



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA

Proyecto de Investigación
previo a la obtención del título
de Ingeniero Agropecuario

Título del Proyecto de Investigación

“VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EMPLEANDO TRES
INFILTRÓMETROS EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA”

Autor:

Joffre Germán Ortiz Pico

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Víctor Godoy Espinoza M.Sc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Joffre Germán Ortiz Pico declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Joffre Germán Ortiz Pico

C.C. 0929292530

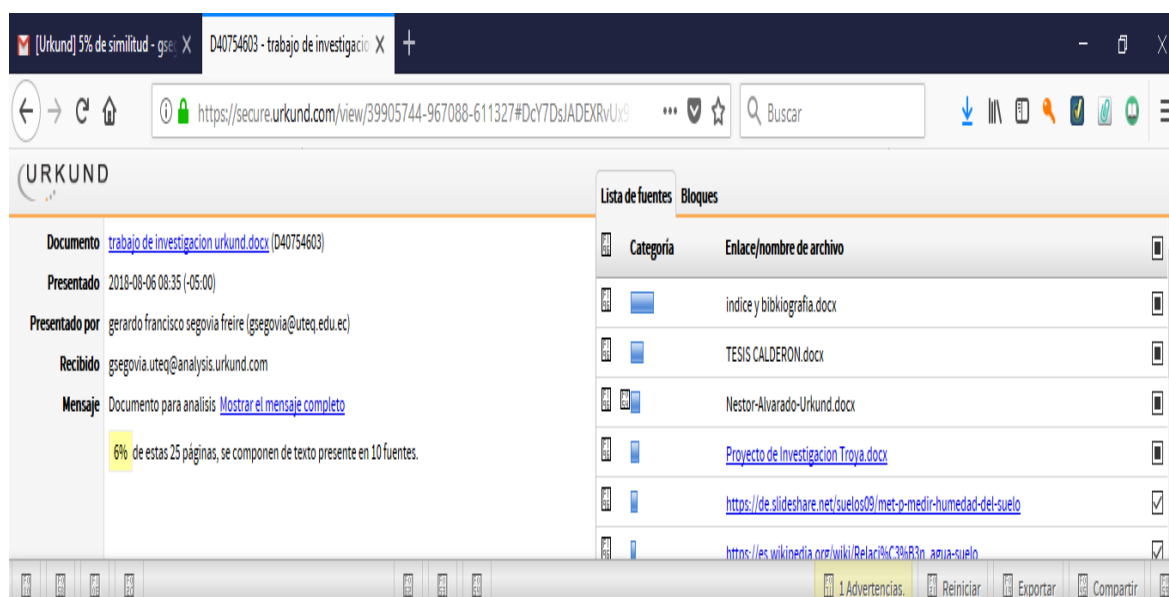
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing. Víctor Godoy Espinoza, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Joffre Germán Ortiz Pico, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EMPLEANDO TRES INFILTRÓMETROS EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA” previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Víctor Godoy Espinoza M. Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.

Dando cumplimiento al Reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y a las normativas y directrices establecidas por el SENESCYT, el suscrito Ing. Víctor Godoy Espinoza, en calidad de Director del Proyecto de Investigación titulado **“VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EMPLEANDO TRES INFILTRÓMETROS EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA”** de autoría del estudiante **JOFFRE GERMÁN ORTIZ PICO**, certifica que el porcentaje de similitud reportado por el Sistema URKUND es de 6 %, el mismo que es permitido por el mencionado software y los requerimientos académicos establecidos.



The screenshot displays the URKUND web interface. On the left, a sidebar shows document details: 'Documento: trabajo de investigacion urkund.docx (D40754603)', 'Presentado: 2018-08-06 08:35 (-05:00)', 'Presentado por: gerardo francisco segovia freire (gsegovia@uteq.edu.ec)', 'Recibido: gsegovia.uteq@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: Documento para analisis. Mostrar el mensaje completo'. A yellow box highlights the text '6% de estas 25 páginas, se componen de texto presente en 10 fuentes.' The main panel on the right is titled 'Lista de fuentes' and contains a table with two columns: 'Categoría' and 'Enlace/nombre de archivo'. The table lists several sources, including 'indice y bibliografía.docx', 'TESIS CALDERON.docx', 'Nestor-Alvarado-Urkund.docx', 'Proyecto de Investigacion Troya.docx', and two URLs from slideshare and wikipedia. The bottom of the interface shows a toolbar with icons for '1 Advertencias', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	indice y bibliografía.docx
	TESIS CALDERON.docx
	Nestor-Alvarado-Urkund.docx
	Proyecto de Investigacion Troya.docx
	https://de.slideshare.net/suelos09/met-p-medir-humedad-del-suelo
	https://es.wikipedia.org/wiki/Relaci%C3%B3n_agua-suelo

Atentamente

Ing. Víctor Godoy Espinoza M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA

Título:

**“VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EMPLEANDO TRES
INFILTRÓMETROS EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA”**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario.

Aprobado por:

Dr. Gregorio Vásquez Montufar
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Luis Godoy Montiel
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. M.Sc. Rommel Ramos Remache
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2018

AGRADECIMIENTO

Agradezco por toda la ayuda brindada durante este proceso de formación académica en primer lugar a Dios, ya que Él me dio las fuerzas necesarias para no decaer y seguir adelante, a pesar de todos los obstáculos puestos en este camino. Agradezco a mis padres Herlinda Pico y Juan José Ortiz hermanos, que siempre han estado apoyándome en estos pasos de mi carrera, puesto que, sin su apoyo no hubiese podido estudiar, ni ser una persona preparada.

Agradezco a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a sus directivos y personal docente y administrativo por ayudarme a realizar este trabajo y culminar con éxito una etapa de mi vida que marca el inicio de otra nueva.

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico al ser más importante en mi vida DIOS, que ha estado en mi vida guiándome en las buenas y malas, él ha sido mi gran sustento para poder sobre llevar todos los obstáculos de mi vida.

También se lo dedico de una manera muy especial a mis padres, que con su ejemplo de trabajo, honradez y perseverancia además de su incondicional apoyo me han motivado para alcanzar esta anhelada meta, demostrando que las metas los sueños que cuando uno se propone algo en la vida se pueden cumplir, pero para eso se necesita de mucho esfuerzo.

RESUMEN

La infiltración del agua en el suelo es una propiedad fundamental que interviene en aspectos importantes como su disponibilidad presente y posterior para los cultivos, la recarga de los acuíferos subterráneos o la conformación geográfica del territorio. En el país no se han realizado investigaciones para determinar la velocidad de infiltración de agua mediante anillos infiltrómetros, razón por la cual se plantea esta investigación con el propósito de determinar la permeabilidad del agua y detectar así el potencial peligro de erosión por inundaciones y escorrentías. El objetivo planteado fue evaluar la velocidad de infiltración del agua en suelos de la Finca Experimental “La María”, empleando tres infiltrómetros que consistieron en anillo simple, doble y botella de Mariotte para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente, empleando un diseño de bloques completos al azar. Se evaluaron las características texturales del suelo en función de los cultivos anteriores, además del contenido de humedad inicial (H), la densidad aparente (Da) y la velocidad de infiltración (V). Los resultados demostraron que el suelo responde a una textura Franco-limoso con una Da de 0.93 g/cm^3 y H de 13%; en estos suelos se cultivaban maíz y hortalizas bajo labranza convencional. Las curvas de infiltración permitieron establecer que el T3 presentó un mayor coeficiente de determinación, lo que permite un mejor ajuste del modelo en comparación con los otros métodos, estableciéndose como el mejor método de evaluación. El método de infiltración con el anillo simple registró una mayor velocidad de infiltración.

Palabras clave: Mariotte, permeabilidad, densidad, infiltración.

ABSTRACT

The infiltration of water into the soil is a fundamental property that intervenes in important aspects such as its present and subsequent availability for crops, the recharge of underground aquifers or the geographical conformation of the territory. In the country there have been no investigations to determine the infiltration rate of water by means of infiltrometer rings, reason for which this investigation is proposed with the purpose of determining the permeability of the water and detecting the potential danger of erosion due to floods and runoff. The objective was to evaluate the infiltration rate of the water in soils of the Experimental Farm "La María", using three infiltrometers consisting of single, double and Mariotte bottle for the treatments T1, T2 and T3 respectively, using a design of complete blocks at random. The textural characteristics of the soil were evaluated according to the previous cultures, in addition to the initial moisture content (H), the bulk density (Da) and the infiltration rate (V). The results showed that the soil responds to a loam-silty texture with a Da of 0.93 g / cm³ and H of 13%; in these soils corn and vegetables were grown under conventional tillage. The infiltration curves allowed to establish that the T3 had a higher coefficient of determination, which allows a better adjustment of the model in comparison with the other methods, establishing itself as the best evaluation method. The infiltration method with the simple ring registered a higher infiltration rate.

Keywords: Mariotte, permeability, density, infiltration.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
Portada.....	i
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	ii
Certificación de culminación del proyecto de investigación.....	iii
Certificado de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico.....	iv
Certificado de aprobación por los miembros de Tribunal ...	¡Error! Marcador no definido.
Agradecimiento	vi
Dedicatoria.....	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
Tabla de contenido.....	x
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xiv
Índice de anexos	xv
Código Dublin	xvi
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problema de la investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.1.2. Formulación del problema.....	5
1.1.3. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación.....	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Marco conceptual.....	8
2.2. Marco referencial.....	11

2.2.1. Antecedentes.....	11
2.2.2. Estudio de los suelos agrícolas.	13
2.2.2.1. Textura de los suelos agrícolas.....	14
2.2.2.2. Estructura del suelo agrícola.....	15
2.2.2.3. Coloración del suelo.	17
2.2.2.4. Porosidad y densidad aparente de los suelos.	18
2.2.3. Condiciones que limitan la fertilidad de los suelos agrícolas.	19
2.2.3.1. Acidificación de los suelos.	19
2.2.3.2. Drenaje.	19
2.2.3.3. Salinización, sodificación y alcalinización de suelos.	20
2.2.4. Capacidad de retención de agua disponible (CRAD).	20
2.2.4.1. Punto de saturación.....	21
2.2.4.2. Capacidad de campo.....	21
2.2.4.3. Punto de marchitez permanente.....	21
2.2.4.4. Agua gravitacional.....	22
2.2.4.5. Agua higroscópica.	22
2.2.4.6. Agua infiltrada.	22
2.2.4.7. Escorrentía.	22
2.2.5. Métodos de evaluación de la humedad del suelo.	23
2.2.5.1. Método visual y táctil del suelo.....	23
2.2.5.2. Tensiómetro.	23
2.2.5.3. Método gravimétrico.	24
2.2.6. Metodología de caracterización de la estructura del suelo.	24
2.2.6.1. En campo.	24
2.2.6.2. En laboratorio.	24
2.2.7. Evaluación de la textura del suelo en el campo.....	25
2.2.7.1. Propiedades del separado arena.	25
2.2.7.2. Propiedades del separado limo.	26
2.2.7.3. Propiedades del separado arcilla.....	26
2.2.8. Descripción del proceso de infiltración.	26
2.2.8.1. Infiltrómetros de tensión.....	28
CAPÍTULO III	29
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.1. Localización.....	30

