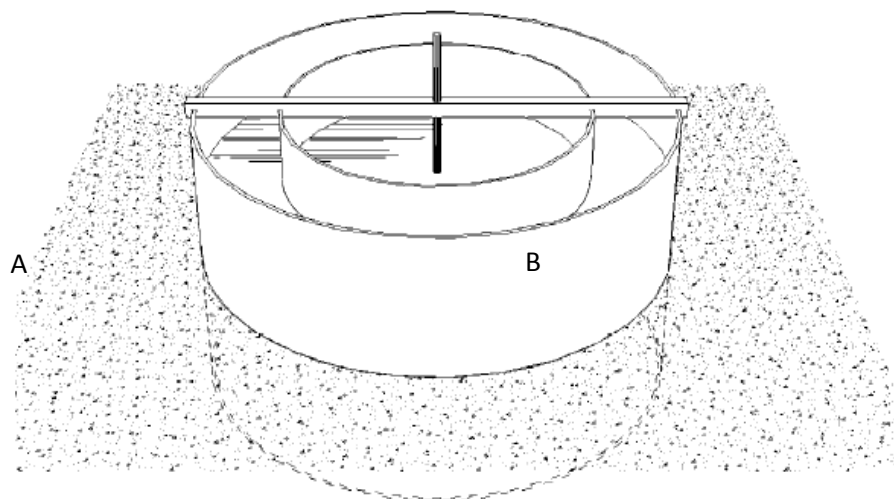
3.5. Métodos para determinar la infiltración.

Todos los métodos disponibles para calcular la capacidad de infiltración en una cuenca están basados en la relación entre lo que llueve y lo que escurre. En la práctica resulta complicado analizarla detalladamente y solo es posible hacerlo con ciertas limitaciones para cuencas pequeñas donde ocurren tormentas sucesivas. Para los cálculos de infiltración se requieren de histogramas de la precipitación media con su correspondiente hidrograma, por lo que se necesita de un pluviógrafo y una estación de aforo en la salida. (Gurvich, 1985).

3.5.1. Infiltrómetro de doble anillo.

Los anillos infiltrómetros consisten de un juego de dos anillos de 25 cm de alto. El exterior de 55 cm. de diámetro y el interior de 35 cm. de diámetro; una regla con una escala graduada en cm. y mm para realizar las mediciones. La profundidad a la que penetraron los anillos fue de 15 cm. El método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior. (Reynolds, 1991).

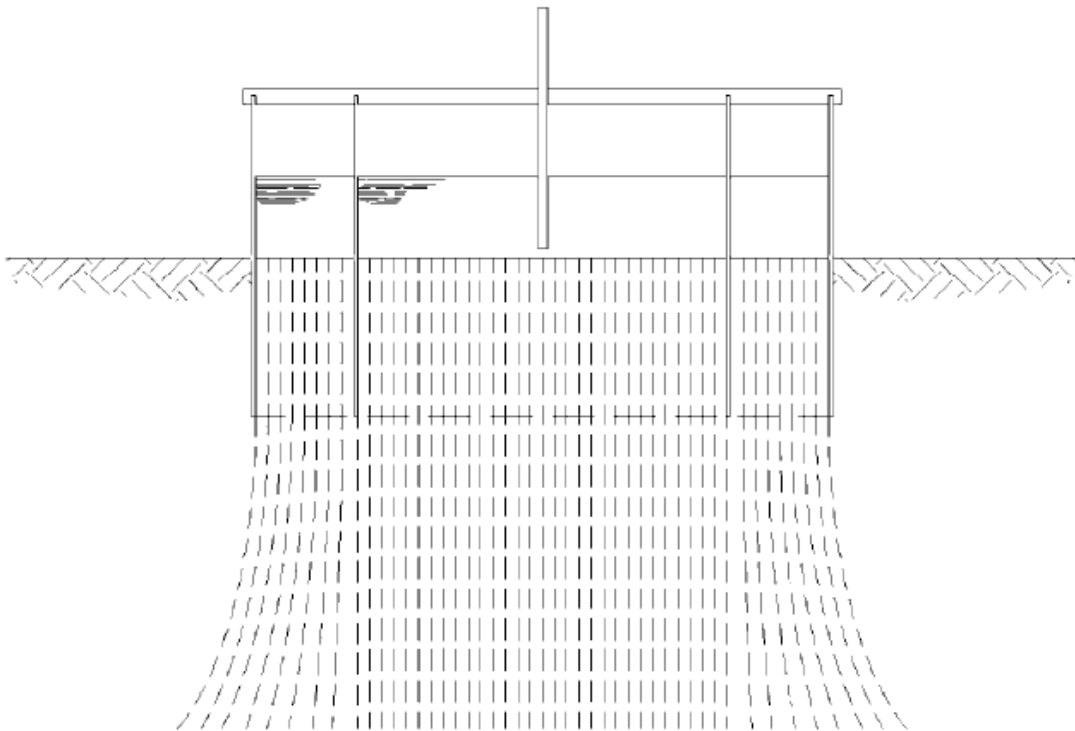
Figura 2. Efecto de la diferencia de niveles de agua entre ambos anillos.



- A. El flujo entra hacia el anillo interior
- B. El flujo abandona del anillo interior.

Fuente: (Reynolds, 1991)

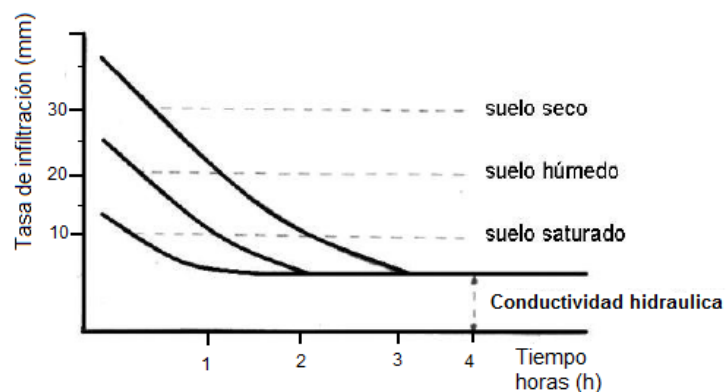
Figura 3. Flujo de agua en el suelo generado por el doble anillo.



Fuente: (Reynolds, 1991)

El tiempo que transcurre hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua, y la altura del agua en el anillo interior. (Reynolds, 1991).

Figura 4. Evolución de la tasa de infiltración.



Fuente: (Reynolds, 1991)

3.6. Ecuación de Horton.

Una de las primeras ecuaciones de infiltración fue desarrollada por Horton en 1940 quien a partir de experimentos de campo, estableció, para el caso de un suelo sometido a una precipitación con intensidad siempre superior a la capacidad de infiltración, una relación empírica para representar el declive de la infiltración con el tiempo puede ser presentada de la siguiente forma: (Horton, 1940).

Fórmula 1. Ecuación de Horton.

$$I_t = I_b + (I_i - I_b) e^{-k t}$$

Donde:

t=tiempo pasado desde la saturación superficial del suelo.

K=constante de decaimiento [T-1]

I_t=tasa de infiltración en el tiempo t

I_i=tasa de infiltración inicial (t=0)

I_b=tasa mínima de infiltración (asintótica)

Fuente: (Horton, 1940)

La tasa mínima de infiltración I_b teóricamente sería igual a la conductividad hidráulica saturada K_{sat}, si no hubiese el efecto del aire comprimido en el interior del suelo, dificultando la infiltración. Por eso I_b es normalmente menor que K_{sat}. El ajuste de la ecuación de Horton a datos medidos en campo permite la determinación de los parámetros I_i, I_b y k. El parámetro I_b es fácilmente identificable en los experimentos, porque representa la conductividad hidráulica saturada aparente del suelo (aparente porque incluye la resistencia proporcionada por el aire comprimido en los poros del suelo natural). El parámetro I_i también es obtenido inmediatamente de los experimentos porque es una tasa de infiltración inicial, esto es una tasa de infiltración en el momento en que es alcanzada la saturación superficial y comienza a haber

escurrimiento (exceso) superficial, lo que equivale a decir que I_i es igual a la intensidad de la precipitación que saturó la superficie del suelo. Establecidos I_b e I_i resta apenas determinar el parámetro k , lo que es hecho a través del ajuste de la ecuación anterior a los puntos I y t medidos en campo. (Horton, 1940).

Integrando la ecuación anterior con respecto al tiempo, se obtiene la ecuación de los volúmenes infiltrados acumulados en el tiempo:

Fórmula 2. Ecuación de Horton.

$$V_f = \frac{I_i - I_b}{k} (1 - e^{-kt}) + I_b t$$

Donde V_f = volumen infiltrado acumulado hasta el tiempo t , contado a partir del momento en la superficie del suelo se saturó.

Fuente: (Horton, 1940)

3.7. Unidad hidrográfica.

3.7.1. Cuenca Hidrográfica.

La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. (Villon Bejar, 2002).

La cuenca hidrográfica es “un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o ‘divisoria de aguas’ se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río”. (Ramakrishna, 1997).

Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas integrales y además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en

su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo. (Garrido A., 2010)

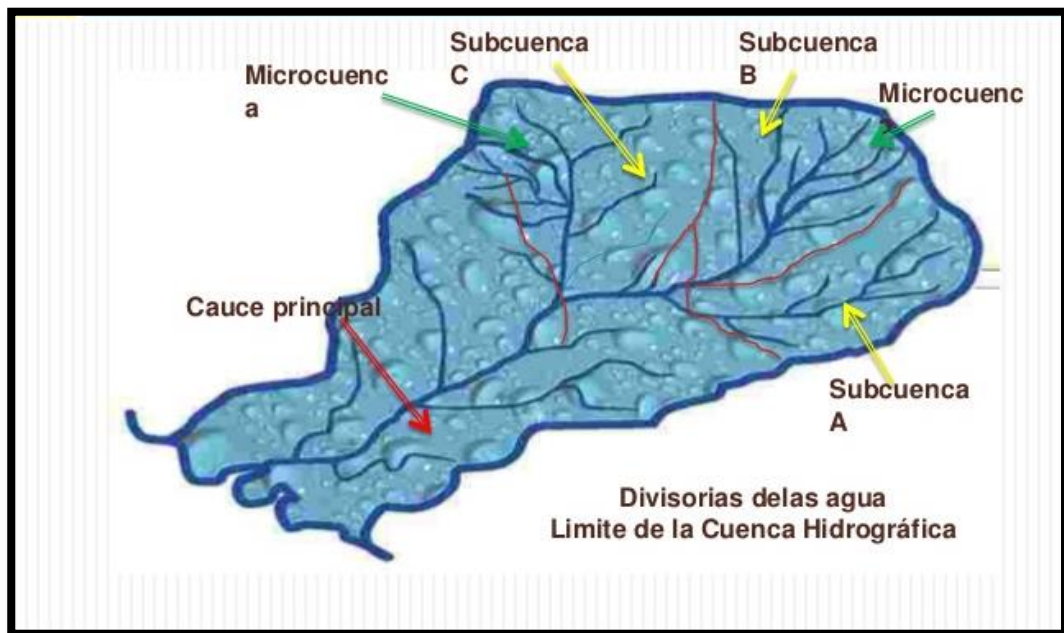
En función de la dinámica hidrológica se pueden reconocer tres zonas funcionales distintas al interior de una cuenca (Garrido A., 2010).

La zona de captación, de cabecera o cuenca alta. Son áreas aledañas a la divisoria de aguas o parteaguas en la porción altimétrica más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En esta zona se forman los primeros escurrimientos (arroyos) luego que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad. (Garrido A., 2010)

La zona de almacenamiento, de transición o cuenca media. Es una zona de transición entre la cuenca alta y la cuenca baja, donde los escurrimientos iniciales confluyen aportando diferentes caudales cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica diferirán en función de las actividades que se realizan en cada subcuenca; es un área de transporte y erosión. (Garrido A., 2010)

La zona de descarga, de emisión o cuenca baja. Es el sitio donde el río principal desemboca en el mar o bien en un lago. Se caracteriza por ser una zona de importantes ecosistemas, como los humedales terrestres y costeros, además de muy productiva para el uso agrícola y donde se acumulan los impactos de toda la cuenca. (Garrido A., 2010).

Imagen 1. Cuenca hidrológica.



Fuente: Garrido A., 2010.

3.8. Zona de recarga hídrica.

En términos generales se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero, agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas superficiales (importantes en climas poco lluviosos), hasta la transferencia de agua desde otro acuífero, si los mismos son externos al acuífero o sistemas de acuíferos en consideración. (Custodio, 1998).

El deterioro de las zonas de recarga hídrica de las cuencas hidrográficas, la baja eficiencia del uso del recurso, la contaminación de ríos, fuentes, zonas de recarga y reservorios de agua, están causando una acelerada reducción de la disponibilidad de las fuentes de agua para usos múltiples. El grado de deterioro de las zonas de recarga está determinado por el grado de erosión de los suelos, compactación y la deforestación, sobre todo en zonas de pendientes muy inclinadas que favorecen la escorrentía. Esta situación está siendo causada por la intervención del ser humano para desarrollar

actividades agrícolas, industriales, extracción de leña, construcción de viviendas y actividades pecuarias, en sitios no apropiados. (Faustino, 2006).

Los fenómenos más importantes concernientes a los acuíferos desde el punto de vista de la hidrología son la recarga y descarga de ellos. Normalmente los acuíferos se van recargando de forma natural con la precipitación que se infiltra en el suelo y en las rocas. En el ciclo hidrológico normal el agua suele entrar al acuífero en las llamadas zonas de recarga, atraviesa muy lentamente el manto freático y acaba saliendo por las zonas de descarga, formando manantiales y fuentes que devuelven el agua a la superficie. (Faustino, 2006)

La recarga natural tiene el límite de la capacidad de almacenamiento del acuífero, de forma que, en un momento determinado, el agua que llega al acuífero no puede ser ya almacenada y pasa a otra área, superficie terrestre, río, lago, mar o incluso a otro acuífero. La capacidad de almacenamiento de un acuífero depende del espesor y profundidad, esto se refiere a la “geometría de los acuíferos solos, en conjunto o interconectados”. (Faustino, 2006).

La cantidad de recarga de un acuífero depende en cierto modo de la extensión del área de entrada o de captación. De hecho, los acuíferos más productivos son los lechos permeables situados en áreas extensas. También la infiltración es mayor en la zona de recarga por la precipitación local, el escurrimiento superficial de alguna área tributaria. Esto sucede principalmente en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación. (INAB, 2003).

Las áreas de mayor recarga son importantes, tanto en sus características físicas de permeabilidad, que afectan la magnitud de la recarga como en actividades que producen contaminación, que fácilmente se puede infiltrar al acuífero, afectando la calidad de sus aguas. Debido a que parte de la precipitación es de origen orográfico, las montañas y zonas altas, principalmente si su suelo y subsuelo son

permeables, debido a su mayor constancia de precipitación son, por lo general, áreas de recarga importantes. (Losilla, 1986).

3.8.1. Zonas de recarga hídrica superficial

Es toda la cuenca hidrográfica, excluyendo las zonas totalmente impermeables, esta es la que se humedece después de cada lluvia, originando escorrentía superficial, según las condiciones de drenaje (relieve del suelo y su saturación). La medición de este caudal se realiza en el cauce principal del río y se conoce como descarga superficial o caudal de escorrentía superficial. (Faustino, 2006)

Zonas de recarga hídrica subsuperficial: Es la que corresponde a las zonas de la cuenca con suelos con capacidad de retención de agua o almacenamiento superficial sobre una capa impermeable, que permite que el flujo horizontal en el subsuelo se concentre aguas abajo en el sistema de drenaje. La ocurrencia de caudales en la red hídrica, aun cuando las lluvias han finalizado, también dependen de la cantidad de precipitación y el efecto “esponja” del suelo (libera lentamente el agua en su movimiento horizontal). Este caudal se mide igual que en el caso anterior y puede ocurrir después de las lluvias y en épocas secas, cuando el agua proveniente es de bosques. En esta evaluación, cuando se determina la infiltración en el movimiento del agua en el suelo o subsuelo, el flujo horizontal corresponde a esta zona de recarga y el flujo vertical corresponde a la escorrentía subterránea. (Faustino, 2006)

3.9. Marco conceptual.

❖ **Capacidad.**

Propiedad de poder contener cierta cantidad de alguna cosa hasta un límite determinado.

❖ **Cilindro.**

Cuerpo geométrico formado por una superficie lateral curva y cerrada y dos planos paralelos que forman sus bases; en especial el cilindro circular.

❖ **Cogestión de cuencas hidrográficas.**

Es la gestión conjunta, compartida y colaborativa, mediante la cual, los actores locales en asocio y alianza con los gobiernos locales, empresa privada, organizaciones no gubernamentales e instituciones nacionales y con participación plena en la toma de decisiones, desarrollan procesos dirigidos al manejo sostenible de los recursos naturales en las cuencas hidrográficas.

Cuenca hidrográfica.

- ❖ Es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. Unidad de gestión territorial definida fundamentalmente por la red de drenaje superficial, en la cual interacciona biofísica y socioeconómicamente el ser humano los recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente, con el agua como recurso que une e integrada sistémicamente la cuenca

❖ **Cuenca hidrológica.**

Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas integrales y además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo.

❖ **Escorrentía.**

Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.

❖ **Hidrología.**

Estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la Tierra, en el suelo y en la atmósfera.

❖ **Hidrogeología.**

Parte de la geología que estudia el ciclo de las aguas superficiales y subterráneas, así como su prospección, captación y protección.

❖ **Infiltración.**

Se denomina infiltración a la acción de pasar el agua u otra sustancia líquida ya sea en el suelo, o en el cuerpo, o en cualquier sólido.

❖ **Infiltrómetro.**

Es un dispositivo que permite medir la capacidad de infiltración de los suelos. Existen diversos tipos de infiltrómetros, entre los que se pueden mencionar: Infiltrómetro de cilindro o de inundación, estos a su vez pueden ser de cilindro simple o de doble cilindro.