3.2. Tipo de investigación.	30
3.3. Métodos de investigación.	30
3.4. Fuentes de información.	31
3.4.1. Fuentes primarias.....	31
3.4.2. Fuentes secundarias.	31
3.5. Diseño de la investigación.	31
3.6. Instrumentos de investigación.	32
3.6.1. Variables bajo estudio.	32
3.6.1.1. Caracterización de los suelos.....	32
3.6.1.2. Contenido de humedad inicial.	33
3.6.1.3. Velocidad de infiltración.	33
3.7. Tratamiento de los datos.....	34
3.8. Recursos humanos y materiales.....	34
3.8.1. Recursos humanos.	34
3.8.2. Materiales.	34
3.8.3. Equipos.	34
CAPÍTULO IV	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Resultados y discusión.	36
4.1.1. Caracterización del suelo.....	36
4.1.2. Contenido de humedad inicial.	36
4.1.3. Velocidad de infiltración.	37
CAPÍTULO V	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. Conclusiones.....	44
5.2. Recomendaciones.	45
CAPÍTULO VI	46
BIBLIOGRAFÍA	46
6.1. Referencias bibliográficas.	47
CAPÍTULO VII.....	53
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1. Tamaño de partículas que forman la textura de los suelos.....	14
Tabla 2. Clases texturales existentes de acuerdo al diagrama textuctural de la USDA..	15
Tabla 3. Tipos de estructuras más comunes de los suelos agrícolas.	16
Tabla 4. Condiciones meteorológicas.....	30
Tabla 5. Esquema del análisis de varianza.	32
Tabla 6. Tratamientos.	32
Tabla 7. Tasa de infiltración de agua de acuerdo al tiempo de exposición y a los infiltrómetros empleados en un predio de la Finca Experimental La María, 2018.	38
Tabla 8. Promedio de infiltración registrada de acuerdo al método de infiltración en un predio de la Finca Experimental La María, 2018.	41
Tabla 9. Análisis de la varianza.....	55
Tabla 10. Análisis de la Varianza (SC tipo III)	55
Tabla 11. Test Tukey	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Diagrama textuctural de la USDA.	15
Figura 2. Relación entre el contenido de humedad y la densidad aparente.....	37
Figura 3. Curva de infiltración registrada para el método de anillo simple	39
Figura 4. Curva de infiltración registrada para el método de anillo doble	39
Figura 5. Curva de infiltración registrada para el método de botella de Mariotte.....	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Pág.
Anexo 1. Análisis de suelo.	54
Anexo 2. Análisis estadístico.	55
Anexo 3. Evidencias fotográficas.	56

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“Velocidad de infiltración del agua empleando tres infiltrómetros en la Finca Experimental La María”
Autor:	<u>Ortiz Pico Joffre Germán</u>
Palabras clave:	Mariotte, permeabilidad, densidad, infiltración.
Fecha publicación:	
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2018
Resumen:	Resumen. La infiltración del agua en el suelo es una propiedad fundamental que interviene en aspectos importantes como su disponibilidad presente y posterior para los cultivos, la recarga de los acuíferos subterráneos o la conformación geográfica del territorio. En el país no se han realizado investigaciones para determinar la velocidad de infiltración de agua mediante anillos infiltrómetros, razón por la cual se plantea esta investigación con el propósito de determinar la permeabilidad del agua y detectar así el potencial peligro de erosión por inundaciones y escorrentías. El objetivo planteado fue evaluar la velocidad de infiltración del agua en suelos de la Finca Experimental “La María”, empleando tres infiltrómetros que consistieron en anillo simple, doble y botella de Mariotte para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente, empleando un diseño de bloques completos al azar. Se evaluaron las características texturales del suelo en función de los cultivos anteriores, además del contenido de humedad inicial (H), la densidad aparente (Da) y la velocidad de infiltración (V). Los resultados demostraron que el suelo responde a una textura Franco-limoso con una Da de 0.93 g/cm³ y H de 13%; en estos suelos se cultivaban maíz y hortalizas bajo labranza convencional. Las curvas de infiltración permitieron establecer que el T3 presentó un mayor coeficiente de determinación, lo que permite un mejor ajuste del modelo en comparación con los otros métodos, estableciéndose como el mejor método de evaluación. El método de infiltración con el anillo simple registró una mayor velocidad de infiltración.

	Abstract. The infiltration of water into the soil is a fundamental property that intervenes in important aspects such as its present and subsequent availability for crops, the recharge of underground aquifers or the geographical conformation of the territory. In the country there have been no investigations to determine the infiltration rate of water by means of infiltrometer rings, reason for which this investigation is proposed with the purpose of determining the permeability of the water and detecting the potential danger of erosion due to floods and runoff. The objective was to evaluate the infiltration rate of the water in soils of the Experimental Farm "La María", using three infiltrometers consisting of single, double and Mariotte bottle for the treatments T1, T2 and T3 respectively, using a design of complete blocks at random. The textural characteristics of the soil were evaluated according to the previous cultures, in addition to the initial moisture content (H), the bulk density (Da) and the infiltration rate (V). The results showed that the soil responds to a loam-silty texture with a Da of 0.93 g / cm³ and H of 13%; in these soils corn and vegetables were grown under conventional tillage. The infiltration curves allowed to establish that the T3 had a higher coefficient of determination, which allows a better adjustment of the model in comparison with the other methods, establishing itself as the best evaluation method. The infiltration method with the simple ring registered a higher infiltration rate.
Descripción:	hojas + CD ROM
URI	

Introducción.

La disminución de la capacidad de un suelo para absorber, retener y trasladar el agua es un problema que disminuye la productividad de la biomasa por parte de los cultivos, pastizales, arbustos o árboles, debido a que la porosidad del suelo está estrechamente relacionada con el rendimiento y, por ende, con la economía de la explotación agrícola y la sostenibilidad de los medios de vida de las familias de los agricultores (1).

La infiltración del agua en el suelo es una propiedad fundamental que interviene en aspectos importantes como su disponibilidad presente y posterior para los cultivos, la recarga de los acuíferos subterráneos o la conformación geográfica del territorio (2). Sin embargo, la infiltración del agua así como la humedad del suelo muchas veces es ignorada, trayendo como consecuencia problemas de sequías o encharcamiento; pero el correcto manejo de estos aspectos es fundamental para el mejoramiento sostenible de la producción, permitiendo disponer de una percepción ampliada de las limitantes de la productividad del suelo y sus razones de erosión y escorrentía (1).

Conocer la capacidad que posee el suelo para la retención de agua se presenta como un problema importante que sirve de base para la realización de diversas investigaciones acerca de la relación suelo-agua; esto afecta de manera directa la infiltración, corrientes de agua, drenaje, transporte de solutos, agregados del suelo, optimización del suministro de riego y disponibilidad de agua de los cultivos (3).

Existe una amplia terminología que se emplea para referirse a las técnicas que usa el terreno como sustrato depurador: infiltración rápida, infiltración directa sobre el terreno, tratamiento suelo-acuífero, geodepuración; sin embargo, aunque son utilizados como sinónimos, estos presentan matices a aclarar. Como término general se emplea la infiltración directa sobre el terreno, englobando todas aquellas técnicas en las que el elemento depurador principal es el suelo natural y la zona no saturada, ya que, al tratarse de un sistema establecido en un filtro natural, incluye tanto a la infiltración rápida como a los sistemas de baja carga, sistemas de infiltración controlada en zonas poco permeables y el riego superficial (4).

Por su lado, los sistemas de infiltración rápida son aquellos sistemas donde el agua empleada ha recibido algún tipo de tratamiento y se aplica de forma intermitente en zonas destinadas para medir la infiltración, generalmente desprovistas de vegetación. La depuración se produce al atravesar el agua el lecho de suelo, terminando en su mayor parte evaporándose o recargando el acuífero subyacente (4).

Si la precipitación presenta una intensidad menor a la capacidad de infiltración, toda el agua penetra el suelo provocando una progresiva disminución de su capacidad de infiltración, por otro lado, si la precipitación continúa, la capacidad de infiltración disminuye tanto que su intensidad se iguala a la de la precipitación por efecto de la gravedad, quien lleva el agua hacia el interior del suelo bajo una presión negativa que es mayor en los poros pequeños que en los grandes, y es a partir de ese momento, donde la infiltración real iguala a la capacidad de infiltración, que pasa a decrecer exponencialmente en el tiempo tendiendo a un valor mínimo (5).

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de la investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

Los sistemas tradicionales de agricultura en el trópico ecuatoriano están basados generalmente en el uso del suelo, sin un previo análisis. Estos aspectos se manifiestan en los esquemas deficitarios y poca productividad, así también cuando se pretende diseñar sistemas de riegos es importante conocer el comportamiento del suelo respecto a la infiltración del agua por los continuos encharcamientos dados por el máximo valor de la intensidad de precipitación del aspersor.

La investigación y análisis de los suelos, en cuanto a la velocidad de infiltración de agua puede a futuro garantizar una mejor productividad y resultados económicos que alienten nuevas perspectivas de producción agrícola y por ende resultados sociales atribuibles específicamente al reglón del avance tecnológico de la agricultura.

Diagnóstico.

En Ecuador no se han realizado investigaciones para determinar la velocidad de infiltración de agua mediante anillos infiltrómetros ya que hay otro método que no utiliza aparato alguno, sino simplemente consiste en hacer un agujero de dimensiones conocidas en el suelo. Se llena de agua hasta cierta altura y se mide la variación de esa altura a través del tiempo dado que la infiltración se produce tanto por el fondo como por las paredes, el caudal infiltrado será igual a la superficie del cilindro por el coeficiente de infiltración.

Pronóstico.

El proceso de infiltración es de gran importancia práctica dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento, pudiendo detectarse así el peligro de erosión durante inundaciones a lluvias muy intensas.

1.1.2. Formulación del problema.

Los procesos de retención y movilización del agua dentro del sistema de suelo son influyentes en la idoneidad del mismo para su uso en agricultura, por esta razón se plantea la siguiente interrogante:

¿Es posible evaluar la velocidad de infiltración del agua en suelos de una parcela experimental de la Finca La María mediante el uso de infiltrómetros?

1.1.3. Sistematización del problema.

¿En qué aspecto afectan las características estructurales, texturales y contenido de humedad de los suelos de la parcela experimental en la velocidad de infiltración del agua?

¿Qué métodos y técnicas para estimar la velocidad de infiltración en la parcela experimental permiten obtener resultados más confiables?

¿Es posible establecer una curva de infiltración con los valores referenciales obtenidos?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

Evaluar la velocidad de infiltración del agua empleando tres infiltrómetros (anillo simple, doble y Botella de Mariotte) en la Finca Experimental “La María”

1.2.2. Objetivos específicos.

- Identificar las características estructurales, texturales y contenido de humedad del suelo de la parcela experimental.
- Evaluar tres metodologías para la valoración de la velocidad de infiltración del agua en el suelo de la parcela experimental.

- Construir la curva de infiltración del suelo de acuerdo al periodo de tiempo de evaluación de la parcela experimental.

1.3. Justificación.

El presente estudio remarca mucha importancia al permitir evaluar la velocidad de infiltración del agua en los suelos de la localidad, de acuerdo a sus características, y mediante el empleo de anillos concéntricos; además se relacionó esta característica con la humedad presente y las características texturales y estructurales dentro de la parcela experimental, para de esta manera, utilizar eficientemente el agua de regadío evitando escorrentías, erosiones, encharcamientos y un mejor diseño de riego por melgas y aspersión. Esta investigación va a servir como un referente para incentivar investigaciones en riego y drenaje, puesto que también nos permitirá brindar recomendaciones a los estudiantes que realizan prácticas en las diferentes parcelas de la finca experimental La María.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

- **Anillo infiltrómetro.** - Es de hierro o acero con tapa hermética, posee una campana para conectar la llave de paso, un tubo de purga soldado herméticamente y un mango de inserción para montar y desmontar el anillo. En el tubo de purga se inserta un tubo de Plexiglas de 12 por 200 mm para medir la carga hidráulica (6).
- **Botella o recipiente de Mariotte.** – Es un recipiente que dispone de un mecanismo diseñado por el físico francés Edme Mariotte, el cual está diseñado para que la velocidad de salida de un fluido sea constante, para esto, el recipiente debe estar ubicado de forma vertical conteniendo un líquido (generalmente agua) lleno hasta cierta altura y encontrarse cerrado de tal forma que solo sea atravesado por un tubo abierto por ambos extremos, donde un extremo se encuentre en contacto con el líquido y el otro esté en contacto con la atmosfera, mientras que en su parte inferior el recipiente debe poseer un orificio por donde el líquido evacuará. Una vez que el orificio inferior permita la salida del agua se podrá evaluar la velocidad de salida del líquido la cual es constante (7).
- **Capacidad de campo.** – En términos generales se refiere a la cantidad de agua retenida por un suelo saturado después de 48 horas de drenaje constante; esta definición se aplica a los suelos que poseen una estructura nivelada permitiendo un drenaje relativamente rápido (1).
- **Conductividad hidráulica.** – Las mediciones de conductividad hidráulica y de permeabilidad de aire han sido ampliamente utilizadas para evaluar el efecto del manejo sobre la estructura del suelo. Mientras la conductividad depende de las características del fluido y del suelo, la permeabilidad es una propiedad exclusiva del material, por lo tanto, la permeabilidad es una característica propia del medio poroso y de la geometría de los poros (8).
- **Densidad del suelo.** – La densidad del suelo se refiere al peso obtenido por volumen del suelo existente, dentro de esta definición existen dos tipos de densidad: real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2.65. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una

densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas (9).

- **Espacio poroso.** – El espacio poroso del suelo es el volumen de suelo que no se encuentra ocupado por agregados sólidos, puesto que, por lo general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro de este espacio se pueden distinguir macro poros y micro poros donde se halla agua, nutrientes, aire y gases que pueden circular libremente o retenerse. La interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo genera un equilibrio dinámico, el cual puede ser alterado por el uso de la tierra, por los sistemas de labranza y por el manejo de los cultivos (10).
- **Estructura del suelo.** La estructura de un suelo describe la forma de agregarse o conformarse las partículas individuales de un suelo en unidades de mayor tamaño (agregados) y el espacio libre asociado a estas partículas (espacio poroso) (11).
- **Infiltración.** La infiltración el agua posee un rol fundamental en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada en una cuenca, dependiendo de su magnitud lluvias de iguales intensidades, pueden producir caudales diferentes. Así también lo es, el estudio de la recarga de acuíferos. La infiltración depende de muchos factores, por lo que su estimación confiable es bastante difícil y es imposible obtener una relación única entre todos los parámetros que la condicionan (12).
- **Límites de Atterberg.** – Los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia, se emplean para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. El nombre se debe al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916) y dichos límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad, siendo así que un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, pero al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg (13).

- **Macro poros del suelo.** - Los macro poros son los espacios de mayor tamaño entre las partículas de suelo, no retienen agua contra la fuerza de la gravedad y, por ende, son responsables del drenaje propio de un suelo, su aireación y, además constituye el espacio donde se formarán las raíces (14).
- **Materia orgánica.** - El contenido de materia orgánica (MO) del suelo hace referencia al contenido de compuestos carbonados de origen biológico, además de tener un rol fundamental en el mantenimiento de las propiedades químicas y físicas del suelo, el mismo que va más allá de su influencia sobre la fertilidad. Las estimaciones de los contenidos y balances de carbono en el suelo cobra mayor importancia en el conocimiento de los efectos naturales y antrópicos sobre la dinámica y calidad de la MO. Se considera que la MO del suelo se establece como el mejor indicador de la calidad y productividad del sistema de suelos, sin embargo, el contenido de MO no en todos los casos es un indicador válido del estado y evolución del suelo, debido a que algunos factores naturales tienen un efecto mayor sobre los equilibrios de la MO, en especial la textura del suelo y la relación temperatura-disponibilidad hídrica (10).
- **Micro poros del suelo.** - Los micro poros es donde se retiene agua y parte de la cual está disponible para las plantas (14).
- **Permeabilidad del aire.** – La permeabilidad está estrechamente relacionada con factores geométricos como la porosidad total, la distribución de los poros por tamaño, la forma del sistema poroso, la continuidad y tortuosidad de los poros del suelo. Estos factores geométricos, que pueden ser caracterizados a través de mediciones de permeabilidad de aire, son sensibles a cambios estructurales, por lo tanto, son un buen parámetro para evaluar la calidad física de un suelo (8).
- **Textura del suelo.** – La textura del suelo se refiere proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad además de afectar a la habilidad de retener agua, permitir la aireación, favorecer el drenaje, e influir en el contenido de materia orgánica y otras propiedades (15). La textura indica la proporción de las partículas fundamentales del suelo: arcilla, limo y arena, que se pueden agrupar en fina, media y gruesa, donde el diámetro de las partículas de arcilla es menor de 0.002 mm,

las de limo están entre 0.002 y 0.05 mm y las de arena son entre 0.05 y 2.0 mm. Las partículas del suelo que superan tamaño de 2.0 mm se definen como piedra y grava y también se incluyen en la clase de textura, por ejemplo, un suelo arenoso con 20% de grava se clasifica como franco arenoso con presencia de gravas (16).

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Antecedentes.

La velocidad de infiltración permite determinar el movimiento que realiza el agua desde la superficie hacia el interior del suelo por presión atmosférica en función del tiempo; éste fenómeno natural depende principalmente de los siguientes factores: cantidad de agua a infiltrar, tipo de suelo y nivel de saturación del mismo. Existen varias investigaciones que se ha dedicado a evaluar este comportamiento del líquido vital.

Investigaciones realizadas han permitido determinar la velocidad de infiltración del agua en el suelo y subsuelo, esto gracias a un ensayo en el cual se empleó un infiltrómetro de cilindro doble en cada una de las calicatas de análisis, mientras que para la clasificación de los suelos se efectuaron ensayos de granulometría y límites de Atterberg para cada muestra de suelo obtenida. El análisis de un total de 40 muestras determinó la existencia de 4 tipos de suelo, los cuales son: A-3(Arena Fina) en un 12.5% de la totalidad de las muestras investigadas. A-2-4(Gravas y Arenas Arcillosas Limosas) en un 80%. A-4(Suelos Limosos) en un 5% y finalmente A-6(Suelos Arcillosos) en un 2.5%. A través de esta investigación se han establecido los rangos de velocidad de infiltración característicos de cada tipo de suelo: para el suelo de tipo A-3(Arena Fina) la velocidad de infiltración varía entre 12 y 372 mm/h; para un suelo de tipo A-2-4(Gravas y Arenas Arcillosa Limosas) el valor fluctúa entre 12 y 264 mm/h; para el tipo de suelo A-4(Suelos Limosos) la velocidad de infiltración oscila entre 48 y 72 mm/h (17).

En otra investigación se evaluó la variación del almacenaje de agua en diferentes transeptos de suelo mediante el empleo de anillos concéntricos, cuyos resultados fueron evaluados con la ecuación de Kostiakov, mientras que las muestras fueron evaluadas para su determinación de densidad aparente por método de la probeta, humedad equivalente y punto de marchitez

permanente por el método gravimétrico. El contenido de humedad en capacidad de campo, punto de marchitez permanente y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo difieren para cada serie de suelo, así como la tasa de infiltración básica y la lámina bruta, puesto que las condiciones físicas de los suelos en una región dada no pueden establecerse “a priori” de forma generalizada la lámina de riego, la frecuencia ni la duración de los riegos a aplicar (18).

El estudio de este proceso desde la perspectiva de la medición directa consume gran cantidad de tiempo y dinero, debido a que requiere de toma de datos en intervalos que van de 1 a 5 min durante lapsos de tiempo entre 0.5 a 4 h. En otros trabajos se presenta un dispositivo capaz de reducir la demanda de tiempo e incrementar la cantidad de datos que pueden registrarse por unidad de tiempo. La unidad de automatización se acopló a un infiltrómetro portátil de carga constante y anillo sencillo, a partir de datos obtenidos automáticamente, los cuales no mostraron diferencia significativa a partir de datos obtenidos manualmente. Sin embargo, se observó una disminución de la desviación estándar del método automatizado, respecto del manual. Esta unidad de automatización permitió la adquisición de datos de infiltración útiles en la estimación de propiedades hidráulicas con una supervisión mínima (19).

En otras investigaciones se observó que el infiltrómetro de anillo simple es potencialmente adecuado para medir infiltración, son muy fáciles de construir, baratos y fáciles de automatizar. Presentan el inconveniente de generar una componente lateral del flujo acumulativo de agua que distorsiona el resultado obtenido. Es importante conocer este error para el diseño de los sistemas de riego y drenaje. Se realizaron mediciones de infiltración en suelos de textura predominantemente arenosa en el norte de la provincia de Río Negro se utilizaron infiltrómetros de anillo simple, de 21 cm de diámetro interno por 12 cm de alto, insertados 6 cm en el suelo. El agua se aplica en el interior del cilindro con un frasco invertido (frasco de Mariotte) dejando una carga hidráulica sobre el suelo de 1.5 cm. Se determinó la infiltración total en una hora de duración (20).

Una vez finalizada la medición se dejó una hora sin carga de agua, posteriormente se cavó con una pala plana a la altura central del anillo dejando una pared expuesta a la vista, para observar la forma y dimensiones del bulbo de suelo humedecido, las cuales de acuerdo a las formas y medidas obtenidas de las imágenes se determinaron las fugas por flujo lateral (FL).

La pérdida por FL fue en promedio del 24.97 % de la infiltración total sin corregir. El valor de FL aumentó con el incremento de la profundidad del humedecimiento ($R^2=0.67$), y la infiltración total ($R^2= 0.81$). la vista, para observar la forma y dimensiones del bulbo de suelo humedecido. Se tomaron fotografías digitales e hicieron mediciones del ancho y profundidad del bulbo observado. De acuerdo a las formas y medidas obtenidas de las imágenes se determinaron las fugas por flujo lateral (FL). La pérdida por FL fue en promedio del 24.97 % de la infiltración total sin corregir. El valor de FL aumentó con el incremento de la profundidad del humedecimiento ($R^2=0.67$), y la infiltración total ($R^2= 0.81$) (20).

2.2.2. Estudio de los suelos agrícolas.

El estudio de los suelos agrícolas se encuentra ajustado al estudio de varias ramas de la ciencia que se interrelacionan entre sí, no obstante, una de las ciencias que agrupa a todas estas ramas se le ha denominado Edafología, a la cual la podemos definir como la ciencia que se encarga del estudio de las diferentes propiedades del suelo que se relacionan con la productividad agrícola, así como también determina las causas y efectos de variación de la productividad agrícola relaciona con la dinámica del suelo (21).

La definición de “suelo” se empezó a bosquejarse en los tiempos en que los pueblos nómadas empezaron a asentarse en un sitio definitivo, por lo cual este asentamiento empezó a adquirir valor en la medida en que se fue requiriendo para producir alimentos; en esta etapa el suelo se concebía como el sustrato indispensable para el suministro de nutrientes, agua y de soporte para las plantas. Sin embargo, esta concepción de suelo empezó a cambiar hacia principios del siglo XIX, cuando el suelo se empezó a mirar dentro de un contexto naturalista conservacionista y a considerarse como un cuerpo natural (9).

Hacia finales del siglo XIX, Dokuchaev en 1886 propuso que el término suelo se utilizara para definir “aquellos horizontes de la roca que diaria o casi diariamente cambian sus relaciones bajo la influencia conjunta del agua, el aire y varias formas de organismos vivos y muertos”, donde adicionalmente citó al suelo como “un cuerpo natural independiente y evolutivo formado bajo la influencia de cinco factores”, dentro de los cuales él consideraba que la vegetación era el más importante (9).

El suelo es un medio poroso que presenta una fase sólida, líquida y gaseosa, dentro del cual se produce el almacenamiento y transporte de fluidos como el agua y/o el aire. La caracterización de la estructura del suelo permite conocer su capacidad de almacenamiento y conducción, sin embargo, dicha caracterización no debe realizarse solamente a través de sus volúmenes y distribución, sino que también a través de su capacidad para transmitir fluidos (8).