❖ **Manejo de cuencas hidrográficas.**

Conjunto de acciones que se realizan para proteger, conservar, utilizar, aprovechar, manejar y rehabilitar adecuadamente los recursos naturales en las cuencas hidrográficas de acuerdo a los enfoques sistémico, socioambiental, integral, multidisciplinario e interdisciplinario, y del agua como recurso integrador de la cuenca.

❖ **Precipitación.**

En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no neblina ni rocío, que son formas de condensación y no de precipitación.

❖ **Recarga hídrica.**

Se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero, agua procedente del exterior del contorno que lo limita.

❖ **Subsuelo.**

El subsuelo o sustrato es la capa de suelo debajo de la capa superficial de la tierra.

❖ **Suelo.**

Se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella.

IV. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis central

Existe potencial de la capacidad de infiltración por precipitaciones, utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.

4.2. Hipótesis específicas

- ❖ Existe una evolución significativa de la velocidad de infiltración por precipitaciones utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.

- ❖ Existe una evolución significativa del volumen acumulado de infiltración por precipitaciones utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.

V. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

5.1. Variable dependiente

- 1) Capacidad de Infiltración

5.2. Variable independiente

- 2) Precipitaciones

5.3. Operacionalización de variables

Cuadro 1. Operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Indicadores y Unidades de medida
Variable dependiente	Capacidad de Infiltración	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de infiltración (mm/hr) - Volumen acumulado (mm)
Variable Independiente	Precipitaciones	<ul style="list-style-type: none"> - mm/mes

Fuente: Elaboración propia

VI. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

6.1. Tipo de Investigación

La investigación presente es Descriptiva correlacional.

6.1.1. Nivel de la investigación

La investigación en mención tiene un carácter descriptivo, pues en cada uno de los puntos de muestreo se hace un análisis minucioso de la infiltración de suelo, y de ello se ve los resultados en cada una de ellas.

6.2. Método

6.2.1. Método de Infiltrómetro de doble anillo

Los anillos de infiltración sirven para hacer pruebas que determinan la permeabilidad en suelo, simulando el proceso de infiltración del agua en el suelo. Las pruebas se realizan enterrando dos anillos de forma concéntrica, esto quiere decir que una es de diámetro mayor que la otra. Se llenan ambas con agua y se mide la tasa de descenso de esta agua en el anillo interior. Se realiza así para que el flujo del agua en el suelo sea lo más vertical posible, dado que la infiltración en la anilla externa limita el flujo lateral del agua infiltrada por el anillo interno, disminuyendo la distorsión de los datos obtenidos. (Oscar Delgadillo, 2016).

Esta metodología se aplica en base a las siguientes actividades:

1) Anotaciones previas

Es muy importante anotar previamente algunas características del sitio de la prueba, tales como: la ubicación precisa de la parcela en la zona (croquis), características de la superficie del suelo (condición de arado, vegetación existente, grietas, humedad), si se realizaron prácticas culturales recientemente, etc.

2) Previsiones para la prueba

Son algunos aspectos a considerar para iniciar las pruebas de infiltración, para garantizar la fiabilidad de los resultados y el adecuado manejo de los equipos.

3) Lugar representativo

Una vez definida la parcela donde se realizará la prueba se tendrá el cuidado de ubicar sitios representativos de la misma. Se sugiere realizar por lo menos dos pruebas de infiltración en forma simultánea, siendo deseables tres, localizadas en la cabecera, medio y pie de la parcela. El número de pruebas simultáneas se definirá también en función a algunas limitaciones que se podría encontrar, por ejemplo, distancia al lugar de provisión de agua, personal disponible, el nivel de precisión requerido o la representatividad de la prueba, el tiempo disponible para realizarlo, así como el costo involucrado.

4) Provisión de agua

Es un aspecto muy importante para la realización de la prueba, por tanto, se deberá llevar la cantidad suficiente y así garantizar la finalización de la prueba con éxito, o se deberá identificar previamente una fuente cercana de aprovisionamiento de agua

5) Otros cuidados

Se debe realizar una limpieza adecuada del sitio de la prueba sin dañar las condiciones iniciales del suelo, es decir, solamente retirar material vegetal grueso o basuras, cuidando de no dañar excesivamente la superficie del suelo

6) Instalación de los anillos

Las anillas se hincan en forma concéntrica de ahí que se conoce también como el método de las anillas concéntricas, asegurándose que se introduzcan por lo menos 10 cm de profundidad. Esto

determinará el éxito de la prueba, pues sino se realiza un adecuado hincado el agua podría filtrar, lo cual significaría repetir la instalación e iniciar nuevamente la prueba.

7) Instalación del dispositivo de aforo

Una vez colocadas los anillos se debe considerar la instalación del dispositivo de aforo escogido, para determinar y medir la infiltración del suelo.

8) Vertido de agua

Una vez instaladas los dos anillos en forma concéntrica, alistado el cronómetro o reloj y ubicada la regla graduada (si es el caso), se procede a verter el agua en ambos compartimentos creados por la disposición de los anillos

9) Lecturas

La lectura es muy simple, pues solamente se anota la altura de agua mientras desciende, sea con el flotador o mediante la regla pegada a la pared del anillo interno, a ciertos intervalos de tiempo definidos previamente.

A. Procesamiento de datos (Trabajo de gabinete)

El procesamiento e interpretación de datos se realiza utilizando en Método Horton, para ello se hace uso del programa Excel, en la cual se estima la infiltración real y la infiltración estimada, todo ello se realiza con la Ecuación de Horton, que es la siguiente.

Fórmula 3. Ecuación de Horton.

$$I_t = I_b + (I_i - I_b) e^{-k t}$$

Fuente: Horton, 1940.

Donde:

t=tiempo pasado desde la saturación superficial del suelo.

K=constante de decaimiento [T-1]

I_t=tasa de infiltración en el tiempo t

I_i =tasa de infiltración inicial ($t=0$)

I_b =tasa mínima de infiltración (asintótica)

6.3. Procedimiento

- ❖ Con la cinta métrica o regla mida el diámetro interior del cilindro menor. (anote)
- ❖ Con el valor medido en el paso anterior y con una altura de 10 cm, previamente determinada, calcule su volumen.
- ❖ Este valor será el volumen inicial de agua que se usará en la determinación.
- ❖ Mida 5 cm desde el borde en la superficie exterior de los cilindros y trace una línea alrededor con el marcador.
- ❖ Limpie y empareje la superficie del suelo en el sitio seleccionado, cuide de no pisar encima para no compactar el sitio.
- ❖ Ubique sobre el sitio el cilindro de diámetro mayor, coloque el tablón encima y golpee a esta última para que el cilindro penetre uniformemente hasta la línea trazada alrededor del mismo.
- ❖ Ponga al centro el cilindro de diámetro menor e incrustelo de la misma manera que al anterior hasta que queden enterrados a la misma profundidad.
- ❖ Fije firmemente con cinta adhesiva la regla o cinta métrica en la cara interior del cilindro central asegurándose que el cero coincida con la superficie del suelo.
- ❖ Mida con la probeta el volumen de agua calculada en el segundo paso y colóquelo en una cubeta o recipiente.
- ❖ Agregue rápida pero cuidadosamente el volumen de agua medido en el paso anterior en el cilindro interior y al mismo tiempo agregue agua en el cilindro exterior hasta un nivel similar al del cilindro central.
- ❖ Espere a que el agua baje 1 o 2 cm su nivel, tome la hora (será la hora de inicio de la determinación) reponga el agua hasta el nivel de 10 cm.
- ❖ Tome el tiempo que tarda el agua bajar 1 cm de nivel y reponga hasta el nivel original. Repita la operación anterior hasta obtener un tiempo constante o muy parecido por 3 veces, en ese momento el suelo llega a la velocidad de infiltración básica y concluya la etapa de campo.

VII. DETERMINACIÓN DEL UNIVERSO

7.1. Tamaño del universo y la población

7.1.1. Universo

9.33 km² de la Unidad Hidrográfica Rontoccocha- Abancay

7.1.2. Población

23 puntos de muestreo en toda la Unidad Hidrográfica Rontoccocha.

7.2. Ubicación

La zona de estudio se ubica en la Unidad Hidrográfica de Rontoccocha Distrito y Provincia de Abancay Región Apurímac, tal cual lo manifiesta el siguiente:

Cuadro 2. Ubicación de áreas de recarga acuífera

N° muestra	Distrito	Unidad Hidrográfica	Coordenadas UTM (WGS-84)		
			NORTE	ESTE	ALTITUD (msnm)
1	Abancay	Rontoccocha	8485999	739334	4241
2	Abancay	Rontoccocha	8485843	739803	4268
3	Abancay	Rontoccocha	8485626	740028	4323
4	Abancay	Rontoccocha	8485447	740114	4349
5	Abancay	Rontoccocha	8485206	740443	4401
6	Abancay	Rontoccocha	8485223	740618	4412
7	Abancay	Rontoccocha	8485222	740854	4420
8	Abancay	Rontoccocha	8485169	741054	4417
9	Abancay	Rontoccocha	8485448	741265	4410
10	Abancay	Rontoccocha	8485473	740283	4413
11	Abancay	Rontoccocha	8485726	740489	4350
12	Abancay	Rontoccocha	8485871	740369	4336
13	Abancay	Rontoccocha	8485847	740214	4320
14	Abancay	Rontoccocha	8486044	740113	4288
15	Abancay	Rontoccocha	8486158	740095	4286
16	Abancay	Rontoccocha	8486277	740200	4254
17	Abancay	Rontoccocha	8486445	740406	4256
18	Abancay	Rontoccocha	8486558	740601	4263
19	Abancay	Rontoccocha	8486735	740650	4262
20	Abancay	Rontoccocha	8486826	740783	4286
21	Abancay	Rontoccocha	8486921	740885	4304
22	Abancay	Rontoccocha	8487132	740744	4297
23	Abancay	Rontoccocha	8487146	740557	4298

Fuente: Elaboración propia

7.3. Descripción de la zona de estudio Clima y área

De acuerdo a la clasificación de tipos de climas del Perú, determinados por Antonio Brack (2,000); teniendo en cuenta a la temperatura, altitud y precipitación, la laguna clasifica como clima Puna, corresponde a los sectores altitudinales de la región andina comprendidos entre los 4000 y 5000 msnm. Se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 700mm anuales y temperaturas también promedio anuales de 6°C. Los veranos son siempre lluviosos y nubosos; y los inviernos (junio-agosto), son rigurosos y secos. En los meses de abril a setiembre, ausencia de lluvias, siendo los meses más críticos de agosto a setiembre. (Gálvez, 2015)

Por otro la, unidad hidrográfica Rontoccocha presenta un área de 9.33 km²

7.4. Aspectos geológicos generales

7.4.1. Geomorfología

La cuenca y el vaso se ubica regionalmente en la Unidad geomorfológica denominada "Mesetas Altas", localmente en la geoforma denominada Valle de Rontoccocha; a una altitud de 4,215 a 4,218 ms.n.m, el vaso se caracteriza por tener forma alargada con dirección Nor Este – Sur Oeste (NE-SW) próxima hacia Este - Oeste (E-W), formado por tectonismo (distensión) cuya evidencia es la falla regional (NE-SW) que biseca la laguna Moroccocha ubicada en la zona alta de la cuenca, posteriormente la intensa actividad glacial del Pleistoceno formo el relieve actual, con colinas rocosas en ambas vertientes del valle y deposición de morrenas que se ubicaron en el flanco izquierdo de la laguna. Las geoformas detectadas se describen a continuación:

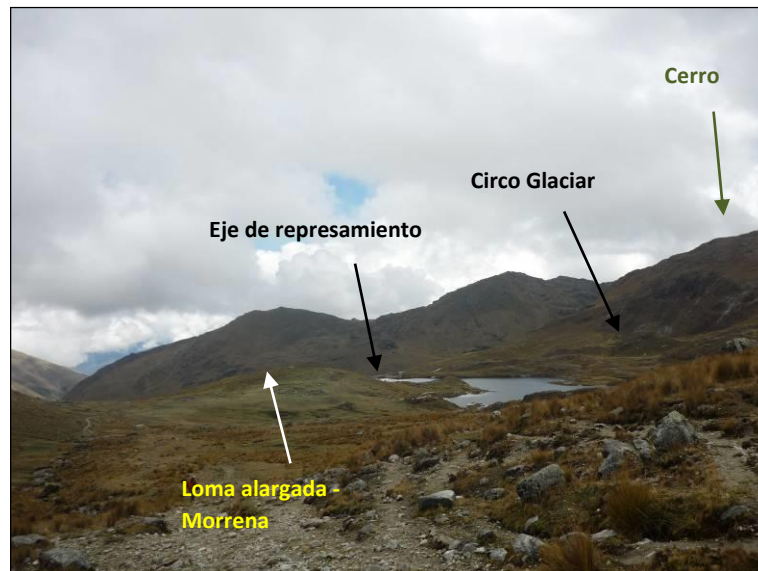
- Circo Glaciar.- Son depresiones de forma semicircular a manera de anfiteatros, ubicados en el flanco derecho y en la parte alta al fondo de la laguna, sus dimensiones son variables

y por lo general están bordeados por afloramientos rocosos y derrubios con escombros de talud.

- Lomas y Colinas.- Son promontorios algo alargados aislados o contiguos que se desarrollan al pie de los “Cerros”, con superficie ligeramente ondulada y flancos de pendiente moderada a suave, de superficie glaciaria aborregada, conformados mayormente por material morrénico y en algunos casos por afloramientos de roca que en ciertos casos están cubiertas con una capa superficial de cobertura vegetal; desarrollados sobre altitudes que varían de 4,200 ms.n.m. a 4,350 ms.n.m, áreas que por lo general son aprovechadas en ganadería.
- Abanicos Aluviales.- En el flanco izquierdo se han detectado dos abanicos aluviales pequeños debido al cambio abrupto de la pendiente del perfil longitudinal de los riachuelos que desembocan en la laguna, se caracterizan por presentar pendiente suave a moderada de dimensiones variables, presentan dirección Nor Oeste – Sur Este (NW-SE) a Norte – Sur (N-S) y se ubican entre los 4,215 ms.n.m a 4,220 ms.n.m. de altitud.
- Cerros.- La laguna esta bordeada en el flanco derecho, al fondo y una parte del flanco izquierdo por elevaciones de topografía abrupta a moderadamente abrupta, con relieves agudos a ligeramente ondulados, con altitudes que varían de 4,475 ms.n.m. a 4,634 ms.n.m; la erosión laminar en la mayor parte de esta geoforma es moderada a ligera.
- Quebradas.- En la zona alta de la cuenca de la laguna, nacen redes de drenaje y 03 quebradas que bisecan las laderas y descienden hasta desembocar en la laguna, se caracterizan por presentar perfiles longitudinales de pendiente muy fuerte, fuerte, moderada a suave, relativamente estables, son escasa a ligeramente erosivas en las zonas altas y en el caso de las quebradas estas aportan sedimentos a la laguna lo cual constituye un riesgo mínimo por sedimentación,

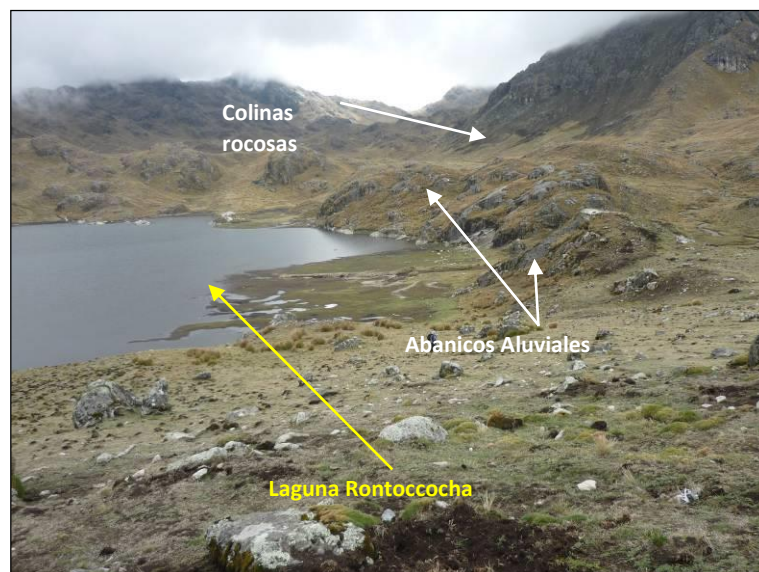
recomendando la construcción de diques transversales a lo largo de las quebradas para disminuir el riesgo.

Imagen 2. Zona del eje de represamiento y parte central de la laguna Rontoccocha.



Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

Imagen 3. Fondo de la laguna Rontoccocha, delimitando aproximadamente la falla NE – SW que corta la laguna Moroccocha en la zona alta de la cuenca.



Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

7.4.2. Estratigrafía

Localmente la cuenca y el vaso de la laguna Rontoccocha se emplazan en rocas plutónicas post-tectónicas del Mioceno que están cubiertas en ciertas zonas por depósitos pleistocénicos y depósitos recientes, a continuación se hace una breve descripción de las unidades estratigráficas detectadas en la cuenca y alrededor del vaso:

- Rocas Plutónicas.- Batolito Granodiorítico (Ts – gd).- El basamento rocoso de la cuenca de la laguna Rontoccocha y del vaso, está constituido por rocas plutónicas granodioríticas que están atravesadas por diques de microgranitos y dioritas porfíricas, la composición de la roca ígnea intrusiva en la zona varía de granodiorita a granodiorita de biotita, de coloración gris claro en corte fresco a gris parduzco cuando están intemperizadas, tiene dureza alta (de 5.5 en la escala de Mohs), presenta débil alteración de los feldespatos a arcilla y fuerte alteración de la biotita a clorita (limolita). En los afloramientos se observa que el grado de fracturamiento de la roca es moderado.
- Depósito Morrénico (Qpl-mo).- Se expone en ambos márgenes a lo largo de los tributarios principales de la laguna y en el flanco izquierdo del vaso, material que sobre yace a las rocas plutónicas, se caracterizan por presentar una superficie aborregada de pendiente fuerte, moderada a suave; litológicamente conformados por fragmentos de roca de hasta 3.00 m de diámetro en un 40% a 50% del total, envueltos en matriz grava limosa a arena limosa; de muy buena consolidación natural.
- Depósito Fluvio Aluvial (Qr-fg-al).- Este depósito se ubica a lo largo del cauce de los tributarios principales de la laguna Rontoccocha, está conformado por fragmentos de roca ígnea intrusiva, de tamaño variable, contorno subredondeado a redondeado, envueltos en matriz grava arenosa con escaso

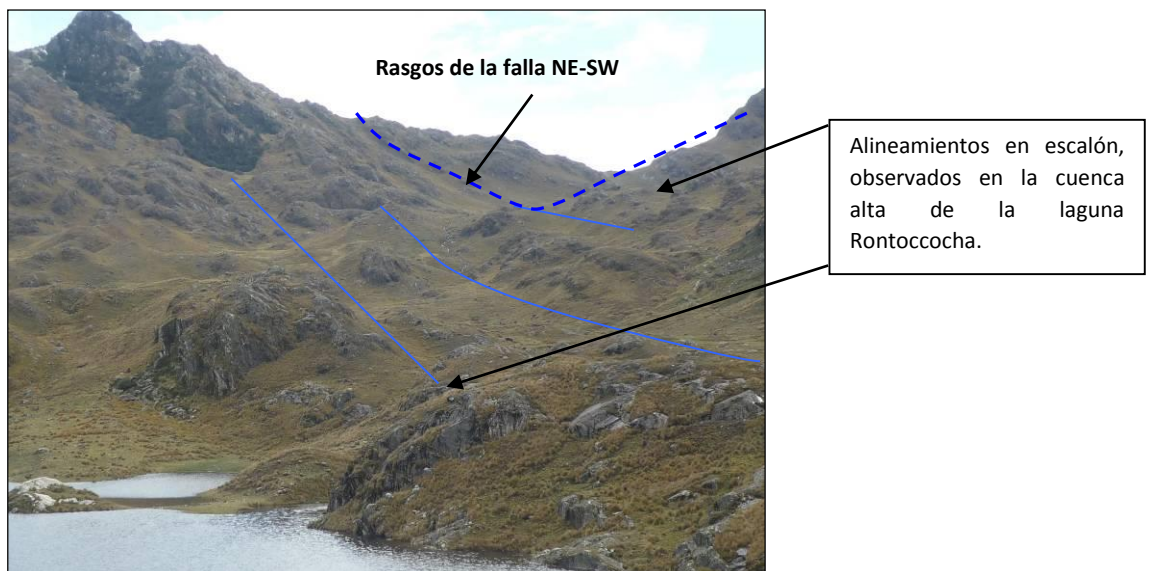
cementante limoso, de moderada a buena consolidación natural y carácter permeable a moderadamente permeable.

- Deposito Lacustre (Qr-la).- Se ubica en ambos flancos de la laguna Moroccocha, en el flanco derecho y en ciertos tramos alrededor del vaso de la laguna Rontoccocha, debajo de las lagunas Alfallaccocha y Quequeraccocha, como restos de antiguas lagunas que se sedimentaron; está constituido por capas de limos inorgánicos, arcillas inorgánicas y limos arcillosos que alternan con capas de turba y escasamente arenas finas.
- Deposito Coluvio Aluvial (Qr-col-al).- Este depósito se ubica al NE del eje de represamiento, está conformado por clastos de hasta 50 cm de diámetro, de contorno subanguloso a subredondeado en un 20 % a 30 % del total, en matriz| gravo limosa a areno limo arcillosa, en general de regular a buena consolidación natural.
- Depósito de Cono Aluvial (Qr-c-al).- Los tributarios principales que ingresan a la laguna Rontoccocha han formado dos abanicos aluviales, por el cambio repentino de pendiente; litológicamente constituidos por fragmentos de roca de hasta 1.00 m de diámetro en un 30 % del total, bolos y cantos de contorno subredondeado en matriz gravo limosa a areno limosa de espesor variable y con cierta estratificación.
- Deposito Eluvio Coluvial (Qr-el-col).- Estos depósitos incluyen a los conos de escombros que se presentan en la cuenca y en la vertiente derecha de la laguna como producto de la erosión glacial y alteración in-situ de la roca madre debido al fracturamiento y a los procesos de meteorización, interviniendo además la gravedad y el agua que hacen que el material se deposite en zonas de menor pendiente, el espesor es variable; conformados litológicamente por fragmentos de roca ígnea intrusiva de diversos tamaños, de contorno anguloso a subanguloso, envueltos en matriz Gravo limosa a arena limo arcillosa de escasa a regular consolidación natural.

7.4.3. Rasgos estructurales

En la zona alta de la cuenca de la laguna Rontoccocha se han detectado rasgos de la falla regional que afecta al Plutón granodiorítico post tectónico y que corta la cuenca con dirección NE – SW, así mismo en la zona baja de la laguna Moroccocha y la vertiente de la laguna Rontoccocha se observan tres alineamientos con la misma dirección, estructuras que probablemente correspondan a microfallas normales como consecuencia de la tectónica de distensión que genero la formación del vaso de la laguna.

Imagen 4. Alineamientos en escalón de la laguna Rontoccocha



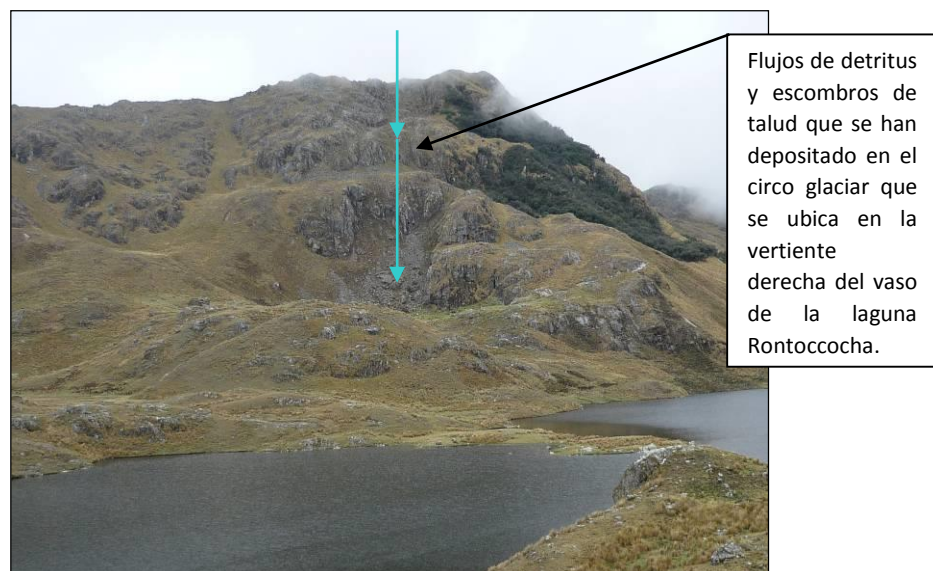
Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

7.4.4. Geodinámica

Por la ubicación Geomorfológica de la cuenca de la laguna Rontoccocha, la erosión laminar o por escurrimiento superficial es ligera a débil, en consecuencia el aporte de sedimentos arrastrados por las redes de drenaje al vaso es mínimo; así mismo la actividad geodinámica como parte del proceso de evolución de las laderas y quebradas alrededor del vaso no representan riesgo alguno para el represamiento de la laguna. A continuación se hace una breve descripción de los fenómenos geodinámicos detectados:

- Zonas Propensas a Desprendimientos de Bloques de Roca.- Debido a los sistemas de fracturas que presentan las rocas ígneas granodioríticas y la pendiente casi vertical que ofrecen algunos afloramientos de roca en la cuenca y en las vertientes del vaso, al intensificarse las precipitaciones pluviales, cambios de temperatura y la meteorización, se desprenden algunos bloques de roca, fenómeno que no representa riesgo alguno para el represamiento del vaso, al estar emplazados en zonas altas, lejos del área de influencia del embalse.
- Flujo de Detritos.- En la cuenca y en las vertientes del vaso existen áreas con flujos de detritos que por lo general se ubican al pie de afloramientos rocosos de pendiente casi vertical como producto de la erosión glaciaria, el fracturamiento y la meteorización del basamento rocoso, por lo general están acompañados de escombros de talud que al estar emplazados en áreas por encima del futuro represamiento no representa riesgo alguno.

Imagen 5. Flujos de detritos y escombros en la vertiente derecha del vaso de la laguna Rontoccocha



Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

7.4.5. Secuencia litológica en el eje de presa

En el flanco izquierdo del eje de represamiento, en depósito morrénico se han realizado 02 pozos de investigación R-1 y R-2 con profundidades de 1.35 y 2.80 m respectivamente, pozos de los cuales se han obtenido 02 muestras alteradas y 01 muestra inalterada para determinar las características físicas mecánicas del material morrénico. Los pozos antes indicados presentan el perfil estratigráfico siguiente:

- A partir de la superficie hasta los 0.30 y 0.50 m de profundidad se presenta el estrato -a-, o cobertura edáfica de color marrón oscuro, con contenido de materia orgánica y moderada pedregosidad superficial.
- De los 0.30 y 0.50 m hasta la profundidad de 1.35 y 2.80 m se tiene el estrato -1- que se clasifica en ambos pozos como Arena limosa (SM), diferenciándose únicamente por la granulometría, en general presentan coloración pardo grisáceo claro, de baja a ligera plasticidad (IP = 2.73 % a 3.17%), baja compresibilidad (Cc = 0.11), contenidos de humedad de 8.37% a 9.92 %, con clastos de hasta 1.00 m de diámetro de contorno subredondeado en un 40 % a 50 % del total, nivel de agua a los 0.30 y 0.50 m de profundidad, en general muy compacto.

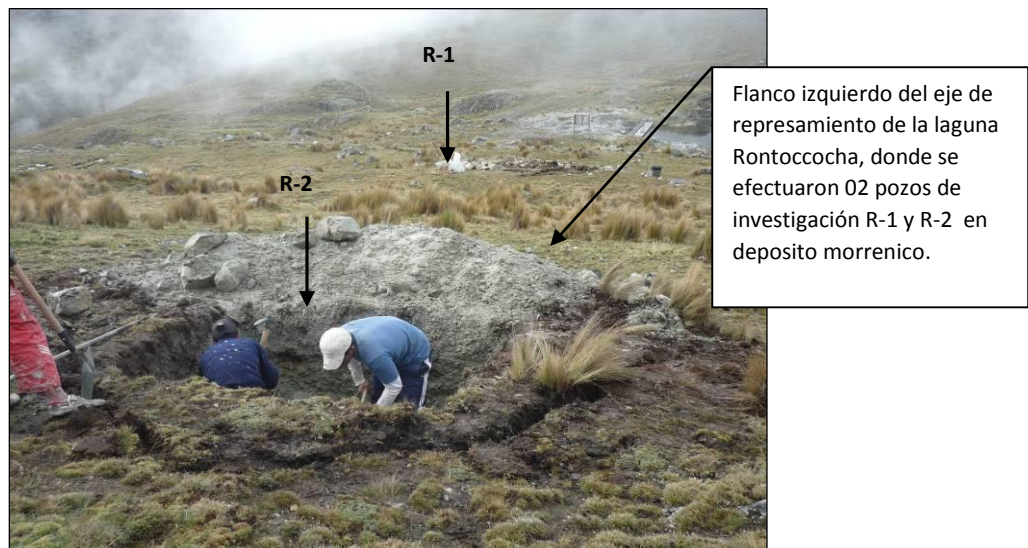
En el cuadro siguiente se resumen las características físicas mecánicas del estrato -1- en los 02 pozos (R-1 y R-2):

Cuadro 3. Características físicas mecánicas del estrato 1

Pozo Muestra	Análisis granulométrico			Límites de consistencia			Clasificación SUCS	Contenido de Humedad
	Grava	Arena	Limo y/o arcilla	LL	LP	IP		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)
R-1 M-1	22.30	56.90	20.80	21.80	19.07	2.73	SM	9.92
R-2 M-1	38.50	47.20	14.30	22.48	19.31	3.17	SM	8.37

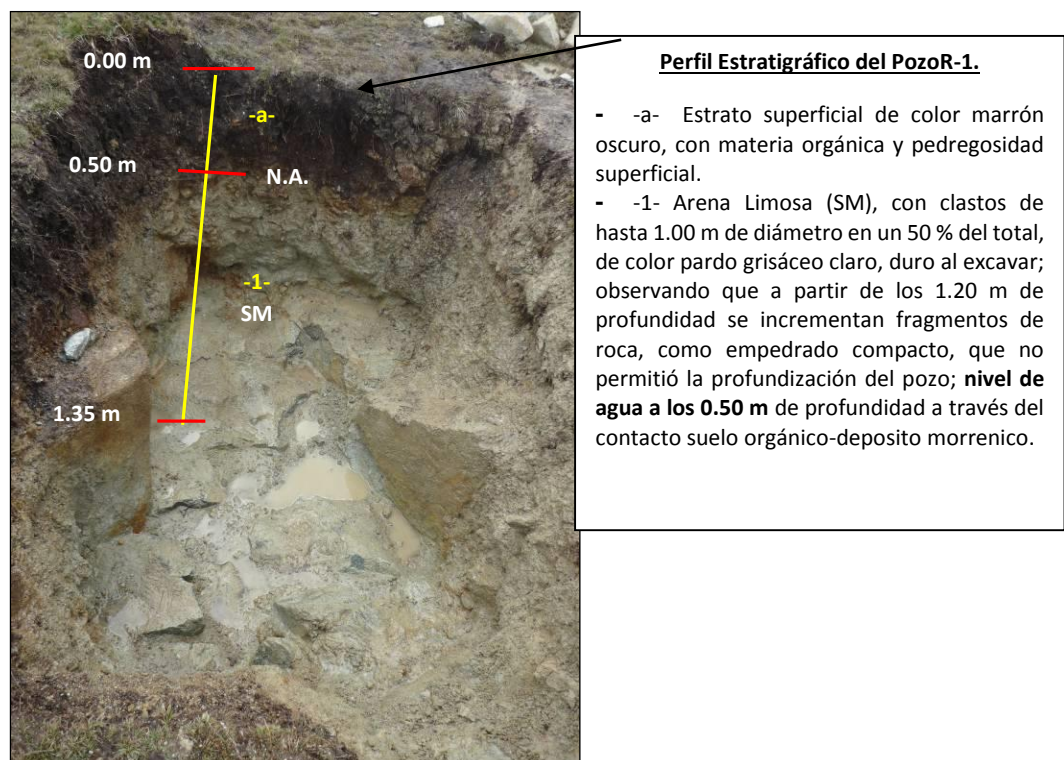
Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

Imagen 6. Flanco izquierdo del eje de represamiento de la laguna Rontoccocha



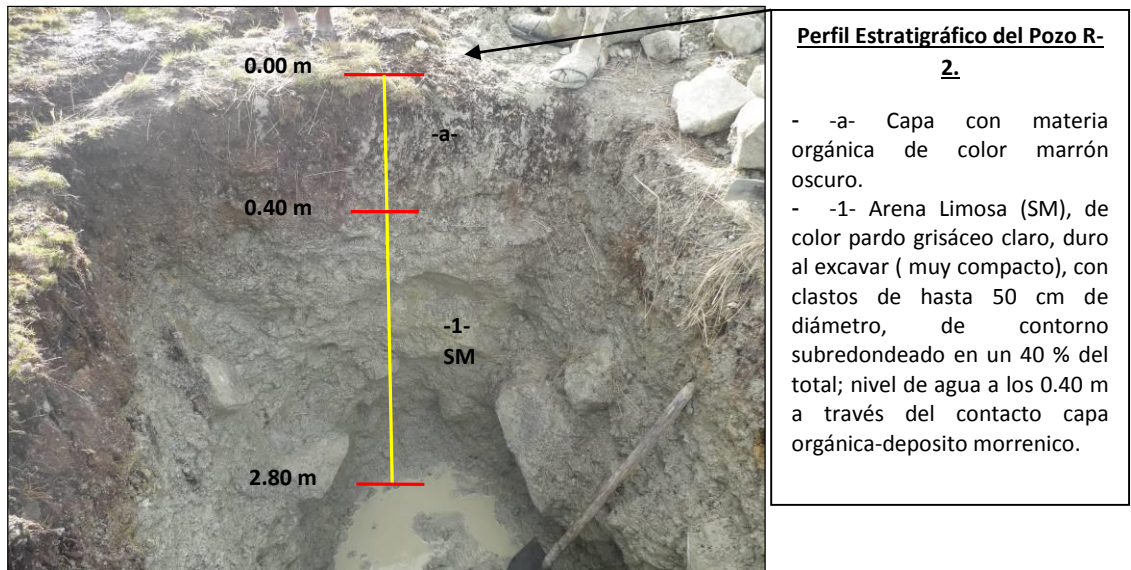
Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

Imagen 7. Perfil estratigráfico del pozo R-1



Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

Imagen 8. Perfil estratigráfico del pozo R-2



Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

En el flanco derecho del eje de represamiento, en depósito eluvio coluvial se efectuaron 02 pozos de investigación R-3 y R-4 con profundidades de 1.60 m y 1.40 m respectivamente, pozos que presentan el perfil estratigráfico siguiente:

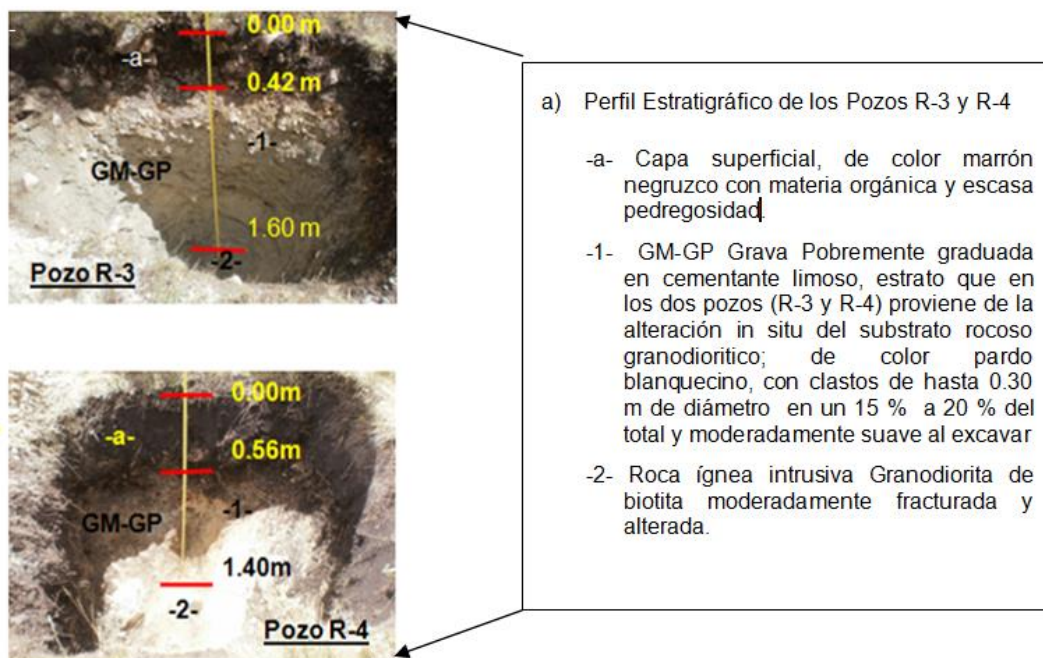
- A partir de la superficie hasta la profundidad de 0.42 m en R-3 y 0.56 m en R-4 se presenta el estrato –a- o capa con materia orgánica de color marrón negruzco, con escasa pedregosidad.
- De los 0.42 m y 0.56 m hasta la profundidad de 1.60 m y 1.40 m se tiene el estrato -1- que se clasifica en ambos pozos como Grava Pobrementemente graduada en cementante limoso (GM-GP), de color pardo blanquecino, de escasa plasticidad ($IP = 2.12 \%$), baja compresibilidad ($Cc = 0.09$), contenido de humedad 7.87% , con clastos de hasta 0.30 m de diámetro en un 10% al 20%, regular consolidación natural y moderadamente suave al excavar.