2.2.2.1. Textura de los suelos agrícolas.

La textura de un suelo se define como la proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo. Estas partículas presentes en los suelos se clasifican en elementos gruesos (tamaño de diámetro superior a 2 mm) y elementos finos (tamaño inferior a 2 mm), estos últimos son los utilizados para definir la textura de un suelo siguiendo la terminología establecida por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), se clasifican las partículas inferiores a 2 mm de diámetro como se observa en la Tabla 1 (22).

Tabla 1. *Tamaño de partículas que forman la textura de los suelos.*

Tipo de partícula	Diámetro (mm)
Arena muy gruesa	2.0 a >1.0
Arena gruesa	1.0 a >0.5
Arena media	0.5 a >0.25
Arena fina	0.25 a >0.10
Arena muy fina	0.10 a >0.05
Limo	0.05 a >0.002
Arcilla	<0.002

Fuente: (22)

La determinación de la textura del suelo se da en función del porcentaje de arena, limo y arcilla que se halla presente en el suelo, para esto se emplean diferentes métodos para determinar la estructura de un suelo, sin embargo, el método más empleado es mediante el uso del Diagrama textural desarrollado por la USDA, el cual corresponde a un triángulo equilátero en el que cada lado corresponde a las fracciones divididas de diez en diez, donde el valor cero corresponde al valor 100 de la anterior siguiendo el sentido horario (22).

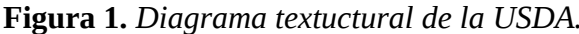


Tabla 2. Clases texturales existentes de acuerdo al diagrama textuctural de la USDA.

2.2.2.2. Estructura del suelo agrícola.

Desde el punto de vista morfológico, la estructura de un suelo es el grado, forma o modo en que las partículas integrantes de un suelo, se asocian entre sí, formando en forma natural grupos unidos sin la intervención del hombre. Los agregados son unidades secundarias o gránulos de muchas partículas de suelo enlazadas o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice. Los agregados naturales se denominan “peds” (granos) y varían su estabilidad en el agua; los terrones son masas coherentes de suelo, de cualquier forma, que se han quebrado por un medio artificial como la labranza (21). En la Tabla 3 se demuestra los tipos de estructuras más comunes de los suelos agrícolas.

Tabla 3. *Tipos de estructuras más comunes de los suelos agrícolas.*

Estructura	Característica
Granular	Relativamente no porosos; agregados pequeños (tamaño menor de 2 cm de diámetro), esferoidales, no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".
Migajosa	Relativamente porosos; agregados pequeños y esferoidales no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A"
Laminar	Agregados similares a placas; las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son menores que sus dimensiones horizontales. Las placas a menudo se superponen e impiden la permeabilidad. Se encuentran generalmente en el horizonte "A2", en suelos de bosques y estratos arcillosos.
Prismática	Agregados similares a columnas con las partes superiores no redondeadas. Otros agregados forman el molde del ped. Algunos agregados prismáticos se rompen en peds de bloques más pequeños. Se localiza generalmente en el horizonte "B"
Columnar	Posee dimensiones verticales de los agregados en posición natural mayores que sus dimensiones horizontales. Las columnas están separadas por grietas verticales y generalmente quebradas por grietas horizontales. Las cabezas de las columnas son redondeadas y se encuentran muy a menudo en el horizonte "B" en suelos alcalinos.

La estructura afecta directamente en la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, incidiendo así en la productividad de los cultivos y las facilidades de la labranza.

2.2.2.3. Coloración del suelo.

El color una de las características mayormente perceptibles de los suelos, además de ser muy importante ya que está relacionado directamente con su contenido en materia orgánica, minerales, clima o drenaje. La diferenciación entre horizontes de suelo se hace en primer lugar por el cambio de color entre horizontes, no obstante, hay algunos minerales que pueden dar al suelo su color negro, este es debido fundamentalmente a la existencia de materia orgánica (23).

El color negro de los suelos es asocia a la presencia de materia orgánica que está en proceso de descomposición permanentemente, además, se puede asociar este color a condiciones de buena fertilidad, en especial presencia de cationes tales como el Ca y Mg y K, también se relaciona con buenas condiciones físicas, buena estructuración y alta actividad biológica (24).

Los suelos rojizos se asocian a procesos de alteración de los materiales parentales bajo condiciones de alta temperatura, una baja actividad hídrica y una rápida incorporación de materia orgánica, con elevada liberación de Fe por parte de las rocas. EL color rojo es indicativo de condiciones de alta meteorización, bajos niveles de fertilidad, pH ácidos y ambientes de oxidación (24).

Por otra parte, los pigmentos de origen férricos, al contrario de lo que pasa con la materia orgánica, predominan en la parte media y baja del perfil de suelo, ya que se originan en la alteración del material parental, lo que produce que en la parte media del perfil presente unos colores brillantes en contraste con los de la parte superior. La deshidratación de los compuestos férricos genera un color rojo intenso, mientras que, al no producirse la deshidratación predominan los oxihidróxidos de color amarillo, siendo el color de los horizontes B (25).

El suelo café-rojizo es un integrado entre el rojo y el negro y presenta cantidades intermedias de minerales como cuarzo, calcita y halloysita, así como del contenido total de Al_2O_3 y P_2O_5 . En estudios de diagnóstico y caracterización, se han observado altos contenidos de MO, carbonatos, Ca extraíble con acetato de amonio y P extraíble con bicarbonato (26). Por otro lado, el color gris de los suelos llega a ser indicativo del ambiente anaerobio, debido a un suelo saturado en agua, desplazando al oxígeno de los espacios porosos. Cuando cesa la saturación con agua, las formas reducidas se oxidan, generándose colores característicos, como es el moteado anaranjado (24).

El color verde se presenta en suelos bajo condiciones de mal drenaje, mientras que el color azulado se presenta en suelos de zonas costeras, deltaicas o pantanosas, donde hay presencia del anión sulfato, y existen condiciones de reducción (saturación con agua y agotamiento del oxígeno), se forma FeS que es de color negro, con el tiempo se transforma en pirita (FeS_2) que da un color azul metálico (24).

2.2.2.4. Porosidad y densidad aparente de los suelos.

La densidad aparente está incluida dentro del grupo de parámetros para evaluar la calidad de los suelos, ya que actúa como un indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión de los agregados del suelo. Los cambios registrados en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total. La densidad aparente es el peso de las partículas sólidas en un volumen estándar de suelo no perturbado (sólidos + espacio poroso), mientras que la densidad de partículas es el peso de las partículas sólidas en volumen estándar de dichas partículas (27).

La densidad aparente afecta al crecimiento y desarrollo de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces, por lo cual es lógico que al existir un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo a disminuir, cambios que limitan el crecimiento normal de las raíces reduciéndolos hasta valores críticos (27).

Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento normal de las raíces varían de acuerdo a la textura que presenta el suelo y de la especie cultivada donde, por ejemplo, para suelos arenosos una densidad aparente de 1.76 kg/m limita el crecimiento de las raíces de girasol, mientras que en suelos arcillosos ese valor desciende a 1.46 a 1.63 kg/m para la misma especie (27).

La determinación de la densidad aparente tiene un valor extraordinario para conocer el estado físico del suelo, ya que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad debido a que varía por la acción de agentes externos e internos como por ejemplo la compactación y la dispersión de las partículas respectivamente. Se define como la relación entre masa secado (Pss) al horno de las partículas de suelo y volumen total (Vt), incluyendo el espacio poroso que ocupan (28). Para obtenerla se define la siguiente ecuación:

(Ecuación 1)

$$\partial a = \frac{Pss}{Vt}$$

2.2.3. Condiciones que limitan la fertilidad de los suelos agrícolas.

2.2.3.1. Acidificación de los suelos.

La acidificación de un suelo se define como una disminución en la capacidad de naturalización de ácido, y /o un incremento en la capacidad de neutralización de bases, y/o un incremento en la fuerza acida (pH decrece) (11). La existencia de la acidez moderada en aguas superficiales y suelos poco profundos no es algo inusual, esto se debe a que aguas lluvias con pH de 5.7 interaccionan con sustancias nocivas presentes en la atmosfera y las cuales al caer reaccionan con las rocas compuestas en su mayoría por carbonatos y silicatos dando como resultado el incremento en el pH hasta 6.5-8.5 gracias a varios minerales presentes que actúan como amortiguadores (29).

2.2.3.2. Drenaje.

2.2.3.3. El drenaje de un suelo expresa la rapidez con que puede eliminar el exceso de agua en relación con la lluvia. Existen diversos factores que condiciona el drenaje natural de los suelos, por ejemplo, la existencia de una capa impermeable a cierta

profundidad puede provocar un mal drenaje en el suelo que se halle encima de dicha capa, no obstante, esta condición puede ser evaluada observando las características del perfil con el fin de buscar una solución y evitar su encharcamiento (11).

La determinación de realizar sistemas de drenajes para suelos que no tienen la capacidad natural de escurrir el exceso de agua lluvias puede llevarse a cabo en casos extremos de inundación de cultivos, sin embargo, los canales de drenajes deben poseer dimensiones que permitan el desalojo de agua y evitar la asfixia de las raíces de los cultivos (30).

2.2.3.4. Salinización, sodificación y alcalinización de suelos.

Las sales son compuestos sólidos cristalinos formados por el enlace de partículas de carga opuesta llamados iones, de los cuales, los de carga positiva reciben el nombre de cationes mientras que los de carga negativa se llaman aniones. Los sólidos iónicos se caracterizan por su escasa dureza, elevada fragilidad y punto de fusión, además de ser solubles en líquidos de elevada constante dieléctrica como el agua (31).

Cuando las sales se disuelven forman soluciones electrolíticas conductoras de la electricidad, es por esto que, la relación existente entre la capacidad de estas soluciones para conducir la electricidad y su concentración de sales ha llevado a que la conductividad eléctrica se convierta en un parámetro que permite evaluar la concentración de sales soluciones acuosas de cualquier origen (31).

Al disolverse una sal en agua, los iones que la conforma se separan entre sí, y cada uno de ellos se relaciona con varias moléculas de agua en un proceso llamado hidratación, esta disolución se produce hasta que el potencial químico de los iones en solución se iguala al potencial químico de los iones en el cristal y cuando se alcanza este estado, se ha alcanzado el equilibrio y la solución está saturada con respecto a la sal. La concentración de iones en la solución saturada es la solubilidad de dicha sal (31).

2.2.4. Capacidad de retención de agua disponible (CRAD).

La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) es una clasificación biológica del agua del suelo que se considera como inmediatamente disponible para el aprovechamiento de las plantas; esta agua retenida puede presentarse de dos maneras en el suelo que algunos autores han considerado de *quasi-equilibrio* denominada capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente (31).

De todas las pérdidas de agua que ocurren desde las fuentes de abastecimiento hasta las parcelas, la filtración en los canales y la percolación profunda en las parcelas son más importantes; estas últimas pérdidas se realizan en dos formas: sin cambio de la humedad debajo de la zona radical y cuando se manifiesta un cambio de la humedad debajo de dicha zona. La suma de ambas formas de pérdidas constituye las pérdidas totales por percolación profunda (32).

2.2.4.1. Punto de saturación.

A medida que va descendiendo el agua, se va rellenando todos los poros o huecos existentes entre las diferentes partículas, expulsando el aire y demás gases que pudiera haber, ha esto se le conoce como saturación total, no es permanente ya que existen poros mayores, que no dejando un hueco que es ocupado por aire, con lo que se renueva la atmosfera inferior del suelo (33).

2.2.4.2. Capacidad de campo.

Se considera como el contenido de agua en el suelo después de 48 horas de un riego o de una lluvia abundante. En un suelo saturado, el exceso de agua se elimina por gravedad, es decir, el agua que ocupa, los poros grandes caen al subsuelo por su propio peso. Se dice que un suelo tiene su capacidad de campo cuando se ha eliminado por gravedad el exceso de agua. Entonces ocurre que el agua los poros pequeños y el aire ocupa una gran parte del espacio de los poros grandes (34).