En el cuadro siguiente se resumen las características físicas mecánicas del estrato -1- en los pozos R-3 y R-4:

Cuadro 4. Características físico mecánicas del estrato -1

Pozo Muestra	Análisis granulométrico			Límites de consistencia			Clasificación SUCS	Contenido de Humedad
	Grava	Arena	Limo y/o arcilla	LL	LP	IP		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)
R-3 y R-4 M-1	44.70	41.90	13.40	20.44	18.32	2.12	GM-GP	7.87

Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

Imagen 9. Perfil estratigráfico de los pozos R-3 y R-4

Fuente: Proyecto gestión integral del Proyecto Mariño

VIII. FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

8.1. Fuentes primarias

- ❖ Información obtenida de campo (In situ).
- ❖ Libros
- ❖ Artículos científicos
- ❖ Patentes
- ❖ Investigación de organizaciones, instituciones públicas y privadas
- ❖ Normas técnicas

8.2. Fuentes secundarias

- ❖ Directorios
- ❖ Tesis referidas a la investigación
- ❖ Censos
- ❖ Entrevistas
- ❖ Técnicas
- ❖ Observación

8.3. Monitoreo

- ❖ Extracción de información In situ (en campo)
- ❖ Análisis documental (gabinete)
- ❖ Instrumentos de Investigación

Cuadro 3. Materiales de investigación

Materiales	Descripción	Unidad
Infiltrómetro de doble anillo	Para medición de infiltración	01
Regla graduada	Para medición de infiltración	01
Tabla de campo	Para toma de datos de infiltración	1
GPS	Para georreferenciación	1
Cámara fotográfica	Para registro fotográfico	1
Cilindro	Para determinar densidad aparente	1
Formato	Para registro de infiltración de suelos	23

Fuente: Elaboración propia

IX. PROCESAMIENTO, ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

9.1. Descripción, análisis, e interpretación de Resultados

De acuerdo al trabajo realizado In situ, en la Unidad Hidrográfica de Rontoccocha, se tomaron 23 muestras representativas, las cuales fueron analizadas detalladamente, utilizando para ello el Modelo Horton, la cual es una de las primeras ecuaciones de infiltración fue desarrollada en 1940 quien a partir de experimentos de campo, estableció, para el caso de un suelo sometido a una precipitación con intensidad siempre superior a la capacidad de infiltración, una relación empírica para representar el declive de la infiltración con el tiempo puede ser presentada de la siguiente forma: (Horton, 1940).

Fórmula 4. Ecuación de Horton.

$$I_t = I_b + (I_i - I_b) e^{-k t}$$

Dónde: t=tiempo pasado desde la saturación superficial del suelo.

K=constante de decaimiento [T-1]

I_t=tasa de infiltración en el tiempo t

I_i=tasa de infiltración inicial (t=0)

I_b=tasa mínima de infiltración (asintótica)

El ajuste de la ecuación de Horton a datos medidos en campo permite la determinación de los parámetros I_i, I_b y k. El parámetro I_b es fácilmente identificable en los experimentos, porque representa la conductividad hidráulica saturada aparente del suelo (aparente porque incluye la resistencia proporcionada por el aire comprimido en los poros del suelo natural). El parámetro I_i también es obtenido de los experimentos porque es una tasa de infiltración inicial, esto es una tasa de infiltración en el momento en que es alcanzada la saturación superficial y comienza a haber escurrimiento (exceso) superficial, lo que equivale a decir que I_i es igual a la intensidad de la precipitación que saturó la superficie. (Horton, 1940)

9.2. Descripción, análisis de indicadores de muestras

En todo el proceso de investigación se consideraron 23 muestras para la evaluación respectiva del proceso de infiltración en la zona de recarga hídrica de Rontoccocha, que pertenece a la Unidad Hidrográfica Mariño.

El volumen total, del acumulado de las 23 muestras y en total a 42.361 mm en promedio de un área de 9.33 km² equivale a 3687478452.90 litros o 3687478.45 m³. A continuación se detalla el procesamiento de datos por cada punto de muestreo.

Tabla 1. Resultados de la muestra 1

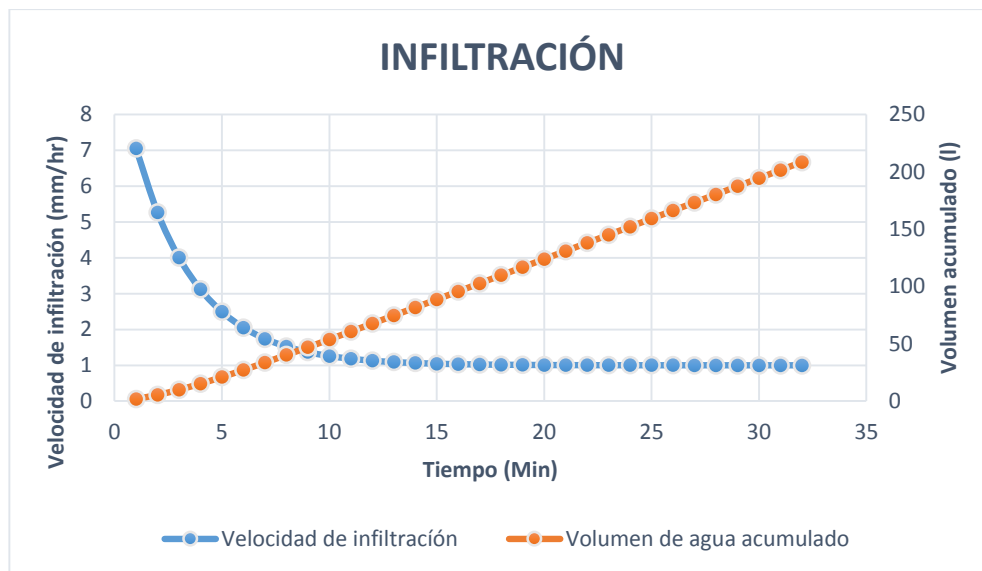
Lectura	Nivel del agua (cm)		Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	2	11.6	9.6	1.947	1.947
2	11.6	17	5.4	5.404	5.404
3	17	20.7	3.7	9.925	9.925
4	20.7	23.3	2.6	15.196	15.196
5	23.3	25.4	2.1	20.996	20.996
6	25.4	27.1	1.7	27.167	27.167
7	27.1	28.8	1.7	33.602	33.602
8	0	4.4	4.4	40.221	40.221
9	4.4	8.4	4	46.970	46.970
10	8.4	11.5	3.1	53.811	53.811
11	11.5	14.1	2.6	60.717	60.717
12	2	4.6	2.6	67.669	67.669
13	4.6	7.7	3.1	74.652	74.652
14	7.7	10.4	2.7	81.659	81.659
15	10.4	12.9	2.5	88.681	88.681
16	12.9	15.1	2.2	95.714	95.714
17	15.1	17	1.9	102.756	102.756
18	0	2.6	2.6	109.803	109.803
19	2.6	5.4	2.8	116.854	116.854
20	5.4	7.7	2.3	123.907	123.907
21	7.7	10	2.3	130.963	130.963
22	10	12.1	2.1	138.020	138.020
23	12.1	14	1.9	145.078	145.078
24	14	16	2	152.137	152.137
25	16	17.5	1.5	159.196	159.196
26	17.5	19	1.5	166.255	166.255
27	19	20.1	1.1	173.315	173.315
28	20.1	21.9	1.8	180.375	180.375

29	21.9	22.8	0.9	187.435	187.435
30	22.8	24	1.2	194.495	194.495
31	24	25.3	1.3	201.555	201.555
32	25.3	26.3	1	208.616	208.616

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 1, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 1, para lo cual se consideró 32 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 1 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 9.6 cm.

Gráfico 1. Resultados de la muestra 1



Fuente: Elaboración propia

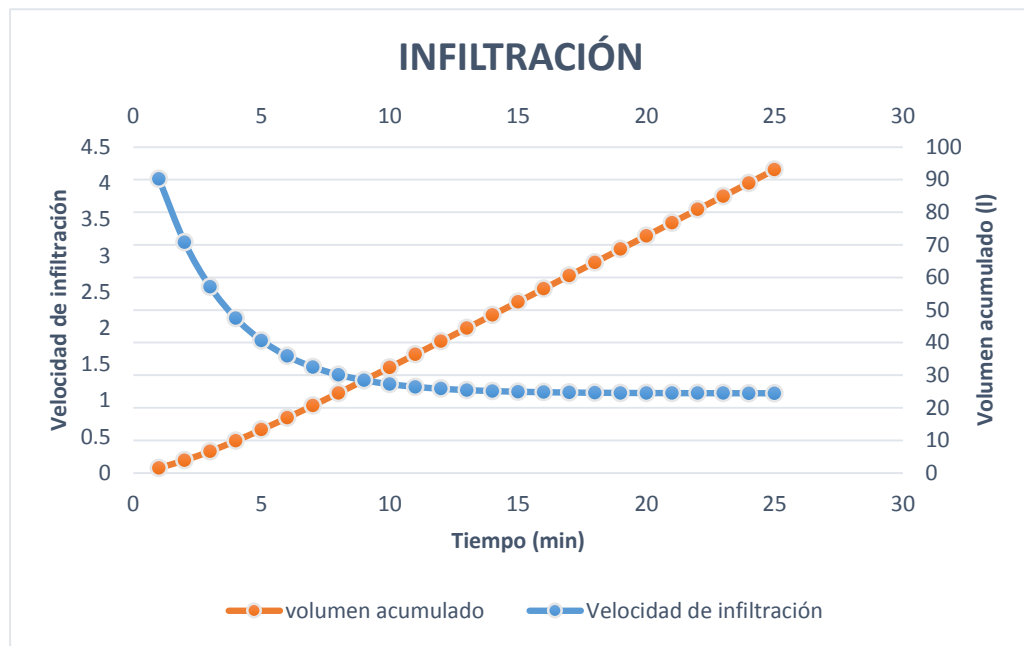
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.000 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 7.060 mm/hr,
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.9470 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 208.61 l.

Tabla 2. Resultados de la muestra 2

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	1.5	6.8	5.3	4.060
2	6.8	9.9	3.1	3.186
3	9.9	12.1	2.2	2.570
4	12.1	14	1.9	2.136
5	0	1.9	1.9	1.830
6	1.9	4.1	2.2	1.614
7	4.1	6	1.9	1.462
8	6	7.5	1.5	1.355
9	7.5	9	1.5	1.280
10	9	10.4	1.4	1.227
11	10.4	11.7	1.3	1.189
12	11.7	12.9	1.2	1.163
13	0	1.2	1.2	1.144
14	1.2	2.7	1.5	1.131
15	2.7	4.1	1.4	1.122
16	4.1	5.5	1.4	1.116
17	5.5	7	1.5	1.111
18	7	8	1	1.108
19	8	9.2	1.2	1.105
20	9.2	10	0.8	1.104
21	10	10.9	0.9	1.103
22	10.9	12	1.1	1.102
23	0	0.8	0.8	1.101
24	0.8	2.1	1.3	1.101
25	2.1	3.2	1.1	1.101

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 2, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 2, para lo cual se consideró 25 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 1.1 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 5.3 cm.

Grafico 2. Resultados de la muestra 2

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.101 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 4.060 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.56 l, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 93.039 l.

Tabla 3. Resultados de la muestra 3

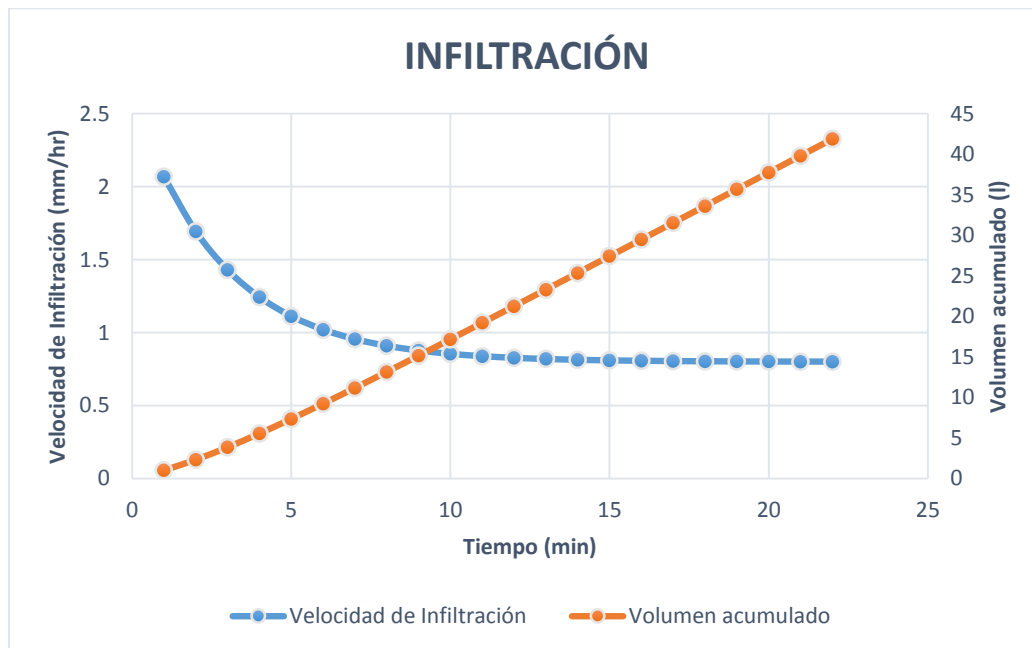
Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	2	4.6	2.6	0.999
2	4.6	6.2	1.6	2.314
3	6.2	7.5	1.3	3.851
4	7.5	8.7	1.2	5.545
5	8.7	9.7	1	7.350
6	9.7	10.6	0.9	9.232
7	0	0.9	0.9	11.170
8	0.9	2	1.1	13.146
9	2	3.2	1.2	15.149
10	3.2	4.2	1	17.172
11	4.2	5.2	1	19.208
12	5.2	6.2	1	21.254
13	6.2	7.2	1	23.306
14	7.2	8.1	0.9	25.363
15	8.1	9.1	1	27.424
16	9.1	9.9	0.8	29.487
17	0	0.7	0.7	31.551
18	0.7	1.5	0.8	33.617

19	1.5	2.5	1	0.802	35.683
20	2.5	3.4	0.9	0.802	37.750
21	3.4	4.3	0.9	0.801	39.818
22	4.3	5.1	0.8	0.801	41.886

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 3, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 03, para lo cual se consideró 22 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.8 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 2.6 cm.

Grafico 3. Resultados de la muestra 3



Fuente: Elaboración propia

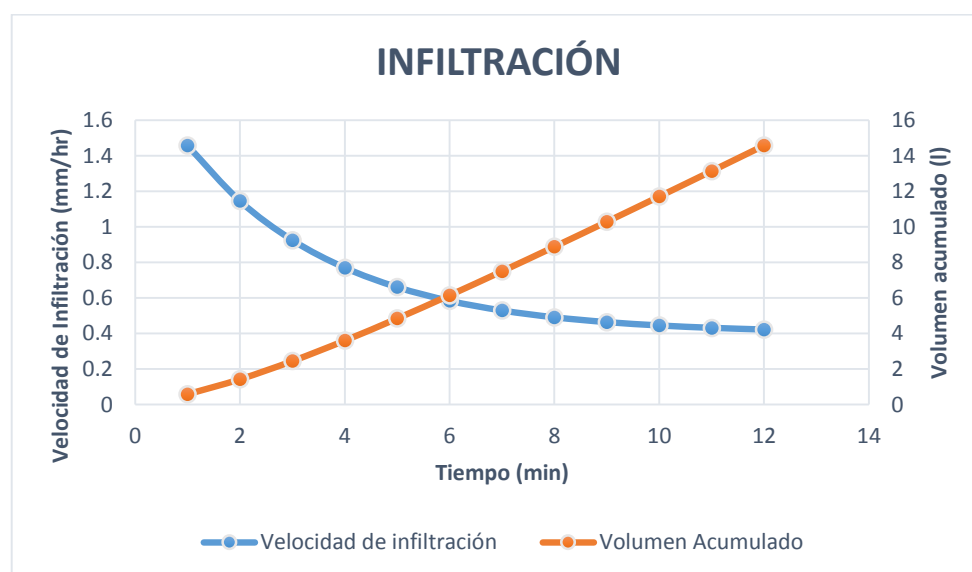
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.81 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 2.068 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.998 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 41.886 l.

Tabla 4. Resultados de la muestra 4

Lectura	Nivel del agua (cm)		Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0.5	2.4	1.9	1.457	0.584
2	2.4	3.4	1	1.145	1.426
3	3.4	4.2	0.8	0.925	2.450
4	4.2	4.9	0.7	0.770	3.601
5	4.9	5.6	0.7	0.661	4.843
6	5.6	6.2	0.6	0.584	6.148
7	6.2	6.8	0.6	0.529	7.498
8	6.8	7.7	0.9	0.491	8.880
9	7.7	8.2	0.5	0.464	10.284
10	8.2	8.5	0.3	0.445	11.704
11	8.5	9	0.5	0.432	13.134
12	9	9.4	0.4	0.422	14.573

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 4, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 4, para lo cual se consideró 12 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.4 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 1.9 cm.

Grafico 4. Resultados de la muestra 4

Fuente: Elaboración propia

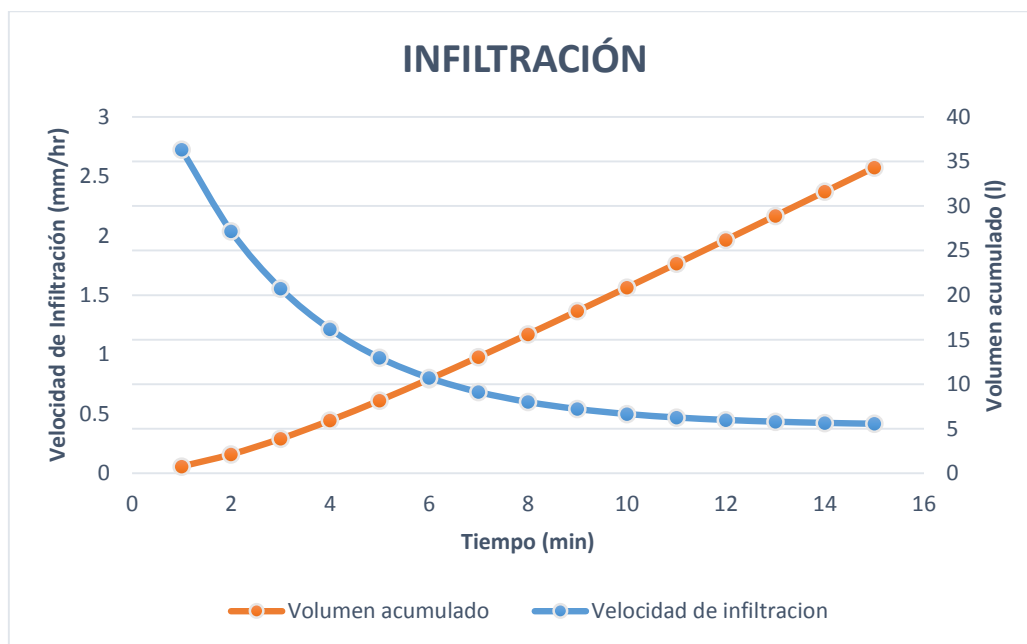
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.422 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.457 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.584 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 14.573 l.

Tabla 5. Resultados de la muestra 5

Lectura	Nivel del agua (cm)		Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	3.7	3.7	2.725	0.778
2	3.7	4.8	1.1	2.039	2.131
3	4.8	5.7	0.9	1.555	3.889
4	5.7	6.6	0.9	1.214	5.933
5	6.6	7.4	0.8	0.973	8.179
6	7.4	8	0.6	0.804	10.566
7	8	8.6	0.6	0.685	13.053
8	8.6	9.3	0.7	0.601	15.610
9	9.3	9.9	0.6	0.541	18.217
10	9.9	10.4	0.5	0.500	20.859
11	10.4	10.8	0.4	0.470	23.526
12	10.8	11.2	0.4	0.449	26.210
13	11.2	11.7	0.5	0.435	28.906
14	11.7	12.2	0.5	0.425	31.611
15	12.2	12.6	0.4	0.417	34.322

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 5, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 5, para lo cual se consideró 15 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.4 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 3.7 cm.

Grafico 5. Resultados de la muestra 5

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.417 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 2.725 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.778 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 34.322 l.

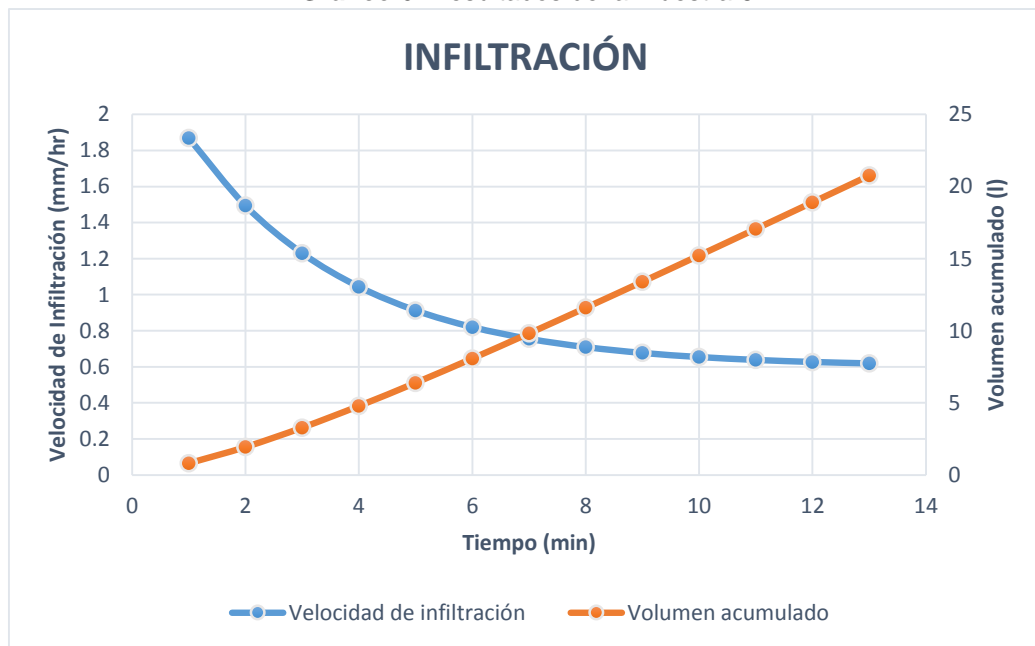
Tabla 6. Resultados de la muestra 6

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)	
1	1.9	4.3	2.4	1.868	0.814
2	4.3	5.5	1.2	1.494	1.940
3	5.5	6.4	0.9	1.230	3.285
4	6.4	7.2	0.8	1.044	4.784
5	7.2	7.9	0.7	0.913	6.393
6	7.9	8.3	0.4	0.820	8.078
7	8.3	8.8	0.5	0.755	9.817
8	8.8	9.5	0.7	0.709	11.595
9	0	0.7	0.7	0.677	13.399
10	0.7	1.3	0.6	0.654	15.222
11	1.3	1.9	0.6	0.638	17.059
12	1.9	2.4	0.5	0.627	18.905
13	2.4	3	0.6	0.619	20.758

Fuente: Elaboración propia (2017)

- ❖ En la tabla 6, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 6, para lo cual se consideró 13 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.6 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 2.4 cm.

Grafico 6. Resultados de la muestra 6



Fuente: Elaboración propia (2017)

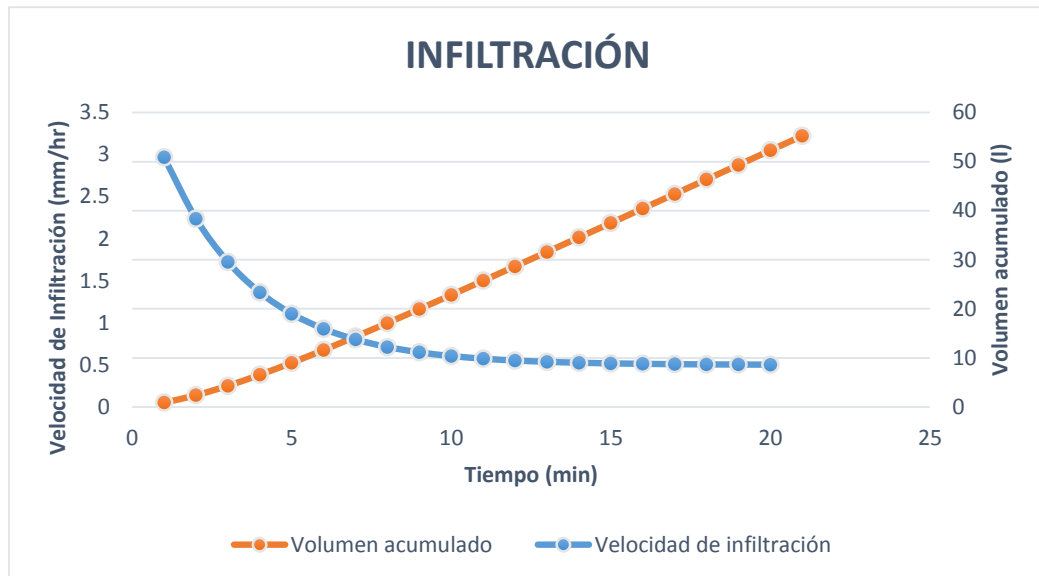
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.619mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.869 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.814 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 20.75 l.

Tabla 7. Resultados de la muestra 7

Lectura	Nivel del agua (cm)		Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	4	4	2.966	0.887
2	4	5.2	1.2	2.238	2.389
3	5.2	6.1	0.9	1.725	4.322
4	6.1	6.8	0.7	1.363	6.561
5	6.8	7.5	0.7	1.108	9.015
6	7.5	8.2	0.7	0.929	11.620
7	8.2	8.6	0.4	0.802	14.332
8	8.6	9.1	0.5	0.713	17.119
9	9.1	9.5	0.4	0.650	19.959
10	9.5	9.9	0.4	0.606	22.836
11	0	0.6	0.6	0.574	25.740
12	0.6	1.1	0.5	0.552	28.662
13	1.1	1.7	0.6	0.537	31.597
14	1.7	2.2	0.5	0.526	34.542
15	2.2	2.7	0.5	0.518	37.493
16	2.7	3.2	0.5	0.513	40.448
17	3.2	3.7	0.5	0.509	43.407
18	3.7	4.2	0.5	0.506	46.368
19	4.2	4.7	0.5	0.505	49.330
20	4.7	5.2	0.5	0.503	52.294
21	5.2	5.7	0.5	0.502	55.259

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 7, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 7, para lo cual se consideró 21 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.5 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 4 cm.

Gráfico 7. Resultados de la muestra 7

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.502 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 2.966 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.887 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 55.259 l.

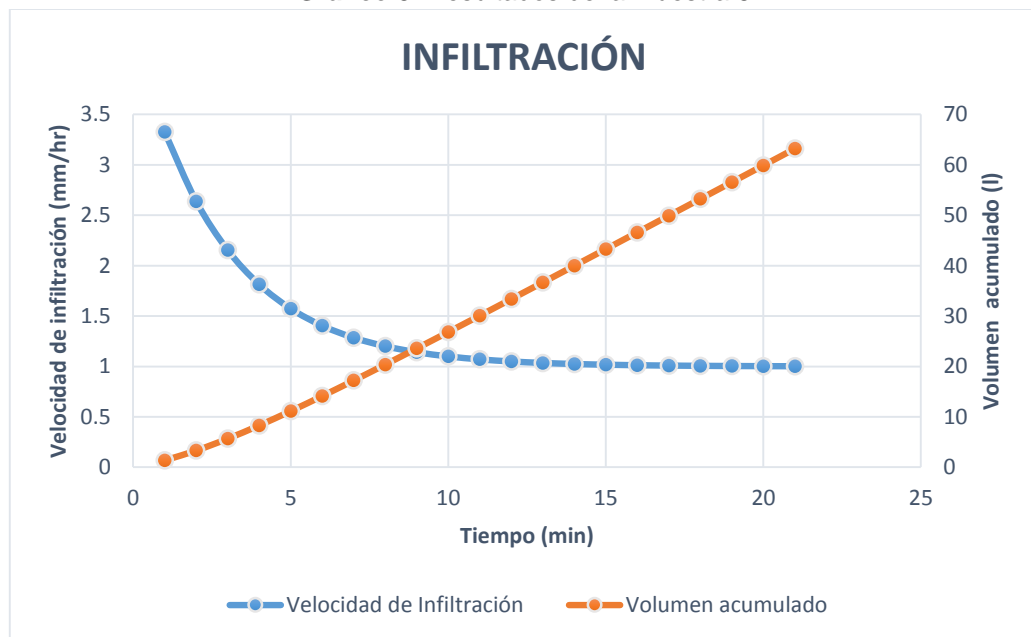
Tabla 8. Resultados de la muestra 8

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	4.3	4.3	3.325
2	4.3	6	1.7	3.309
3	6	7.3	1.3	5.661
4	7.3	8.6	1.3	8.301
5	8.6	9.9	1.3	11.143
6	9.9	11.1	1.2	14.128
7	11.1	11.9	0.8	17.213
8	0	1	1	20.369
9	1	2.4	1.4	23.576
10	2.4	3.3	0.9	26.817
11	3.3	4.5	1.2	30.083
12	4.5	5.6	1.1	33.367
13	5.6	6.9	1.3	36.663
14	6.9	8.2	1.3	39.968
15	8.2	9.3	1.1	43.279
16	9.3	10.4	1.1	46.594
17	10.4	11.5	1.1	49.912
18	11.5	12.6	1.1	53.233
19	12.6	13.7	1.1	56.554
20	13.7	14.8	1.1	59.877
21	14.8	15.8	1	63.201

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 8, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 8, para lo cual se consideró 21 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 1 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 4.3 cm.

Grafico 8. Resultados de la muestra 8



Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.002 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 3.325 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.365 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 63.201 l.

Tabla 9. Resultados de la muestra 9

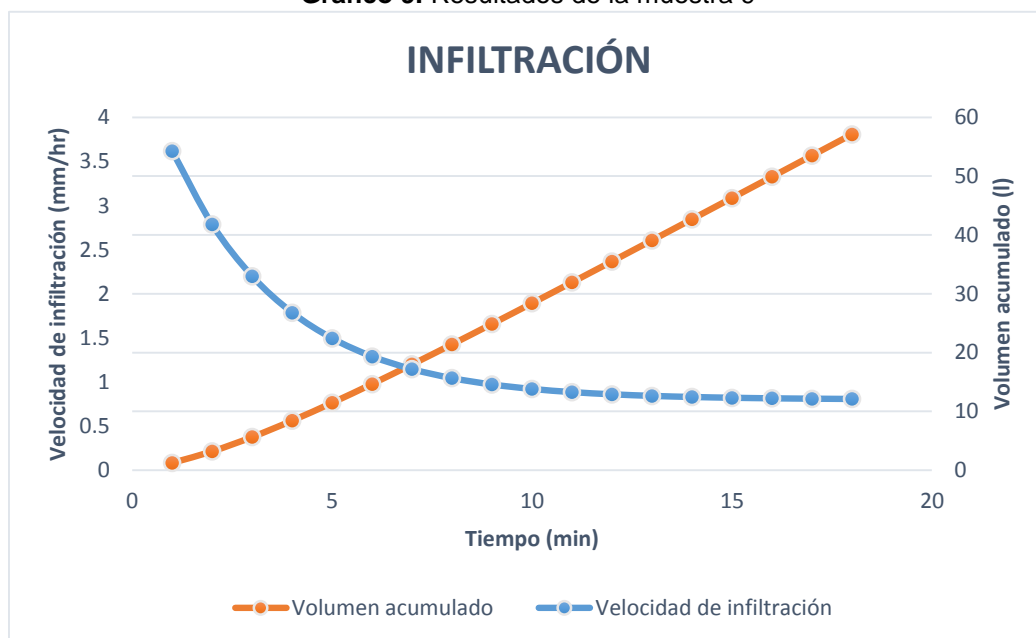
Lectura	Nivel del agua (cm)		Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	1	5.8	4.8	3.619	1.247
2	5.8	8	2.2	2.786	3.194
3	8	10.2	2.2	2.200	5.635
4	10.2	12	1.8	1.786	8.423
5	0	1.6	1.6	1.495	11.457
6	1.6	3.4	1.8	1.290	14.664

7	3.4	5.1	1.7	1.145	17.992
8	5.1	6.2	1.1	1.043	21.406
9	6.2	7.2	1	0.971	24.880
10	7.2	8.2	1	0.921	28.397
11	8.2	9.7	1.5	0.885	31.945
12	9.7	10.6	0.9	0.860	35.513
13	10.6	11.3	0.7	0.842	39.096
14	11.3	11.9	0.6	0.830	42.690
15	11.9	12.5	0.6	0.821	46.291
16	12.5	13.1	0.6	0.815	49.897
17	13.1	14	0.9	0.810	53.507
18	14	14.8	0.8	0.807	57.120

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 9, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 9, para lo cual se consideró 18 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.8 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 4.8 cm.