2.2.4.3. Punto de marchitez permanente.

A partir de la capacidad de campo, el agua del suelo se va perdiendo progresivamente por evaporación y transpiración por las plantas. Llega un momento en el que las plantas ya no pueden absorber agua y se marchitan. El suelo contiene todavía una cierta cantidad de agua que la planta no puede utilizar (34).

La forma de humedad del agua del suelo puede clasificarse en una serie de términos diferentes, ya sea desde un punto de vista físico o desde el punto de vista agronómico (23).

2.2.4.4. Agua gravitacional.

Es el agua libre del suelo, que no está retenida y fluye lentamente por los poros comprendidos entre 8 y 30 micras de diámetro, mientras que el agua gravitacional de flujo rápido es la que circula por poros mayores de 30 micras, en función de su velocidad de circulación (23).

2.2.4.5. Agua higroscópica.

El agua higroscópica o molecular es la fracción del agua absorbida directamente de la humedad del aire. Esta se dispone sobre las partículas del terreno en una capa de 15 a 20 moléculas de espesor y se adhiere a la partícula por adhesión superficial (35).

2.2.4.6. Agua infiltrada.

La infiltración es el flujo de agua de la superficie del suelo hacia abajo, primero en la zona de las raíces, y después en el subsuelo. El agua se infiltra en el suelo por los poros, grietas u orificios entre las partículas y los agregados de partículas de tierra; mientras que la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, depende de la velocidad de infiltración y del tiempo disponible para este proceso. La velocidad de infiltración depende principalmente de la estructura del suelo y, por lo tanto, de su textura, su contenido de materia orgánica y de la labranza (36).

2.2.4.7. Escorrentía.

Es la cantidad de agua que no se infiltra en el suelo, y que fluye sobre la superficie del terreno, proceso que es causado por una precipitación pluvial mayor que la infiltración (36). Este fenómeno ocurre principalmente en las laderas durante una o varias lluvias que superan la capacidad de almacenaje de agua del suelo. Es poco común que el flujo de agua presente una forma de lámina de agua de profundidad uniforme, sino más bien, se presenta como una masa trenzada de cursos de agua que no tienen canales marcados (37). Debido a la escorrentía las partículas son transportadas hacia otros lugares formando a su paso socavaciones o rugosidades del agua entonces inicia el proceso de sedimentación, depositándose en primer lugar los sedimentos gruesos y luego los finos (38).

2.2.5. Métodos de evaluación de la humedad del suelo.

2.2.5.1. Método visual y táctil del suelo.

Este método es uno de los más antiguos utilizados para estimar el contenido de humedad de un suelo. Consiste en la inspección visual y táctil de la muestra del suelo. Por lo general se utiliza cuando no se cuenta con equipo de mayor precisión o se requiere una determinación rápida de la humedad del suelo. Se requiere bastante experiencia para estimar con cierto grado de precisión el contenido de agua disponible el suelo (39).

2.2.5.2. Tensiómetro.

Consiste en una cedula (Capsula cerámica) de material poroso, saturada de agua y en intimo contacto con el suelo a la profundidad a la que se requiere realizar la medida. La cedula se halla colocada en el extremo de un tubo totalmente lleno de agua por su otro extremo está conectado por un manómetro de agua por su otro extremo está conectado por un manómetro de agua o de mercurio, a un vacuómetro o a un transductor de presión electrónico. El tubo tiene cierre hermético, para realizar la medida se debe esperar a que se produzca la humectación de la parte exterior de la capsula porosa y se alcance el equilibrio con el agua del suelo (11).

La capsula poroso debe estar en intimo contacto hidráulico con el suelo que la rodea para que las medidas sean correctas. En estas condiciones permanecerá prácticamente saturada

de agua, permitiendo la difusión de agua con sus solutos. El potencial osmótico dentro y fuera de la célula es el mismo, por lo que puede ser ignorado al analizar el proceso. Al salir agua se crea una depresión dentro del tensiómetro, que mide el manómetro o un vacuómetro (11).

2.2.5.3. Método gravimétrico.

Consiste en la determinación de la humedad másica por pérdida de peso tras mantener la muestra a 105 °C por 24 horas, hasta peso constante, constituye el método de referencia para todos los demás (39).

2.2.6. Metodología de caracterización de la estructura del suelo.

2.2.6.1. En campo.

El proceso de caracterización de la estructura del suelo en el campo consiste en describir los tres parámetros que la califican, es decir: el tipo, la clase y el grado de desarrollo que presente. Esta labor se hace siguiendo las especificaciones establecidas en la Tablas; la calificación de estos parámetros para un suelo describe aquellos agregados que son dominantes en él. El grado de la estructura se estima observando la nitidez con que están definidos los peds, como unidades, así como la resistencia que ofrecen a ser separados cuando se someten a presión entre los dedos pulgar e índice; para caracterizar esta propiedad se usan términos relativos como débil, moderada y fuerte, para indicar la menor o mayor resistencia que ofrece el peds a su destrucción (40).

2.2.6.2. En laboratorio.

Aunque para la mayoría de los fines prácticos, la definición de la estructura en el campo provee suficiente información, en el laboratorio puede someterse una muestra del suelo a un análisis que amplíe este conocimiento. Lo más común es hacer un análisis de distribución de tamaños de agregados haciéndole un tamizado que permita separar los agregados que componen el suelo en varios grupos por tamaño y establecer el porcentaje que corresponde a cada grupo. Este procedimiento es especialmente útil cuando se quieren comparar y evaluar

diferentes prácticas de manejo en su efecto sobre el suelo o cuando se desea conocer el grado de deterioro físico del suelo que han producido dichas prácticas al ser utilizadas durante períodos de tiempo relativamente largos, ya que este análisis es adecuado para estimar la susceptibilidad del suelo a la erosión eólica (40).

2.2.7. Evaluación de la textura del suelo en el campo.

Esta determinación es bastante importante en trabajos de reconocimiento de suelos, donde hay que realizar gran número de observaciones y de descripciones de perfiles de suelos, en períodos de tiempo cortos, que no dan espera para llevar a cabo determinaciones en el laboratorio, puesto que, los altos costos implicados no hacen viable esa posibilidad, además, es importante este método para caracterizar la textura de suelos difíciles de dispersar, como son los Andisoles o los Oxisoles, ya que se considera que para muchos suelos de estos órdenes la textura determinada al tacto es más confiable, que la determinada en laboratorio por los métodos convencionales (41).

Este método consiste en establecer la clase textural del suelo, basada en la observación de la respuesta de éste al ser sometido a manipulación en diferentes estados de humedad, la cual está directamente relacionada con la proporción en que están presentes los diferentes separados que lo componen (41). Las principales propiedades de los separados del suelo, que resultan útiles para evaluar su textura al tacto, son las siguientes:

2.2.7.1. Propiedades del separado arena.

Si está presente en grandes cantidades o lo está en granos muy gruesos, las partículas individuales se pueden ver y separar fácilmente. Cuando se frota la muestra entre el pulgar y el índice, se siente áspero y grueso y cuando esta operación se repite cerca del oído, el ruido producido por la fricción de los granos de arena entre sí, se hace fácilmente audible. (42)

Adicionalmente si un poco de suelo se mezcla con agua en la palma de la mano y se frota con el dedo índice de la mano opuesta, se sentirá áspero y grueso, esta prueba permite diferenciar pequeñas cantidades de arena en la muestra. Al saturarse con poca cantidad de

agua y se seca rápidamente al aire la muestra ya seca se disgrega. No presenta pegajosidad (42).

2.2.7.2. Propiedades del separado limo.

La cualidad más característica es su apariencia suave, sedosa en estado húmedo y su apariencia polvosa en estado seco, puesto que, al estrujar un poco de limo húmedo entre el pulgar y el índice se nota como se enrolla al secarse, dejando la superficie de la piel limpia. El limo es muy fino para impartir una cualidad áspera al suelo, excepto el limo grueso, el cual es difícil de distinguir de la arena muy fina, pero no es pegajoso y es muy poco plástico por lo que se pueden distinguir, además no retiene la humedad por largos períodos de tiempo (41).

2.2.7.3. Propiedades del separado arcilla.

Una de las características más notables es cuando se le agrega agua ligeramente en exceso, se siente jabonosa y resbaladiza, además si se “amasa” y se trabaja en el estado plástico, forma cintas y rollos finos, firmes y dúctiles. Estrujando un poco de arcilla humedecida entre el pulgar y el índice, se nota que aparece suave y lisa; a medida que se seca se adhiere a la piel, ya que es más adhesiva, cohesiva, pegajosa y plástica que el limo. La cualidad cohesiva de la arcilla puede descubrirse, aun cuando ésta se encuentre en pequeñas cantidades puesto que, retiene mucha humedad y se demora para secarse; además cantidades relativamente pequeñas de arcilla son suficientes para impartir cualidades plásticas al suelo (41).

Algunas de las propiedades que se observan para establecer la clase textural de un suelo al tacto son: la sensación que se produce al frotar la muestra entre los dedos, la facilidad de formar cintas y bolas con la muestra y la firmeza de ellas, así como la adhesividad o pegajosidad de la muestra al ser sometida a compresión entre los dedos y posteriormente al ser liberada esta compresión (41).

2.2.8. Descripción del proceso de infiltración.

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores, dentro de la cual intervienen muchos factores del suelo que afectan el control de la infiltración, así como también controlan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración (43).

La capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo” es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica. Mientras la velocidad de aporte de agua a la superficie del suelo sea menor que la infiltrabilidad, el agua se infiltra tan rápidamente como es aportada y la velocidad de aporte determina la velocidad de infiltración (o sea, el proceso es controlado por el flujo), sin embargo, una vez que la velocidad de aporte excede la infiltrabilidad del suelo es ésta última la que determina la velocidad real de infiltración; de ese modo el proceso es controlado por las características del perfil Gurovich (44).

En este contexto, la infiltración acumulada, es la integración en el tiempo de la velocidad de infiltración, con una dependencia curvilínea del tiempo y una pendiente que decrece gradualmente. La infiltrabilidad del suelo y su variación en el tiempo dependen del contenido de agua inicial y de la succión, así como de la textura, estructura y uniformidad (o secuencia de los estratos) del perfil del suelo. Kostiakov, en 1962, fue el primero que propuso el uso de una ecuación empírica, para la velocidad de infiltración expresada normalmente en unidades de longitud por unidad de tiempo (45).

La capacidad de infiltración de un suelo está en directa relación con la generación de escurrimiento superficial, y otros procesos de erosión hídrica. Los suelos sin estructura definida, así como los suelos de estructura granular, por lo general poseen una alta capacidad de infiltración, es decir que son menos susceptibles a la erosión laminar. Por otro lado, los suelos de estructura masiva y plateada son más fáciles de erosionar, pues poseen tasas de infiltración menores (46).

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia y del agua en movimiento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos, como los sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (37).

La cobertura vegetal actúa contra la erosión de la siguiente manera: 1) resta caudal de precipitación susceptible de golpear la superficie o de producir escorrentía mediante la interceptación. 2) contrarresta el impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie, evitando dispersión del material y el encostramiento de la superficie. 3) favorece la infiltración del agua al estructurar el suelo. 4) la retención de la humedad favorece la infiltración. 5) la vegetación aglutina el suelo con sus raíces (47).

La eficacia de una cubierta vegetal para reducir la erosión por impacto de las gotas de lluvia depende, principalmente de la altura y continuidad de la vegetación, y de la densidad de cobertura del suelo. La altura de la vegetación es importante porque las gotas de agua que caen desde 7 m pueden alcanzar más del 90 % de su velocidad terminal, más aún, cuando las gotas de lluvia interceptadas por la cubierta, pueden unirse a otras en las hojas aumentando de tamaño y haciéndose más erosivas (37).

2.2.8.1. Infiltrómetros de tensión.

Permiten realizar una caracterización amplia de distintas propiedades hidrofísicas, importantes para entender el flujo del agua en el suelo, ya que, a partir del análisis detallado de los datos obtenidos con este tipo de dispositivos pueden derivarse propiedades como la conductividad hidráulica saturada, la conductividad hidráulica insaturada, la porosidad efectiva del suelo y la proporción del flujo de infiltración para diferentes tamaños de poro (48).

Los infiltrómetros de tensión pueden medir el flujo de agua que entra al suelo, eliminando la influencia del flujo preferencial que usualmente se presenta en condiciones saturadas. De esta forma es posible caracterizar la capacidad de conducción de agua de poros de distinto tamaño, incluyendo los macro y meso poros activos (48).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

El presente proyecto se llevó a cabo, en la Finca experimental La María, perteneciente a la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizada en el Km 7.5 vía Quevedo – El Empalme, cantón Mocache, provincia de Los Ríos. Las condiciones meteorológicas de la finca La María se presentan en el Tabla 4.

Tabla 4. *Condiciones meteorológicas.*

Parámetros	Promedios
Temperatura (°C)	25.3
Humedad Relativa (%)	82.0
Heliofanía (horas luz/año)	1041.1
Precipitación (mm/año)	3229.3
Zona ecológica	Bosque Húmedo Tropical bh-T

Fuente: (49).

3.2. Tipo de investigación.

La investigación desarrollada fue de tipo experimental, descriptiva, donde se estableció la velocidad de infiltración de los suelos de la Finca Experimental La María en relación al contenido de humedad del suelo y la evaluación de tres infiltrómetros.

3.3. Métodos de investigación.

Los métodos utilizados en la investigación fueron analíticos, observación directa del fenómeno de infiltración y de síntesis de los datos recopilados; el método analítico se empleó en la determinación de humedad del suelo, el método de observación y de síntesis permitió tomar las muestras en diferentes áreas del lugar de estudio, y por medio de los sentidos se obtuvieron resultados de la estructura del suelo.

Se determinó la textura y estructura del suelo mediante análisis de suelo elaborado en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Pichilingue (Anexo 1).

3.4. Fuentes de información.

3.4.1. Fuentes primarias.

Las fuentes primarias correspondieron a los datos y experiencias obtenidas directamente de la observación de los fenómenos ocurridos durante el proceso investigativo en el área de campo, los cuales fueron registrados para su posterior análisis estadístico e interpretación durante el trabajo de oficina.

3.4.2. Fuentes secundarias.

Las fuentes secundarias suministraron la información literaria necesaria para la estructuración del documento, esta fue registrada de las diferentes fuentes disponibles como el internet, revistas científicas, libros.

3.5. Diseño de la investigación.

Para esta investigación se planteó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) donde los tratamientos (infiltrómetros) fueron distribuidos dentro de 9 bloques respondiendo al criterio de bloqueo por periodo de infiltración. Este diseño experimental responde al siguiente modelo matemático:

(Ecuación 2)

$$\gamma_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

γ_{ijk} Variable dependiente o variable de respuesta

μ Efecto de la media general

τ_i Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j Efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ijk} Error experimental del tratamiento

Se empleó un análisis de varianza para las observaciones obtenidas, el mismo que se detalla en la Tabla 5 a continuación.

Tabla 5. Esquema del análisis de varianza.

F.V.	G.L.	S.S.	C.M	F
Tratamientos	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y} \dots)^2$	$SS_{Strat}/(t - 1)$	$\frac{CM_{trat}}{CM_{error}}$
Bloque	$b - 1$	$t \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{j.} - \bar{y} \dots)^2$	$SS_{Strat}/(b - 1)$	$\frac{CM_{bloques}}{CM_{error}}$
Error	$(t - 1)(b - 1)$	$\sum \sum (y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{j.} + \bar{y} \dots)^2$	$SS_E/(t - 1)(b - 1)$	
Total	$bt - 1$	$\sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{y} \dots)^2$		

Los tratamientos evaluados para el efecto del presente ensayo investigativo se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Tratamientos.

Tratamientos
T1 Anillo infiltrómetro simple
T2 Anillo infiltrómetro doble
T3 Anillo infiltrómetro doble con reservorio de Mariotte

3.6. Instrumentos de investigación.

3.6.1. Variables bajo estudio.

3.6.1.1. Caracterización de los suelos.

Se efectuó una caracterización física (textura y estructura) del suelo en estudio, para lo cual se recolectaron dos muestras compuestas y se realizaron los análisis de suelo respectivos en el laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas del INIAP.

3.6.1.2. Contenido de humedad inicial.

Se efectuó un análisis gravimétrico que permitió determinar el contenido de humedad de las muestras de suelo recolectadas, el cual consiste en obtener una muestra de 100 g de suelo llevarlo a laboratorio realizar el pesaje de suelo húmedo luego introducirlo en la estufa por 24 horas a una temperatura de 105 a 110 °C durante 24 horas luego sacamos la muestra y volvemos a pesar para obtener el peso del suelo seco, aplicamos la fórmula para determinar la humedad gravimétrica en porcentajes.

(Ecuación 3)

$$\theta_g = \frac{Ma}{M_{ss}} \times 100$$

Donde:

θ_g Humedad gravimétrica (%)

Ma Masa de agua

M_{ss} Masa de suelo seco

3.6.1.3. Velocidad de infiltración.

Esta variable evaluó mediante el uso de las tres técnicas más comunes existentes (infiltrómetros de anillo simple, doble y botella de Mariotte) obteniendo datos de velocidad de infiltración de agua en mm/min. El registro de las mediciones, se realizó en base a una tabla con distintas alturas de agua en el cilindro, a intervalos periódicos, de modo de registrar intervalos a los 5, 10, 20, 30, 45, 60 y 90 minutos.

Los infiltrómetros fueron colocados en el suelo, al cual previamente se le retiró toda cobertura presente con el fin de obtener un contacto directo del agua con el suelo. Los infiltrómetros se colocaron con la ayuda de un martillo y posteriormente se les colocó agua en su interior para proceder a registrar el descenso del nivel de agua gracias a la cinta métrica adherida al interior de los anillos. Para el caso del infiltrómetro de Mariotte, el agua infiltrada se registró gracias al nivel milimetrado que este instrumento posee por defecto.

3.7. Tratamiento de los datos.

Los resultados experimentales se analizaron empleando un análisis de varianza para las velocidades de infiltración mediante el empleo de un Software estadístico libre, mientras que las diferencias significativas de las medias fueron comparadas usando la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Recursos humanos.

La presente investigación contó con la intervención de los recursos humanos conocedores de la materia como es el Ing. Víctor Godoy en calidad de director del proyecto de investigación, el Ing. Edison Rodriguez como apoyo externo, y el Sr. Joffre Ortiz como su el autor de la presente investigación.

3.8.2. Materiales.

- Barreno
- Anillos Infiltrómetros
- Botella de Mariotte
- Martillo
- Cronómetro
- Estanque de agua
- Regla milimétrica
- Crisoles

3.8.3. Equipos.

- Balanza analítica
- Estufa

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados y discusión.

4.1.1. Caracterización del suelo.

De acuerdo al análisis de suelo realizado por el Laboratorio de suelos, tejidos vegetales y aguas del INIAP (Anexo 1), la textura del suelo estuvo conformada por un 34-36% de arena, 50% de limo y 14-16% de arcilla, dando como clase textura final un suelo Franco-limoso. La densidad aparente de este tipo de suelo se situó en 0.93 g/cm^3 .

Estudios realizados en el Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Los Ríos, demuestra la existencia de una gran diversidad de suelos del orden Inceptisoles, Alfisoles, Mollisoles, Vertisoles, Entisoles y Alfisoles, cuya densidad aparente supera los 0.8 g/cm^3 , la cual representa un índice de la masa seca de partículas en un volumen total de suelo, incluyendo partículas y espacio poroso que varía de acuerdo a la textura; se reportan que los suelos francos arenoso registran valores de 1.5 g/cm^3 , valores por encima de los registrado en la presente investigación demostrando un suelo propio de sistemas de labranza intensiva (50).

4.1.2. Contenido de humedad inicial.

El contenido de humedad inicial presente en el suelo presentó diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en cuanto a la característica física del suelo, donde en su parte plana alcanzó 13.33 % de humedad gravitacional, en comparación son el suelo en pendiente y bajo con 11.33 y 9.67 % respectivamente. La humedad presente guarda una relación inversa, puesto que como se observa en la Figura 2, a medida que la densidad aparente del suelo se reduce, el contenido de humedad aumenta, demostrando un coeficiente de determinación significativo ($R^2 = 0.61$).

Ingaramo *et al.* (51) en sus investigaciones demostraron que el contenido de humedad varía de acuerdo a las características espaciales de un suelo determinado, existiendo un mayor contenido de humedad en suelos planos debido a su característica que le permiten retener una mayor cantidad de agua en su estructura; del mismo modo, establecen que por lo general que los suelos bajos al sufrir periódicamente de inundaciones presentan una estructura más

compacta lo que limita la capacidad de almacenaje de agua presentándose problemas en época seca como el resquebrajamiento de sus horizontes superficiales.

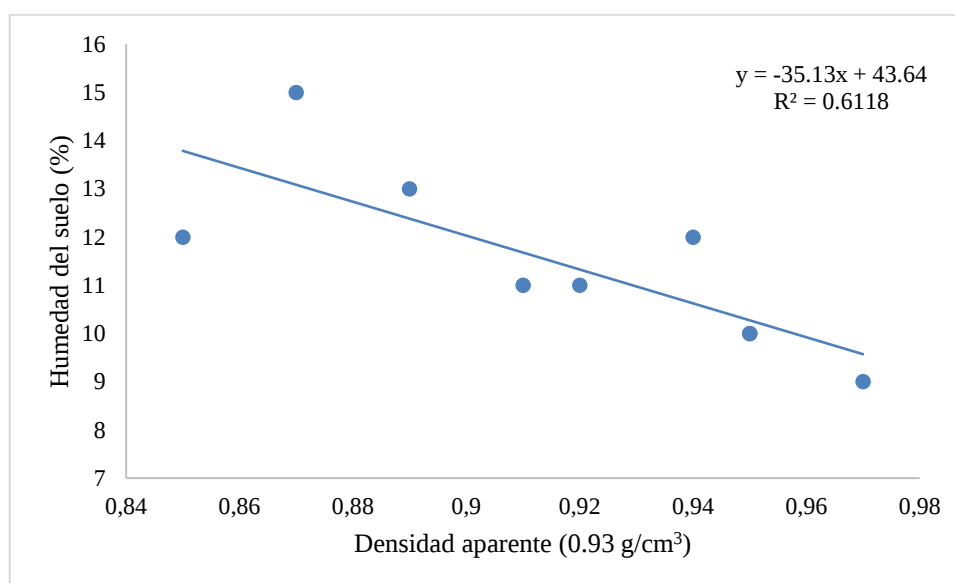


Figura 2. *Relación entre el contenido de humedad y la densidad aparente del suelo de un predio de la Finca Experimental La María, 2018.*

En términos generales la densidad aparente está estrechamente ligada al uso del suelo, puesto que al existir antecedentes de cultivos sembrados en labranza convencional aumenta la posibilidad de la existencia de agregados más sueltos en el suelo, una mayor capacidad e aireación y retención de agua, así como un drenaje más eficiente, sin embargo, estudios realizados por Hincapié y Tobón (52), demuestran que la densidad aparente se relaciona estrechamente con las partículas de arcilla presentes en el suelo más que con las labores que allí se realizan, así como el cambio en la distribución de los agregados entre los horizontes, modificando las propiedades hidráulicas del suelo.

4.1.3. Velocidad de infiltración.

En la Tabla 7 se presentan los valores promedios de infiltración de agua de acuerdo al tipo de infiltrómetro empleado para cada tratamiento. Se puede observar que el infiltrómetro de la Botella de Mariotte presentó coeficientes de variación inferiores a los obtenidos para los demás métodos de evaluación.

Tabla 7. Tasa de infiltración de agua de acuerdo al tiempo de exposición y a los infiltrómetros empleados en un predio de la Finca Experimental La María, 2018.

Tiempo (min)	Infiltración (mm/h)		
	T1	T2	T3
5	373.71	387.43	150.86
10	269.14	243.43	128.57
20	166.29	132.86	71.14
30	139.14	92.57	67.70
45	111.43	75.43	44.57
60	118.29	62.86	38.90
90	100.00	48.29	33.43

T1: Anillo simple; T2: Anillo doble; T3: Infiltrómetro de Mariotte

El método de la Botella de Mariotte registró las menores mediciones, lo cual determina su eficiencia al evaluar la capacidad del suelo para drenar agua, esto debido al mecanismo que presenta este infiltrómetro ya que, de acuerdo a Cortes *et al.* (7), este mecanismo permite un flujo constante de agua explicado por un balance de fuerzas sobre una partícula de fluido que se mueve a través de una línea de corriente, simulando el suministro natural de agua por parte de la lluvia.

Rojas y Sáenz (53), evaluaron métodos de determinación de velocidad de infiltración y densidad aparente en suelos bajo labranza convencional mediante valoración de la variabilidad de los datos registrados por cada método, estableciendo que los métodos de cilindro doble y probeta presentaron menor coeficiente de variación con 5.87 y 3.68 % respectivamente, por debajo del 34.58% alcanzado por el anillo simple.

En las Figuras 3, 4 y 5, se puede observar la curva de infiltración de un predio de la finca experimental La María, de acuerdo a los métodos de valoración de la infiltración empleados en la presente investigación.

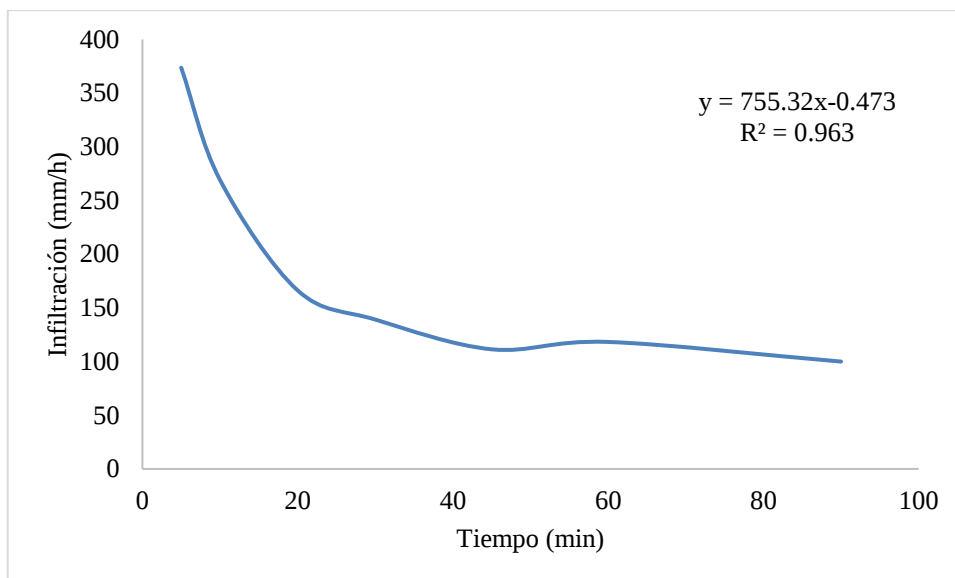


Figura 3. Curva de infiltración registrada para el método de anillo simple en un predio de la Finca Experimental La María, 2018.

La figura 3 muestra la curva de infiltración registrada para el método de anillo simple con una tendencia potencial, donde se observa que al realizar el análisis de los valores de infiltración se obtuvo un valor de $R^2 = 0.96$ demostrando un alto ajuste. El modelo explica que existe un decrecimiento aproximado del 47% ($b = -0.473$) de los valores de infiltración conforme aumenta el tiempo de evaluación.

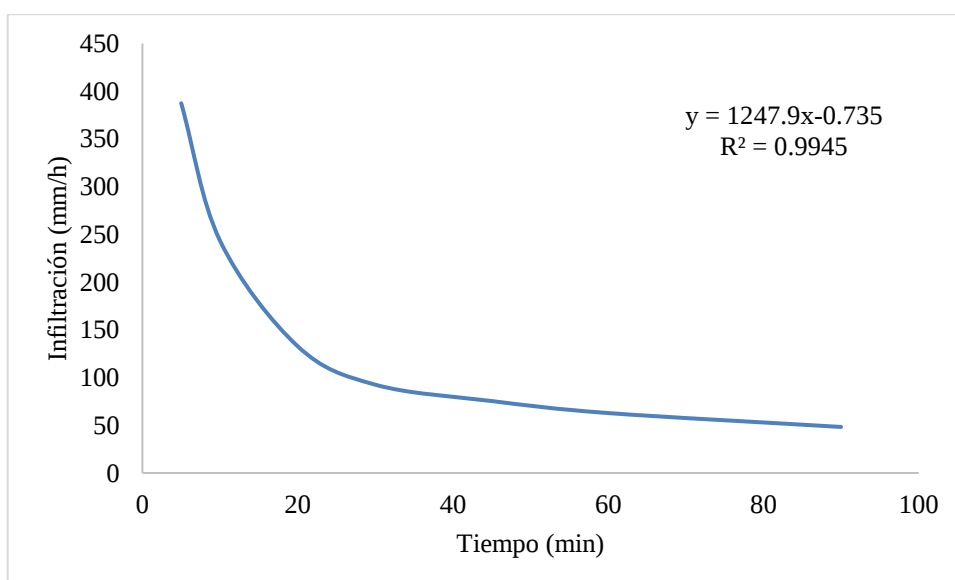


Figura 4. Curva de infiltración registrada para el método de anillo doble en un predio de la Finca Experimental La María, 2018.

Se puede observar en que la figura 4 presenta una menor tasa de infiltración en comparación con la presentada en la figura 3, respondiendo específicamente a las características del método empleado, puesto que el infiltrómetro con anillo doble permite realizar una lectura más acertada al presentar un anillo externo que evita q la columna de agua infiltrada en el anillo interno derive perpendicularmente y pueda infiltrarse de forma vertical.

La curva registrada para el método de anillo doble presenta un valor de $R^2 = 0.99$ demostrando un alto ajuste. El modelo explica que existe un decrecimiento aproximado del 73% ($b = -0.735$) de los valores de infiltración conforme avanza el tiempo de valoración.

Vaca (54), demuestra en su investigación que la infiltración en suelos se ve influenciada por las labores culturales que en este se realizan, siendo relativamente proporcional a la granulometría y la textura; del mismo modo expresa que la velocidad de infiltración se ve notablemente reducida al llegar el agua a horizontes potencialmente ricos en arcilla.

La Figura 5 presenta la curva de infiltración de agua de acuerdo al método de la botella de Mariotte, donde se observa un valor de $R^2 = 0.99$ demostrando un alto ajuste de la recta. El modelo explica que existe un decrecimiento aproximado del 54% ($b = -0.542$) de los valores de infiltración conforme aumenta el tiempo de infiltración.

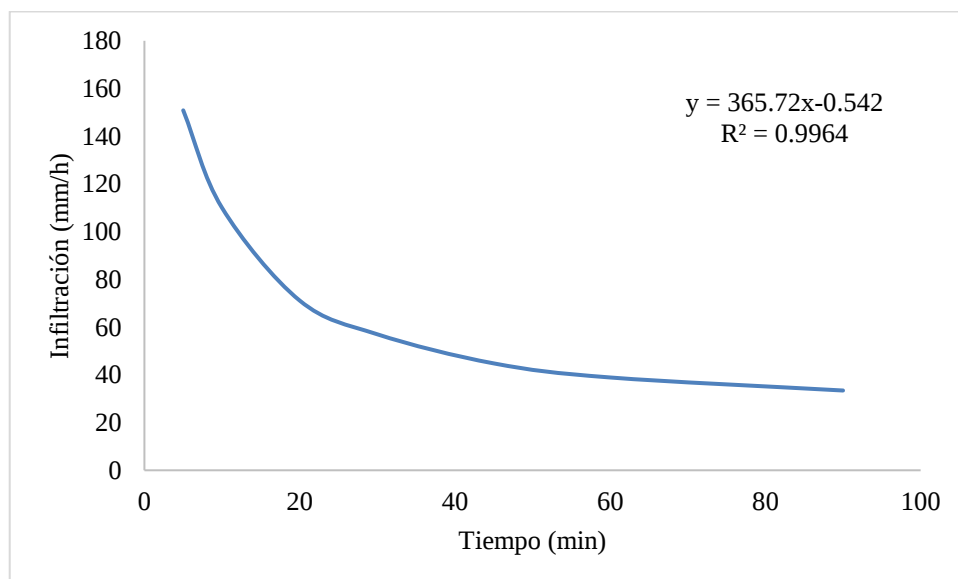


Figura 5. *Curva de infiltración registrada para el método de infiltrómetro de Mariotte en un predio de la Finca Experimental La María, 2018.*

Estos valores obtenidos de la curva de infiltración concuerdan con los resultados publicados por Salazar (55), quien determinó que la curva de la tendencia de infiltración, al emplear un modelo potencial explica un 85 por ciento de los datos obtenidos ($R^2=0.85$), de todos los sitios en el área de estudio, además de reflejar un decrecimiento de la tasa de infiltración aproximado a un 11 por ciento ($b=0.1103$) y un intercepto inicial de 49.7 cm/h ($a=49.692$); estos resultados implican que el suelo exhibirá valores que alcanzan tasas de infiltración constantes en corto tiempo, al considerar que un decremento del 10 por ciento a través del tiempo, de un período al otro (5 min), se considera una infiltración constante en un modelo típico del proceso.

La Tabla 8 demuestra el promedio de infiltración de acuerdo a los infiltrómetros empleados en la investigación, donde el método de anillo simple registró una media de 103.11 mm/h en comparación con la Botella de Mariotte que alcanzó una velocidad media de 38.76 mm/h. el coeficiente de variación alcanzado fue de 21.8%.

Tabla 8. *Promedio de infiltración registrada de acuerdo al método de infiltración en un predio de la Finca Experimental La María, 2018.*

Infiltrómetros	Velocidad de infiltración (mm/h)
Anillo simple	103.11 a
Anillo doble	85.14 a
Botella de Mariotte	38.76 b
C.V. %	21.8

Hincapié y Tobón (52), ciertamente establecen que el movimiento del agua se ve influido por las condiciones del suelo, ya que este determina la magnitud de procesos hidrológicos como la infiltración, escorrentía superficial y subsuperficial; adicional a esto, otros factores como la presencia de capas impermeables, cambios significativos en las propiedades hidrofísicas de los horizontes del perfil del suelo, también influyen en el movimiento del agua en el suelo.

Osuna y Padilla (56), demostraron que existe una relación muy estrecha entre el escurrimiento superficial y la infiltración, capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y la distribución de la intensidad de la lluvia durante la época invernal, debido a que, en condiciones normales, el escurrimiento se genera cuando la intensidad de la lluvia es mayor

que la velocidad de infiltración, no obstante, previo a este suceso o desde el momento de su intervención con la superficie de la gota de lluvia, se presenta erosión por salpicado. Adicionalmente, el escurrimiento presenta una capacidad de desprendimiento y transporte (arrastre) de las partículas sólidas, a cuya acción el suelo responde con una resistencia en función del “status” de sus propiedades físicas.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Se obtuvo una textura Franco-limosa con una densidad aparente de 0.93 g/cm^3 y una humedad inicial promedio del 13% en suelos de un predio de la Finca Experimental La María.
- Se determinó que de las metodologías evaluadas para la valoración de la velocidad de infiltración del agua el método de la botella de Mariotte alcanzó un mayor ajuste del coeficiente de determinación, demostrando su efectibilidad.
- La mayor velocidad de infiltración se obtuvo mediante el método de anillo simple, mientras que la lectura más baja se alcanzó con el infiltrómetro de Mariotte.