Grafico 9. Resultados de la muestra 9



Fuente: Elaboración propia

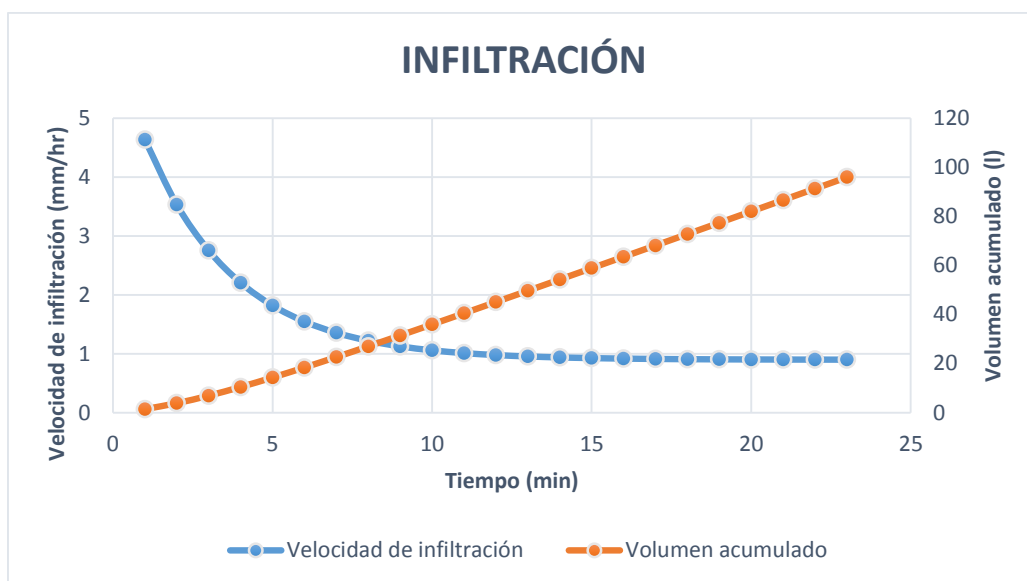
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.807 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 3.619 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.245 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 57.119 l.

Tabla 10. Resultados de la muestra 10

Lectura	Nivel del agua	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	2	8.2	6.2	1.485
2	8.2	9.5	1.3	3.900
3	9.5	10.7	1.2	6.971
4	10.7	11.9	1.2	10.503
5	11.9	13.2	1.3	14.362
6	13.2	14.4	1.2	18.449
7	14.4	15.5	1.1	22.698
8	0	1.1	1.1	27.061
9	1.1	2.6	1.5	31.505
10	2.6	4.4	1.8	36.004
11	4.4	5.5	1.1	40.544
12	5.5	6.6	1.1	45.112
13	6.6	7.6	1	49.700
14	7.6	8.5	0.9	54.301
15	8.5	9	0.5	58.913
16	9	9.5	0.5	63.531
17	0	1	1	68.154
18	1	1.9	0.9	72.781
19	1.9	2.7	0.8	77.410
20	2.6	2.7	0.1	82.041
21	3.6	4.3	0.7	86.672
22	4.3	5.2	0.9	91.305
23	5.2	6.1	0.9	95.939

Fuente: Elaboración propia (2017)

- ❖ En la tabla 10, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 10, para lo cual se consideró 23 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.9 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 6.2 cm.

Grafico 10. Resultados de la muestra 10

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.902 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 4.635 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.485 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 95.939 l.

Tabla 11. Resultados de la muestra 11

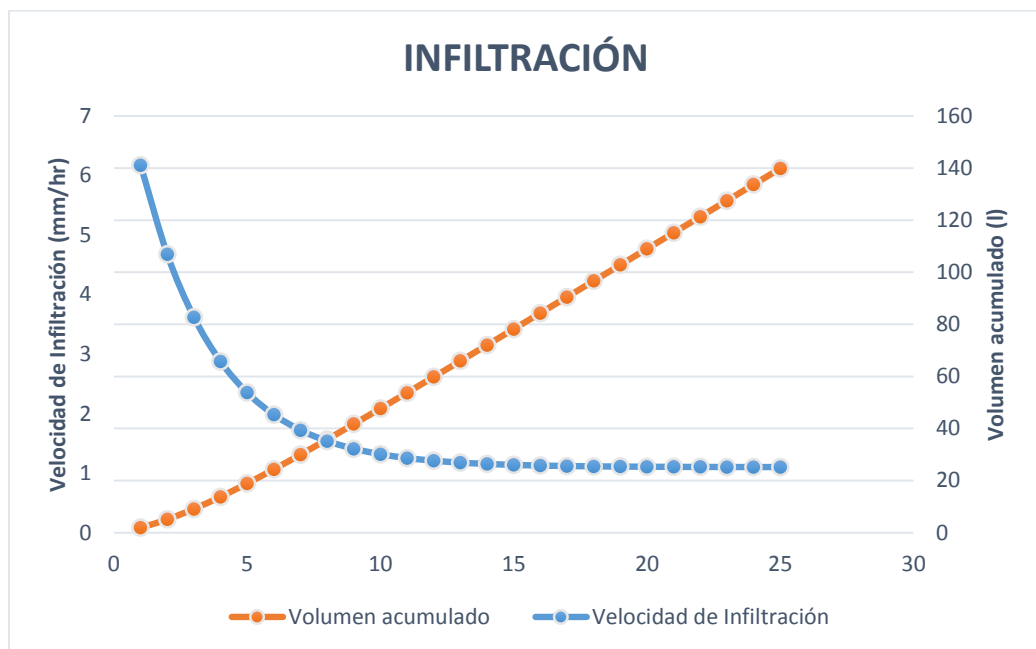
Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	1	9.3	8.3	1.894
2	9.3	11.9	2.6	5.051
3	11.9	13.7	1.8	9.100
4	13.7	15.2	1.5	13.776
5	15.2	16.7	1.5	18.894
6	0	2.3	2.3	24.324
7	2.3	4.8	2.5	29.974
8	4.8	6.1	1.3	35.778
9	6.1	7.4	1.3	41.692
10	7.4	8.7	1.3	47.682
11	8.7	9.8	1.1	53.727
12	9.8	11	1.2	59.809
13	11	12	1	65.919
14	12	12.9	0.9	72.047

15	0	1.6	1.6	1.138	78.189
16	1.6	3.2	1.6	1.127	84.340
17	3.2	4.6	1.4	1.119	90.498
18	4.6	6.3	1.7	1.113	96.661
19	6.3	7.6	1.3	1.109	102.827
20	7.6	9	1.4	1.107	108.995
21	9	10.1	1.1	1.105	115.165
22	10.1	11.2	1.1	1.103	121.336
23	11.2	12.4	1.2	1.102	127.508
24	12.4	13.4	1	1.102	133.680
25	13.4	14.5	1.1	1.101	139.853

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 11, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 11, para lo cual se consideró 25 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 1.1cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 8.3 cm.

Grafico 11. Resultados de la muestra 11



Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.101 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 6.174 mm/hr.

- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.893 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 139.853 l.

Tabla 12. Resultados de la muestra 12

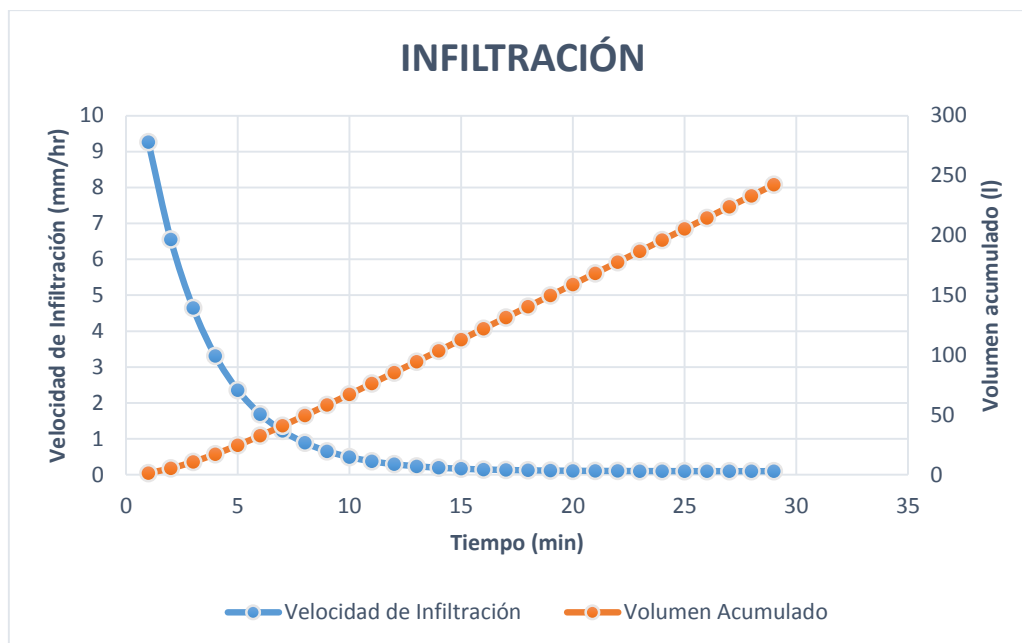
Lectura	Nivel del agua (cm)		Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	5	18.1	13.1	9.261	1.532
2	0	6.1	6.1	6.556	5.346
3	6.1	10.1	4	4.649	10.769
4	10.1	12	1.9	3.306	17.325
5	12	13.8	1.8	2.359	24.680
6	0	3.6	3.6	1.692	32.598
7	3.6	7	3.4	1.222	40.912
8	7	8.8	1.8	0.891	49.506
9	8.8	10.4	1.6	0.657	58.297
10	10.4	11.6	1.2	0.493	67.227
11	11.6	12.4	0.8	0.377	76.255
12	0	2.8	2.8	0.295	85.351
13	2.8	5.4	2.6	0.237	94.496
14	5.4	7.9	2.5	0.197	103.675
15	7.9	9.6	1.7	0.168	112.879
16	9.6	11	1.4	0.148	122.099
17	11	12.5	1.5	0.134	131.332
18	12.5	13.7	1.2	0.124	140.572
19	13.7	15	1.3	0.117	149.819
20	0.5	2.9	2.4	0.112	159.070
21	2.9	4.4	1.5	0.108	168.324
22	4.4	6	1.6	0.106	177.580
23	6	7.2	1.2	0.104	186.837
24	7.2	8.4	1.2	0.103	196.096
25	8.4	10.3	1.9	0.102	205.355
26	10.3	11.3	1	0.101	214.615
27	11.3	12.9	1.6	0.101	223.875
28	12.9	12.9	0	0.101	233.135
29	12.9	13	0.1	0.101	242.396

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 12, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 12, para lo cual se consideró 29 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.

- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.1 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 13.1 cm.

Grafico 12. Resultados de la muestra 12



Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.101 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 9.261 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.532 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 242.396 l.

Tabla 13. Resultados de la muestra 13

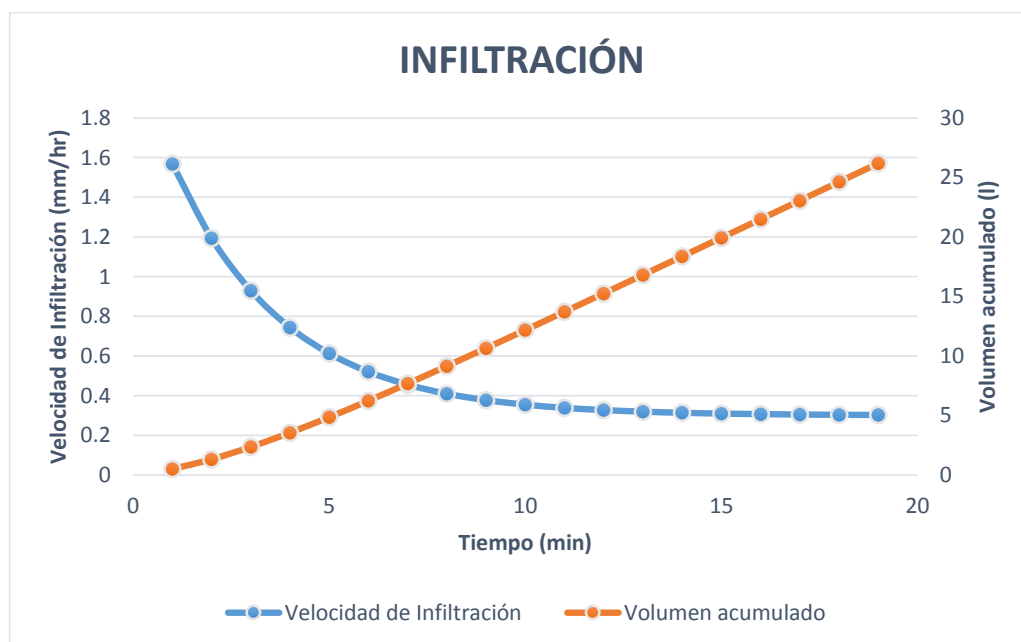
Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	2.1	2.1	0.500
2	2.1	3.1	1	1.316
3	3.1	3.6	0.5	2.354
4	3.6	4.2	0.6	3.548
5	4.2	4.7	0.5	4.853
6	4.7	5.3	0.6	6.236
7	5.3	5.9	0.6	7.674
8	5.9	6.3	0.4	9.150
9	6.3	6.8	0.5	10.654
10	6.8	7.3	0.5	12.176

11	7.3	7.8	0.5	0.338	13.712
12	7.8	8.3	0.5	0.327	15.258
13	8.3	8.7	0.4	0.319	16.810
14	8.7	9.3	0.6	0.313	18.368
15	9.3	9.7	0.4	0.309	19.928
16	9.7	10	0.3	0.307	21.491
17	10	10.4	0.4	0.305	23.055
18	10.4	11	0.6	0.303	24.621
19	11	11.3	0.3	0.302	26.188

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 13, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 13, para lo cual se consideró 19 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.3cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 2.1 cm.

Grafico 13. Resultados de la muestra 13



Fuente: Elaboración propia

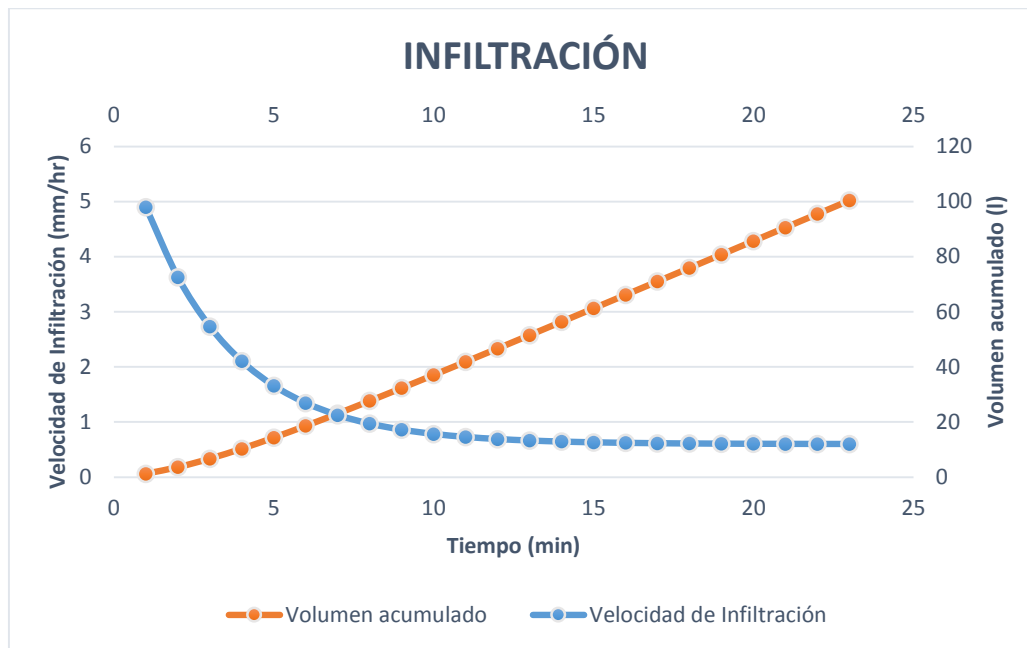
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.302 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.568 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.500 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 26.188 l.

Tabla 14. Resultados de la muestra 14

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)	
1	0	6.7	6.7	4.899	1.273
2	6.7	9.8	3.1	3.629	3.617
3	9.8	12.2	2.4	2.735	6.716
4	12.2	13.8	1.6	2.104	10.346
5	13.8	15.2	1.4	1.660	14.350
6	15.2	16.4	1.2	1.347	18.619
7	16.4	17.6	1.2	1.126	23.073
8	17.6	18.7	1.1	0.971	27.659
9	0	2.5	2.5	0.861	32.337
10	2.5	4.3	1.8	0.784	37.081
11	4.3	6	1.7	0.730	41.870
12	6	7.4	1.4	0.691	46.691
13	7.4	8.8	1.4	0.664	51.535
14	8.8	10	1.2	0.645	56.396
15	10	11.2	1.2	0.632	61.267
16	11.2	12.3	1.1	0.623	66.147
17	12.3	13.3	1	0.616	71.032
18	13.3	14.3	1	0.611	75.921
19	14.3	15.2	0.9	0.608	80.813
20	15.2	15.9	0.7	0.606	85.707
21	15.9	16.3	0.4	0.604	90.602
22	16.3	16.9	0.6	0.603	95.499
23	16.9	17.5	0.6	0.602	100.396

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 14, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 14, para lo cual se consideró 23 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.6 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 6.7 cm.

Grafico 14. Resultados de la muestra 14

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.602 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 4.898 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.273 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 100.396 l.