5.2. Recomendaciones.

Emplear el método de la botella de Mariotte para la determinación de la velocidad de infiltración en suelos de la zona de Mocache gracias a su efectividad.

Valorar el efecto de los cultivos establecidos en estos suelos sobre la velocidad de infiltración de agua.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. Referencias bibliográficas.

1. Shaxson S, Barber R. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal Roma: Boletín de Suelos de la FAO; 2005.
2. Neris J. Capacidad de infiltración de los suelos de la Isla de Tenerife: Evaluación de los factores implicados. Revista FLAMMA. 2011 marzo; 3(1): p. 51-54.
3. Calle K, Proaño J. Determinación de las curvas de retención de humedad para los principales tipos de suelo de la Península de Santa Elena, Provincia del Guayas. In X Congreso Ecuatoriano del Suelo; 2003; Guayaquil. p. 25.
4. Moreno L, Fernandez MA, Rubio JC, Calaforra JM, López J, Beas J, et al. La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno fundamentos y casos prácticos Madrid: IGME; 2003.
5. Alvarez A, Sastre A, Gutierrez A, Carral P. Tendencias observadas en el estudio de curvas de infiltración de suelos. Revista del Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. 2008; 1(1): p. 1-8.
6. Gómez A, Gómez AF, Batlle J, Zepeda H, Guevara M, Maldonado S, et al. Conductividad hidráulica saturada de campo: uso de un infiltrómetro de carga constante y anillo sencillo. Terra Latinoamericana. 2008 Junio; 26(4): p. 287-297.
7. Cortes LD, Morales FM, Orozco YC, Perez NG, Ruiz MA. Botella de Mariotte. Revista de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. 2012 septiembre; 1(1): p. 1-6.
8. Dorner J, Dec D. Air permeability and saturated hydraulic conductivity as a tool for the functional characterization of soil pores. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. 2007; 7(2): p. 1-13.
9. Jaramillo D. Introducción a la ciencia del suelo Medellin, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2002.
10. Galantini JA, Iglesias JO, Maneiro C, Santiago L, Kleine C. Sistema de labranza en el sudoeste bonaerense: Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio

poroso del suelo. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 2006 abril; 35(1): p. 15-30.

11. Porta L, Lopez R, Ponch R. Introducción a la Edafología. 2nd ed. España: Mundi Prensa.; 2011.
12. Pizarro R, Flores JP, Sangueza C, Martinez E. Curvas de infiltración. Segunda ed.: SOCIEDAD ESTÁNDARES DE INGENIERÍA PARA AGUAS Y SUELOS; 2012.
13. Flores S, Bergara M, Jara J, Gallo C, Carrasco K. Granulometría y límites de Atterberg: Universidad Católica Santo Toribio de Mogroviejo; 2010.
14. Rucks L, García F, Kaplán A, Ponce de León J, Hill M. Propiedades Físicas del suelo Montevideo: Facultad de Agronomía Universidad de la República; 2004.
15. Matus F, Maire C. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. Revista Agricultura Técnica. 2000 abril; 60(2): p. 112-126.
16. FAO. Guía para la descripción de suelos. 4th ed.; 2006.
17. Anangón M. Velocidad de infiltración del agua en el subsuelo de los barrios San Antonio de Padua y San Antonio vía a Baños, pertenecientes a la parroquia Juan de Velasco del cantón Riobamba, asociado a la granulometría y a la textura de sus componentes. Primera ed. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo; 2016.
18. Currie H, Sosa O, Pasamano H, Virt L. Variación del almacenaje y estrategias de riego para algunas series de suelo del Dpto. General San Martín, Chaco. Agrotecnia. 2010; 1(20): p. 22-27.
19. Gómez A, Gutierrez J, Zepeda H. Dispositivo de automatización para un infiltrómetro de campo con funcionamiento de Mariotte. Terra Latinoamericana. 2010 Junio; 28(3): p. 193-202.

20. Godagnone R, Irurtia C, Holzmann R, Cuenca M. Perdidas de agua por flujo lateral en un infiltrometro de anillo simple. In XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo; 2012; Mar del Plata. p. 6.
21. Cisneros R. Apuntes de la materia de Riego y Drenaje. Primera ed. San Luis de Potosi: Universidad Autonoma de San Luis de Potosí; 2012.
22. Gisbert J, Ibáñez S, Moreno H. La textura de un suelo. Revista ResearchGate. 2010 enero; 1(1): p. 1-9.
23. Carretero C, Doussinague C, Vilena E, Poliano C. Manual Práctico de agricultura Madrid: Cultural S, A.; 2009.
24. Dominguez J, Román A, Prieto F, Acevedo O. Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2012 Enero; 3(1): p. 141-155.
25. Ibáñez S, Moreno H. El color del suelo. Revista ReserchGate. 2014 junio; 1(1): p. 1-8.
26. Bautista F, Jiménez J, Navarro J, Manu A, Lozano R. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. Revista Terra Latinoamericana. 2003 enero-marzo; 21(1): p. 1-11.
27. García R. Efecto de sistemas de labranza en propiedades físicas del suelo y desarrollo radicular del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.). Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM. 2015 Junio; 18(35): p. 109-115.
28. Castillo C. Selección y calibración de indicadores locales y técnicos para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá El Tuma - La Dalia Matalgapa. Primera ed. Managua: Universidad Nacional Agraria; 2005.
29. Baretino D, Loredó J, Pendás F. Acidificación de suelos y aguas: Problemas y soluciones. 7th ed. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España; 2005.
30. Ortega L. Drenaje de los suelos ñadis. IPA Remehue. 1989; 1(10): p. 3-8.

31. Visconti F. Elaboración de un modelo predictivo de la acumulacion de sales en suelos agricolas de regadío bajo clima mediterráneo: Aplicacion a la Vega Baja del Segura y Bajo Vinalopó (Alicante) Valencia, España: Universidad de Valencia; 2009.
32. Ortiz JN, Gavrilov I, Palacios O, Acosta R. Perdidas de agua de riego por percolacion produnfa durante el proceso de infiltracion. Terra Latinoamericana. 1999; 17(2): p. 115-124.
33. Moya J. Riego localizado y fertilización. 4th ed. Barcelona: Ed. Mundi; 2009.
34. Fuentes J. El suelo y los Fertilizantes España: Graficas Agenjo S. A.; 2004.
35. Aguilar E. Determinacion del estado sanitario de las plantas, suelo e instalaciones y eleccion de los métodos de control Málaga: INNOVA IC editorial; 2011.
36. Lopez M, Camaño M, Corralejo A, Mendez M, Vaquero A. Manual Práctico de de Agricultura España: Ed. Culturas SA.; 2006.
37. Morgan R. Erosión y conservación de suelos. Mundi Prensa ed. España; 1997.
38. Tayupanta J. La erosión hidrica. Técnico. Quito: Iniap; 1993. Report No.: 29.
39. Rivera L, Goya M, Crespo M. Métodos paramedir la humedad del suelo Puerto Rico: Mayaguez; 2011.
40. Kemper WD, Chepil WS. Size distribution of aggregates in: Methods of Soil Análisis. editors. P1CABea, editor. Wisconsin.: Agronomy N° 9. American Society of Agronomy Inc. Publisher. Wisconsin.; 1965.
41. Mejía L. Pedología descriptiva. Técnico. Bogotá: Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF); 1983.
42. Ibáñez C, Palomeque S, Fontúrbel F. Elementos principales del suelo, geodinámica y dinámica de los principales componentes del suelo La Paz: Publicaciones Integrales; 2004.

43. Velez M, Velez J. Infiltración. Primera ed. Medellin: Universidad Nacional de Colombia; 2002.
44. Gurovich W. Fundamentos y diseño del sistema de riego. Primera ed. San José; 1985.
45. Regante O. Caracterización de la Infiltración. Técnico. Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura de España; 2002.
46. Philac C. Procesos de erosión sedimentos y causas. Técnico. Montevideo: Organización de las Naciones Unidas, Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe; 2010.
47. Gonzales JC. Los procesos de erosión del suelo: hechos, mitos y paradojas. Geographicalia. 1998; 36(1): p..47-66.
48. Gomez A, Geissert D. Manual de Infiltrometria. Primera ed. Mexico; 2014.
49. INAMHI. Anuario Meteorológico Quito: Servicio Meteorológico; 2015.
50. Prefectura de Los Rios. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Babahoyo: Departamento de Planificación; 2014.
51. Ingaramo E, Paz A, Dugo M. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo en el NO de la Península Ibérica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. 2003; 1(1): p. 32-35.
52. Hincapié E, Tobón C. Dinámica del agua en Andisoles bajo condiciones de ladera. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín. 2012; 65(2): p. 6765-6777.
53. Rojas J, Sáenz E. Densidad aparente: Comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa Chaco, Argentina: INTA; 2013.
54. Vaca J. Velocidad de infiltración del agua en el subsuelo de la parroquia El Rosario del Cantón Guano, y San Pedro de Las Abras perteneciente a la parroquia Juan de Velasco Cantón Riobamba asociado a la granulometria y a la textura de sus componentes Riobamba, Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo; 2016.

55. Salazar O. Estudio de infiltración en el campo experimental de zonas áridas y semi áridas Noria de Guadalupe, Concepción del Oro, Zacatecas Coahuila, México: Universidad Autonoma Agraria "Antonio Narro"; 2008.
56. Osuna E, Padilla JS. Estimacion de la sorbilidad e infiltracion usando datos de simulacion de lluvia para tres tipos de suelos de la zona semiarida de Mexico. Terra Latinoamericana. 1998 octubre-diciembre; 16(4): p. 293-302.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Anexo 1. Análisis de suelo.



INIAP
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO

Nombre : Ortiz Pico Joffre Germán

Dirección :

Ciudad : Quevedo

Teléfono :

Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD

Nombre : La Maria (UTEQ)

Provincia : Los Ríos

Cantón : Quevedo

Parroquia :

Ubicación : Sitio La Maria

PARA USO DEL LABORATORIO

Cultivo Actual :

N° de Reporte : 3489

Fecha de Muestreo : 21/12/2017

Fecha de Ingreso : 21/12/2017

Fecha de Salida : 11/01/2018

N° Muest.	meq/100ml			dS/m	(%)	Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	%	ppm	Textura (%)			Clase Textural	
	Al+H	Al	Na	C.E.	M.O.							Mg	K	K		Σ Bases
88063										13,00			36	50	14	Franco-Limoso
88064										13,00			34	50	16	Franco-Limoso

INTERPRETACION

Al+H, Al y Na			C.E.		M.O. y Cl		
B	= Bajo	NS	= No Salino	S	= Salino	B	= Bajo
M	= Medio	LS	= Lig. Salino	MS	= Muy Salino	M	= Medio
T	= Tóxico					A	= Alto

ABREVIATURAS

C.E. = Conductividad Eléctrica

M.O. = Materia Orgánica

RAS = Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA

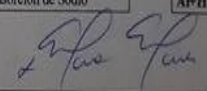
C.E. = Conductímetro

M.O. = Titulación de Winkley Black

Al+H = Titulación con NaOH



RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUA



RESPONSABLE LABORATORIO

7.2. Anexo 2. Análisis estadístico.

Tabla 9. *Análisis de la varianza*

Variable	Datos	R ²	R ² ajustado	C.V.
Infiltración	21	0.84	0.74	21.8

Tabla 10. *Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	2	15429.03	7714.52	28.36	<0.0001
Bloque	6	2241.8	373.63	1.37	0.3
Error	12	3263.9	271.99		
Total	20	20934.73			

7.3. Anexo 3. Evidencias fotográficas.



Limitacion de unidades experimentales



Medicion de anillos infiltrometros



Registro de datos del anillo simple



Registro de datos del anillo doble



Llenado de agua en anillos infiltrometros



Toma de muestras para laboratorio



Registro de datos de la botella de Mariotte