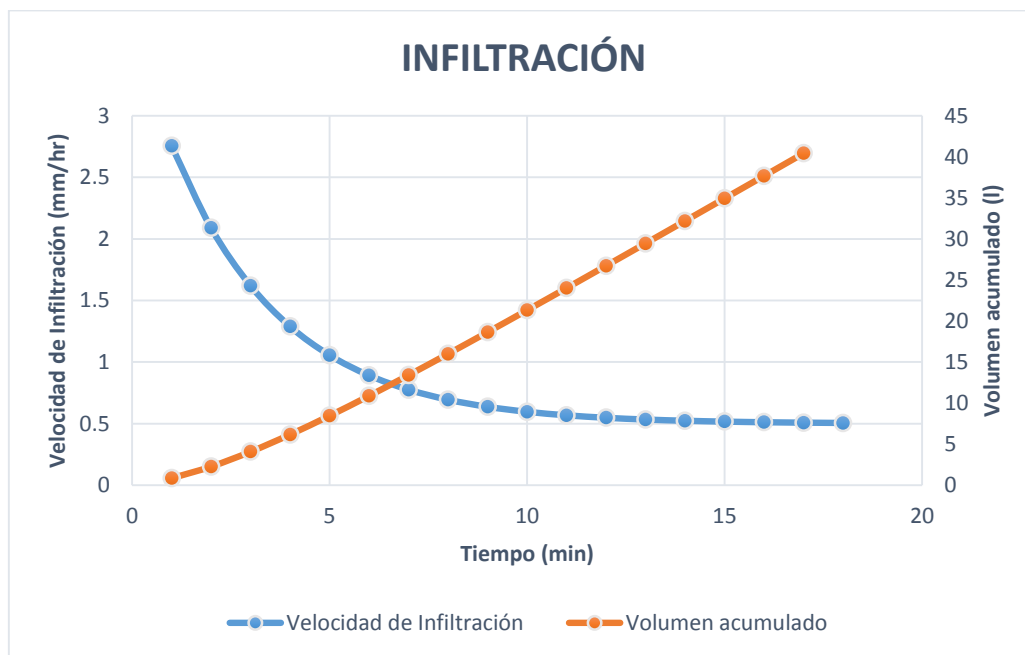
Tabla 15. Resultados de la muestra 15

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	3.7	3.7	0.857
2	3.7	5.1	1.4	2.275
3	5.1	6.2	1.1	4.088
4	6.2	7.3	1.1	6.179
5	7.3	8.2	0.9	8.466
6	8.2	9	0.8	10.891
7	9	10	1	13.413
8	10	10.7	0.7	16.005
9	10.7	11.5	0.8	18.644
10	11.5	12.2	0.7	21.318
11	12.2	12.9	0.7	24.016
12	12.9	13.5	0.6	26.730
13	13.5	14.2	0.7	29.457
14	14.2	14.8	0.6	32.192
15	14.8	15.5	0.7	34.933
16	15.5	16.1	0.6	37.678
17	16.1	16.7	0.6	40.426
18	16.7	17.2	0.5	43.176

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 15, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 15, para lo cual se consideró 18 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.5cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 3.7 cm.

Grafico 15. Resultados de la muestra 15



Fuente: Elaboración propia

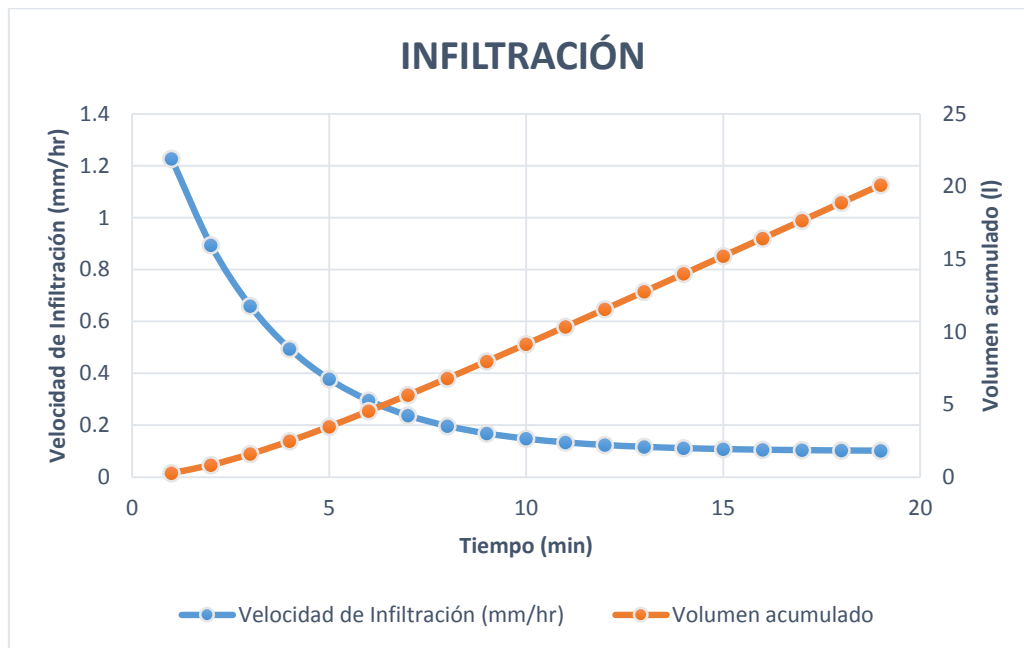
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.506 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 2.755 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.857 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 43.176 l.

Tabla 16. Resultados de la muestra 16

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	1.7	1.7	0.278
2	1.7	2.4	0.7	0.836
3	2.4	2.8	0.4	0.660
4	2.8	3.2	0.4	0.495
5	3.2	3.6	0.4	0.378
6	3.6	4	0.4	0.296
7	4	4.3	0.3	0.238
8	4.3	4.6	0.3	0.197
9	4.6	4.9	0.3	0.169
10	4.9	5.2	0.3	0.148
11	5.2	5.5	0.3	0.134
12	5.5	5.8	0.3	0.124
13	5.8	6	0.2	0.117
14	6	6.3	0.3	0.112
15	6.3	6.6	0.3	0.108
16	6.6	6.9	0.3	0.106
17	6.9	7.2	0.3	0.104
18	7.2	7.5	0.3	0.103
19	7.5	7.6	0.1	0.102

Fuente: Elaboración propia (2017)

- ❖ En la tabla 16, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 16, para lo cual se consideró 19 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.1 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 1.7 cm.

Grafico 16. Resultados de la muestra 16

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.102 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.228 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.278 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 20.111 l.

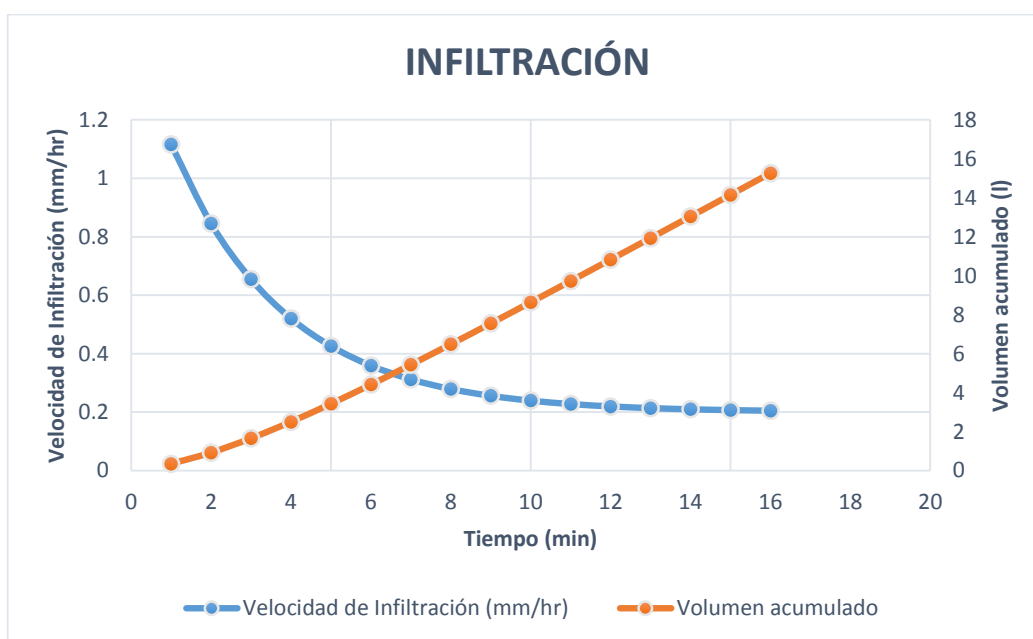
Tabla 17. Resultados de la muestra 17

Lectura	Nivel del agua (cm)		Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	1.5	1.5	1.116	0.347
2	1.5	2	0.5	0.846	0.921
3	2	2.5	0.5	0.655	1.656
4	2.5	3	0.5	0.521	2.503
5	3	3.5	0.5	0.426	3.429
6	3.5	3.8	0.3	0.359	4.412
7	3.8	4	0.2	0.312	5.434
8	4	4.2	0.2	0.279	6.483
9	4.2	4.6	0.4	0.256	7.553
10	4.6	4.9	0.3	0.239	8.636
11	4.9	5.1	0.2	0.228	9.729
12	5.1	5.3	0.2	0.219	10.828
13	5.3	5.5	0.2	0.214	11.933
14	5.5	5.7	0.2	0.210	13.041
15	5.7	5.9	0.2	0.207	14.151
16	5.9	6.1	0.2	0.205	15.263

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 17, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 17, para lo cual se consideró 16 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.2 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 1.5 cm.

Grafico 17. Resultados de la muestra 17



Fuente: Elaboración propia (2017)

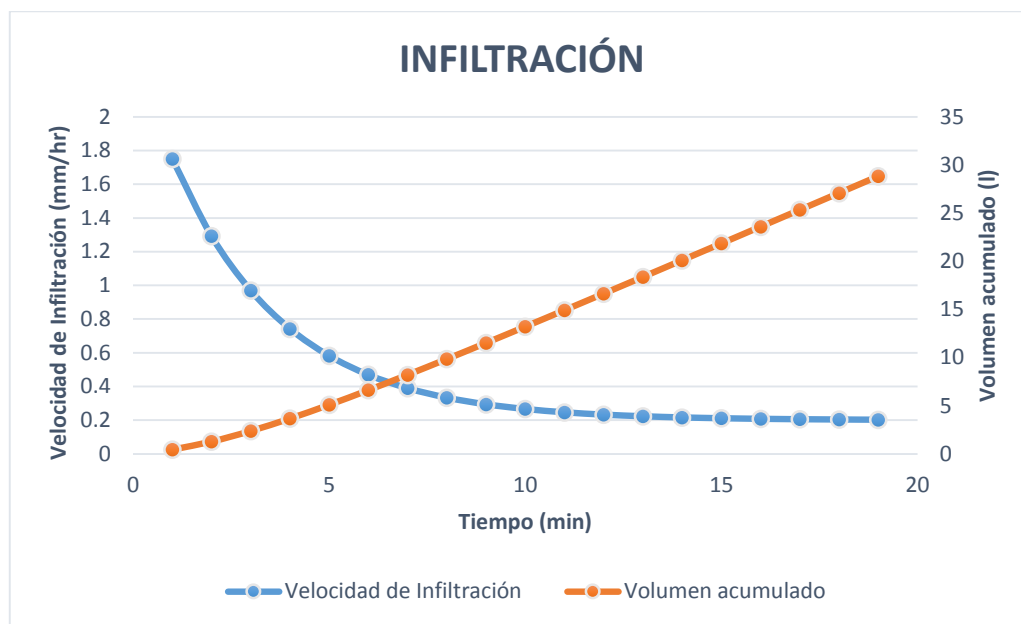
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.205 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.116 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.347 l, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 15.263 l.

Tabla 18. Resultados de la muestra 18

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)	
1	0	2.4	2.4	1.750	0.445
2	2.4	4	1.6	1.292	1.275
3	4	4.7	0.7	0.970	2.377
4	4.7	5.4	0.7	0.743	3.670
5	5.4	6	0.6	0.582	5.099
6	6	6.5	0.5	0.469	6.622
7	6.5	7	0.5	0.390	8.212
8	7	7.5	0.5	0.334	9.850
9	7.5	8	0.5	0.294	11.521
10	8	8.4	0.4	0.266	13.215
11	8.4	8.8	0.4	0.247	14.926
12	8.8	9.2	0.4	0.233	16.649
13	9.2	9.5	0.3	0.223	18.379
14	9.5	9.8	0.3	0.216	20.116
15	9.8	10.3	0.5	0.212	21.857
16	10.3	10.6	0.3	0.208	23.600
17	10.6	10.8	0.2	0.206	25.346
18	10.8	11.1	0.3	0.204	27.092
19	11.1	11.3	0.2	0.203	28.840

Fuente: Elaboración propia (2017)

- ❖ En la tabla 18, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 18, para lo cual se consideró 19 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.2 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 2.4 cm.

Grafico 18. Resultados de la muestra 18

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.203 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.750 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.445 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 28.840 l.

Tabla 19. Resultados de la muestra 19

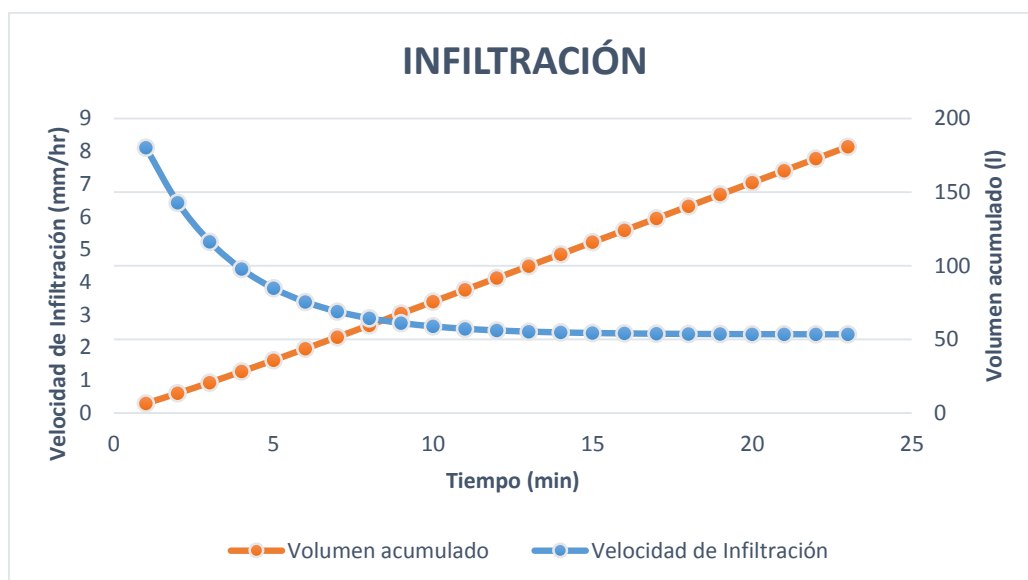
Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	10.5	8.108	6.423
2	10.5	15.5	6.422	13.344
3	15.5	20	5.234	20.615
4	20	23.6	4.397	28.133
5	23.6	25.9	3.808	35.826
6	0	4.9	3.392	43.641
7	4.9	9.3	3.099	51.543
8	9.3	13.2	2.893	59.505
9	13.2	17	2.747	67.511
10	17	20	2.645	75.547
11	20	22.4	2.572	83.604
12	0	4	2.521	91.676
13	4	7.9	2.486	99.759
14	7.9	11.4	2.460	107.849
15	11.4	14.3	2.443	115.944

16	14.3	17.1	2.8	2.430	124.043
17	17.1	20	2.9	2.421	132.145
18	20	22	2	2.415	140.249
19	0	2.7	2.7	2.410	148.353
20	2.7	6.3	3.6	2.407	156.459
21	6.3	9.3	3	2.405	164.566
22	9.3	12.1	2.8	2.404	172.673
23	12.1	14.5	2.4	2.403	180.780

Fuente: Elaboración propia (2017)

- ❖ En la tabla 19, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 19, para lo cual se consideró 23 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 2.4 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 10.5 cm.

Grafico 19. Resultados de la muestra 19



Fuente: Elaboración propia

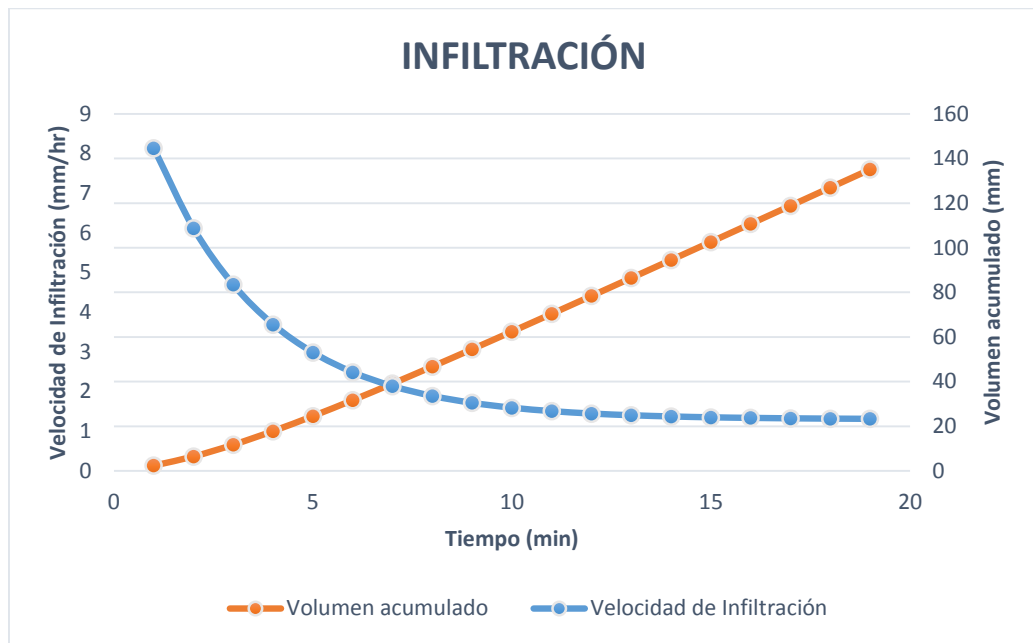
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 2.401 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 8.108 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 6.423 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 180.780 l.

Tabla 20. Resultados de la muestra 20

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)	
1	0	11	11	8.135	2.379
2	11	16.2	5.2	6.117	6.457
3	16.2	20.7	4.5	4.694	11.734
4	20.7	24.3	3.6	3.692	17.855
5	0	6	6	2.986	24.571
6	6	10.4	4.4	2.488	31.706
7	10.4	14.2	3.8	2.137	39.136
8	14.2	17.9	3.7	1.890	46.775
9	17.9	20.9	3	1.716	54.561
10	20.9	22.9	2	1.593	62.449
11	0	3.5	3.5	1.506	70.411
12	3.5	7	3.5	1.445	78.424
13	7	10.1	3.1	1.403	86.473
14	10.1	13.1	3	1.372	94.548
15	13.1	15.9	2.8	1.351	102.640
16	15.9	18.4	2.5	1.336	110.746
17	18.4	20.6	2.2	1.325	118.860
18	20.6	21.8	1.2	1.318	126.980
19	21.8	23.1	1.3	1.313	135.105

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 20, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 20, para lo cual se consideró 19 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 1.3 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 11 cm.

Grafico 20. Resultados de la muestra 20

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.313 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 8.135 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 2.379 mm, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 135.105 mm.

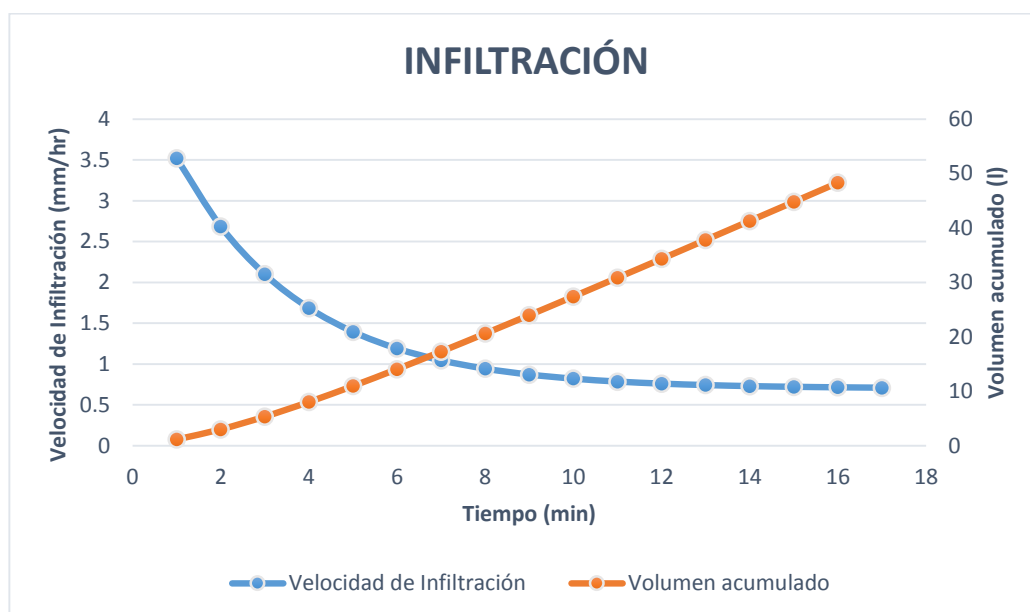
Tabla 21. Resultados de la muestra 21

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)	
1	0	4.7	4.7	8.135	2.379
2	4.7	8.5	3.8	6.117	6.457
3	8.5	10.9	2.4	4.694	11.734
4	10.9	12.7	1.8	3.692	17.855
5	12.7	14.9	2.2	2.986	24.571
6	14.9	16.6	1.7	2.488	31.706
7	16.6	18	1.4	2.137	39.136
8	18	19.4	1.4	1.890	46.775
9	19.4	20.4	1	1.716	54.561
10	0	2.5	2.5	1.593	62.449
11	2.5	4.6	2.1	1.506	70.411
12	4.6	6.4	1.8	1.445	78.424
13	6.4	8.3	1.9	1.403	86.473
14	8.3	10	1.7	1.372	94.548
15	10	11.5	1.5	1.351	102.640
16	11.5	12.9	1.4	1.336	110.746
17	12.9	13.6	0.7	1.325	118.860

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 21, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 21, para lo cual se consideró 17 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.7 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 4.7 cm.

Grafico 21. Resultados de la muestra 21



Fuente: Elaboración propia

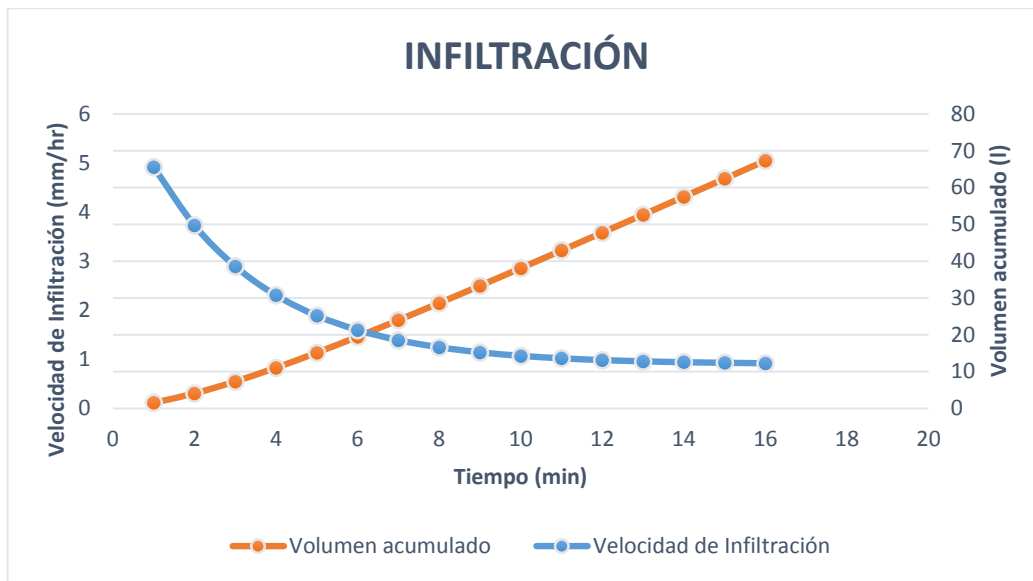
- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.710 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 3.519 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.149 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 51.816 l.

Tabla 22. Resultados de la muestra 22

Lectura	Nivel del agua (cm)		Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	6.6	6.6	4.917	1.545
2	6.6	9.6	3	3.731	4.086
3	9.6	11.4	1.8	2.895	7.329
4	11.4	12.6	1.2	2.306	11.066
5	12.6	14	1.4	1.891	15.151
6	14	15	1	1.598	19.482
7	15	16	1	1.392	23.986
8	16	16.9	0.9	1.247	28.612
9	16.9	17.8	0.9	1.144	33.324
10	0	1.4	1.4	1.072	38.096
11	1.4	2.8	1.4	1.021	42.911
12	2.8	4.1	1.3	0.985	47.756
13	4.1	5.3	1.2	0.960	52.622
14	5.3	6.5	1.2	0.942	57.503
15	6.5	7.5	1	0.930	62.395
16	7.5	8.4	0.9	0.921	67.294

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 22, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 22, para lo cual se consideró 16 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 0.9 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 6.6 cm.

Grafico 22. Resultados de la muestra 22

Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.710 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 3.519 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.149 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 51.81 l.

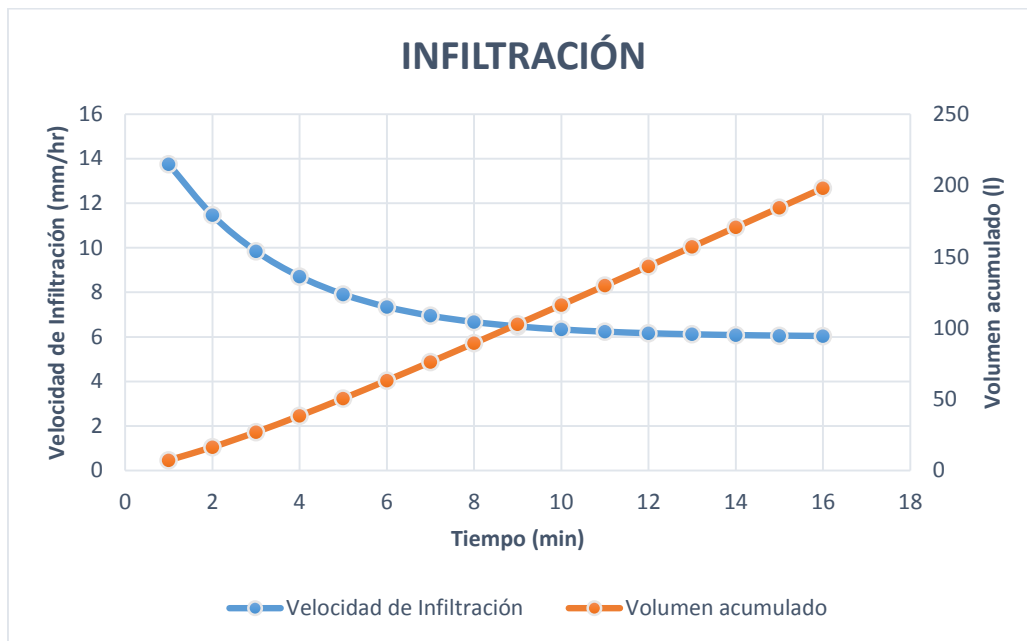
Tabla 23. Resultados de la muestra 23

Lectura	Nivel del agua (cm)	Infiltrado (cm)	Velocidad de Infiltración (mm/hr)	Volumen acumulado litros (l)
1	0	17	17	13.752
2	17	23.2	6.2	11.462
3	0	10.9	10.9	9.849
4	10.9	18.2	7.3	8.713
5	18.2	25.6	7.4	7.912
6	0	8.4	8.4	7.347
7	8.4	15.1	6.7	6.949
8	15.1	21.1	6	6.669
9	21.1	26.3	5.2	6.471
10	0	7.4	7.4	6.332
11	7.4	13.6	6.2	6.234
12	13.6	18.7	5.1	6.165
13	18.7	23	4.3	6.116
14	23	26.7	3.7	6.082
15	0	4.5	4.5	6.058
16	4.5	10.5	6	6.041

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En la tabla 23, se analiza todo el proceso de evolución de la muestra 23, para lo cual se consideró 16 lecturas, que es el tiempo en la cual, el suelo llega a saturarse completamente.
- ❖ El nivel del agua, por ser doble anillo el instrumento de medición, se mide por la diferencia entre ambos anillos.
- ❖ El nivel del agua infiltrado mínimo es de 6 cm, mientras que el nivel del agua infiltrado máximo es de 17 cm.

Grafico 23. Resultados de la muestra 23



Fuente: Elaboración propia

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es de 6.041 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 13.752 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 7.246 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 198.075 l.

9.2.1. Contrastación de resultados con los objetivos

De acuerdo a los objetivos planteados, que son determinar la velocidad de Infiltración y el volumen acumulado en las 23 muestras estudiadas, se pone en manifiesto los resultados que concuerdan de manera específica que se detallan a continuación:

A. Muestra 01

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1. mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 7.06 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.947 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 208.616 l.

B. Muestra 02

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.101 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 4.060 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.563 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 93.039 l.

C. Muestra 03

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.801 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 2.068 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.999 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 41.886 l.

D. Muestra 04

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.422 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.457 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.584 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 14.573 l.

E. Muestra 05

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.417 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 2.725 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.778 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 34.322 l.

F. Muestra 06

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.619 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.868 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.814 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 20.758 l.

G. Muestra 07

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.502 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 2.966 mm/hr.

- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.887 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 55.259 l.

H. Muestra 08

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.002 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 3.325 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.365 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 63.201 l.

I. Muestra 09

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.807 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 3.619 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.247 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 57.120 l.

J. Muestra 10

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.902 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 4.635 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.485 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 95.939 l.

K. Muestra 11

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.101 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 6.174 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.894 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 139.853 l.

L. Muestra 12

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.101 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 9.261 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.532 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 242.396 l.

M. Muestra 13

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.302 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.568 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.5002 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 26.188 l.

N. Muestra 14

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.602 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 4.896 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.273 l, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 100.396 l.

O. Muestra 15

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.506 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 2.755 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.857 l, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 43.1758 l.

P. Muestra 16

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.102 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.228 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.278 l, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 20.111 l.

Q. Muestra 17

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.205 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.116 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.347 l, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 15.263 l.

R. Muestra 18

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.202 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 1.750 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 0.441 l, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 28.840 l.

S. Muestra 19

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 2.403 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 8.108 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 6.423 l, mientras que el volumen acumulado de agua máximo es de 180.780 l.

T. Muestra 20

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 1.313 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 8.135 mm/hr.

- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 2.379 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 135.105 l.

U. Muestra 21

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.710 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 3.519 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.149 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 51.812 l.

V. Muestra 22

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 0.710 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 3.519 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 1.149 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 51.816 l.

W. Muestra 23

- ❖ La velocidad de infiltración mínima es 6.041 mm/hr, mientras que la velocidad de infiltración máxima es de 13.752 mm/hr.
- ❖ El volumen acumulado de agua mínimo es de 7.246 l, mientras que la el volumen acumulado de agua máximo es de 198.075 l.

9.3. Formulación de conclusiones y recomendaciones

9.3.1. Conclusiones

- ❖ La evolución de la velocidad de infiltración en cada una de las muestras es totalmente variable que va desde un mínimo de velocidad hasta un máximo en cada una de las muestras.
- ❖ La evolución en el tiempo del volumen acumulado en cada una de las muestras es totalmente variable que va desde un mínimo de volumen acumulado de agua hasta un máximo
- ❖ De acuerdo con la practica realizada se puede concluir que la velocidad de infiltración varía según la textura del suelo, en un suelo arenoso existe una menor compactación, por lo tanto el agua se infiltrara rápidamente, mientras un suelo arcilloso la filtración es lenta; se llega a la conclusión que la permeabilidad del agua en el suelo va a depender de la textura, el tamaño de los agregados del suelo, y estructura.
- ❖ La determinación de la conductividad hidráulica mediante el infiltrómetro de doble anillo resulta sencilla y cómoda si conocemos las reglas básicas

del procedimiento a seguir. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, el movimiento del agua dentro del sistema y su distribución durante y después de la infiltración, por lo que su estimación confiable es bastante difícil e imposible obtener una relación única entre todos los parámetros que la condicionan

9.4. Recomendaciones

- ❖ Debe existir un control sobre las actividades ganaderas, a través de un planeamiento territorial en la cual se indique que áreas deben ser adecuadas para el pastoreo y cuáles deben ser los lugares en las cuales debe conservarse la unidad hidrográfica.
- ❖ Debe existir un planeamiento territorial para incidir en el uso de suelos para las diferentes actividades agrícolas con la finalidad de conservar de mejor manera los suelos de la unidad hidrográfica Rontoccocha y de ese modo conservar el normal desarrollo de la infiltración del agua sobre el suelo.
- ❖ En base al mínimo y máximo de la velocidad de infiltración se deben proponer medidas para incrementar en mayor amplitud la velocidad de infiltración de suelos toda vez que se generen precipitaciones a través de proyectos de siembra de agua, teniendo como alternativa primera las zanjas de infiltración.
- ❖ Para incrementar el volumen de agua acumulado sobre los colchones acuíferos, es conveniente que se realicen proyectos que apoyen esta medida tal es el caso de reforestación con especies nativas sobre la unidad hidrográfica Rontoccocha.

X. BIBIOGRAFIA

- Agropecuaria, I. N. (2003). Rolado de Fachinales e infiltracion de agua en suelo en el Chaco Occidental-Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 22.
- Alanis, J. D. (2006). Manejo **Silvicola**, Capacidad de infiltracion, Escurrimiento Superficial y Erosion. *Revistas Cientificas de America Ltina, el Caribe, España y Portugal*, 9.
- Chow, V. T. (1996). *Hidrologia Aplicada*. Europa: Mc Graw Hill.
- Custodio, G. (1998). Recarga de los Acuíferos, Aspectos generales sobre el proceso. *Boletín Geológico y Minero*, 29.
- Faustino, J. (2006). *Manejo de Cuencas II*. El Salvador: Caritas.
- Gálvez, Q. M. (2015). *Balance hídrico en la Laguna Rontoccocha*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Garrido A., P. D. (2010). *Delimitacion de zonas funcionales de las cuencas hidrograficas de Mexico*. Mexico: Red Mexicana de Cuencas Hidrograficas.
- Gomez, C. g. (2014). *Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la sub cuenca del río Shullcas*. Huancayo: Apunt. cienc. soc.
- Gurvich, I. (1985). *Fundamentos de diseño de sistema de riego*. Costa Rica: primera edicion.
- Horton, R. E. (1940). *An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity*. EE.UU.: Soli society of America Proceeding.
- INAB, (. N. (2003). Metodologia para la determinacion de areas criticas de recarga hidrica natural. *Soluciones para el Ambiente Yel Desarrollo*, 106.
- Losilla, M. (1986). Proteccion de las zonas de recarga de los acuíferos. *Publicacion Turrialba*, 9.
- Ortea, M. (2015). *Infiltración de agua en el suelo (infiltrómetro de doble cilindro)*. Lima-Perú: Universidad Agraria la Molina.
- Oscar Delgadillo. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo*. Cochabamba- Bolivia: Centro del agua.
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategia de Extension para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrograficas*. San Jose: Publicaciones GTZ.
- Reynolds, W. D. (1991). *Determination of Hydraulic conductivity using a tension infiltrometer*. USA: Soil Science Society of America Journal.
- Segerer, C. D. (2006). *Infiltración*. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- Villon Bejar, M. (2002). *Hidrologia*. Costa Rica: Max Soft.

XI. ANEXOS

11.1. Muestras de la unidad hidrográfica en estudio

11.2. Panel fotográfico

11.3. Mapa de Zona de Recarga Hídrica.

11.4. Mapa de ubicación de Zona de Recarga Hídrica de Rontoccocha.

Resoluciones

Todos los anexos están resguardados en el archivo de la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes.