

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HÍDRICOS DEL SUELO EN  
LAS PARCELAS NUEVE Y DIEZ CULTIVADAS DE ARROZ BAJO UN  
SISTEMA DE RIEGO POR MELGAS EN LA FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS, DAVID, CHIRIQUÍ, REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**KRISTELLYS D. HERNÁNDEZ P.**

**8-922-822**

**DAVID, CHIRIQUÍ**  
**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2022**

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS HÍDRICOS DEL SUELO EN  
LAS PARCELAS NUEVE Y DIEZ CULTIVADAS DE ARROZ BAJO UN  
SISTEMA DE RIEGO POR MELGAS EN LA FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS, DAVID, CHIRIQUÍ, REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERÍA EN  
MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O  
PARCIAL DEBE SER OBTENIDO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**PROF. Ing. RICHARD ORTEGA M.Sc**

---

**DIRECTOR**

**PROF. Ing. TÍRSO SOLÍS M.Sc**

---

**ASESOR**

**PROF. Ing. JOSÉ R. CASTILLO M.Sc**

---

**ASESOR**

**DAVID, CHIRIQUÍ,**

**2022**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por cada una de sus bendiciones, por darme salud y las fuerzas necesarias para culminar esta meta.

A mis pilares Lisbeth Peñalba, Josué Valenzuela, Jaime Hernández, José Gutiérrez, Neymar Hernández y Raquel Hernández, quienes me apoyaron y motivaron cada día de mi vida para que se pudiese hacer este sueño realidad y no dudaron ni por un instante que lo lograría. Les agradezco por sus sacrificios, amor, confianza y por brindarme su ayuda en todo momento.

A mi director de tesis, el profesor Richard Ortega, por su apoyo, consejo, dedicación, disponibilidad y en especial por brindarme la oportunidad de realizar esta interesante investigación.

Al profesor Ovidio Novoa por su apoyo y contribución con la mano de obra, al profesor Tirso Solís por su disposición y por compartir sus conocimientos, los cuales fueron de suma importancia para el desarrollo del estudio, y a todos los profesores por brindarnos sus conocimientos a través de las enseñanzas a lo largo de toda la carrera universitaria.

A mi familia por demostrarme su cariño y por estar para mí, al formar parte de mi colectivo de apoyo durante el trabajo en campo: Eimelyn Cerrud, Armando Peñalba, Adonis Peñalba, Manuel Gallardo, Einer Cerrud, David Cedeño, Ladislao Peñalba, quienes dedicaron su tiempo para recopilar datos. Sería imposible no sentirme agradecida por una familia tan maravillosa como la que tengo; su apoyo incondicional me anima a seguir adelante. Igualmente, a mis amigas Karoline Castillo, Lía Rodríguez, Marlim Caballero, Alanís Samudio, en especial a mi querida amiga Leily Castrellón, por sus palabras motivadoras y apoyo incondicional.

## **DEDICATORIA**

**“Pon en manos del Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán.”**

### **Proverbios 16:3**

A Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida, por haber puesto en mi camino a personas maravillosas que han sido mi soporte y compañía durante toda mi vida y en la carrera universitaria.

A mi madre Lisbeth Peñalba, la que me ha dado fuerzas para continuar en la lucha. Recibe este triunfo como muestra de mi agradecimiento por tanto amor y apoyo incondicional en mi vida y por el esfuerzo desempeñado para darme todo lo necesario. He aquí el fruto de ese esfuerzo.

A mis padres, Jaime Hernández y Josué Valenzuela, por todo el amor que me han brindado, por el ánimo que me han dado y por ser promotores de mis sueños; gracias por todos los días confiar, creer en mí y el apoyo en el logro de mis expectativas.

A mi compañero de vida y mejor amigo, José Gutiérrez, gracias por confiar en mí y apoyarme en todos y cada uno de los pasos que doy en mi vida, siempre estás ahí por y para mí. Te agradezco porque creíste en mí, me guiaste y sostuviste cuando más te he necesitado.

A mi hermana Raquel Hernández, gracias por estar preparada para acompañarme cada extendida y agotadora noche de estudio.

A mi sobrino Neymar Hernández, por ser ese motor en mi vida que me impulsaba para no rendirme.

A toda mi familia, y a la memoria de mi abuelita Enedina Serrano, por esas palabras motivadoras que siempre recordaré.

Hernández, K. 2021. Determinación de los parámetros hídricos del suelo en las parcelas nueve y diez cultivadas de arroz bajo un sistema de riego por melgas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, República de Panamá. Tesis Ing. Manejo de Cuencas y Ambiente. Chiriquí, Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. 100 p.

## RESUMEN

La condición física de los suelos tiene gran influencia en aspectos como la capacidad de almacenamiento de agua y la retención de nutrientes de estos; por ende, la determinación de los parámetros hídricos del suelo es primordial para resolver problemas vinculados a las necesidades de agua de riego, consideraciones ambientales y de los excedentes hídricos, teniendo presente que la agricultura se ve sometida a una serie de factores que pueden afectar la producción.

Basado en este postulado se desarrolló el presente estudio en las parcelas nueve y diez cultivadas de arroz, bajo un sistema de riego por melgas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias en David, Chiriquí, República de Panamá., cuyo objetivo consistió en determinar los parámetros hídricos del suelo a través de los resultados obtenidos en campo. Se realizaron 31 pruebas de infiltración las cuales se llevaron a cabo bajo el método del cilindro infiltrómetro; por medio de ello se logró percibir la lámina y el tiempo acumulado de infiltración, factores primordiales para determinar la infiltración básica del agua en el suelo, teniendo presente que el mismo es un aspecto de gran importancia para el diseño y explotación de los sistemas de regadío en general y para el superficial en particular.

También se realizaron 12 calicatas en melgas representativas de las parcelas de estudio. Para el análisis de la textura, se recopilaron muestras de diferentes horizontes de suelo a profundidades de 0-0.30, 0.30-0.60, 0.60-0.90 y de 0.90 a 1.20 metros para los análisis físicos que fueron: densidad aparente, textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, los cuales son claros indicadores del estado físico del suelo. Se conformaron muestras para establecer la textura del suelo a través de la metodología de Bouyoucos y basándose en la tabla resumen de las propiedades físicas de Grassi (1980). Los resultados en campo sobre la determinación de los parámetros hídricos del suelo presentan variación en las diversas melgas muestreadas, obteniéndose una infiltración básica promedio de 7,6 milímetros por hora, correspondiente a suelos de textura Franca según los valores de infiltración básica; lo que permitió conocer que los suelos donde se realizaron las pruebas de infiltración son moderadamente adaptados para una agricultura bajo riego.

En cuanto al análisis de textura, se presentaron algunas variantes en los resultados obtenidos en algunas melgas, se percibe que estas diferencias se deben a las diversas profundidades u horizontes al cual se muestreó. De esta manera, se recabó que los suelos de las parcelas nueve y diez cultivadas de arroz bajo un sistema de riego por melgas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias son de textura Franca y Franco arenosa, los cuales se destacan por su productividad agrícola en virtud de su textura.

**Palabras clave:** Infiltración, textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, muestreo, riego, calicata.

Hernández, K. 2021. Determination of the water parameters about the land and plots nine and ten cultivated with rice under melgas irrigating system in Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, Republic of Panama. 100 p.

## **ABSTRACT**

The structure and conditions of the land have big influences on the way its storages water and the nutrients it has, so, it is important to determine the water parameters of the land in order to solve problems related to the water irrigation, the conditions of the environment and the surplus of water, without missing the fact that agriculture is put through a variety of factors that could affect the production.

According to this, the current study on the plots nine and ten grown with rice under an irrigating system by ridges in the Faculty of Agricultural Sciences, David, Chiriquí, Panama Republic, the objective of this study was to determine the water parameters of the land through results which were get in the field. 31 infiltration tests were by using a cylinder infiltrometer. By using this method, it was possible to detect a layer and accumulated time of infiltration, the major factors to determine the basic water infiltration in the land. Therefore, it is very important to design and operate the irrigating system.

12 holes were made, these holes were the representation of plots which were under study. In order to analyze its texture, it was necessary to collect different sides of the land and its depth from 0-0.30, 0.30-0.60. 0.60-0.90 y de 0.90 a 1.20 m of apparent density, texture, the capacity of the field, and time limit of the land to be used which are clear examples of the conditions of the land. Some samples were collected to establish the texture of the land by using the Bouyoucos method and based on the physical properties from Grassi (1980).

The results taken from the field about determining the water parameters of the land show some variation in different ridges. It establishes that basic infiltration has an average of 7.6 mm by hour, according to the land of Franco Texture which were based on the values of basic infiltration that allowed us to understand that the lands where the infiltration test were made are very useful for agriculture under irrigating.

Concerning to the texture analysis, some variations were found in some ridges. It is understood that these variations are because of the varieties of depth. Concluding that the plots 9 and 10 cultivated by rice under a ridges irrigation in the Agricultural Sciences Faculty, are Franco texture and Sandy France which are very productive because of its texture.

Key Words: Infiltration, Texture, Capacity of field, Irrigating,

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	x
ÍNDICE DE CUADROS .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Plantamiento del problema .....	2
1.2 Antecedentes .....	4
1.3 Justificación .....	7
1.4 Objetivos .....	10
1.4.1 Objetivo General.....	10
1.4.2 Objetivos Específicos .....	10
1.5 Hipótesis de trabajo .....	10
1.6 Alcance y limitaciones.....	10
1.6.1 Alcance .....	10
1.6.2 Limitaciones.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 La infiltración del agua en el suelo.....	12

2.2 La capacidad de infiltración.....	14
2.3 Los métodos para determinar la infiltración .....	14
2.4 El suelo .....	15
2.5 La disponibilidad del agua en el suelo .....	16
2.6 La textura del suelo.....	16
2.7 La densidad del suelo .....	17
2.8 La acción de la precipitación sobre el suelo.....	18
2.9 El porcentaje de humedad del suelo .....	19
2.10 El riego.....	20
2.11 La agricultura de regadío .....	21
2.12 Los tipos de riegos utilizados en Panamá.....	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
3.1 Descripción del área de estudio.....	23
3.2 Metodología .....	24
3.2.1 Etapa 1. Recopilación y análisis bibliográfico .....	24
3.2.2 Etapa 2. Determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo.....	24
3.2.3 Etapa 3. Determinación de las propiedades físicas del suelo (Textura y densidad aparente) y parámetros de humedad de suelo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) .....	30
3.2.3.1 Textura de suelo .....	31
3.2.3.2 Densidad aparente del suelo .....	34
3.2.3.3 Capacidad de campo de un suelo .....	35
3.2.3.4 Punto de marchitez permanente.....	36
3.2.3.5 Lámina de riego (Lr) .....	37
3.3 Parámetros a evaluar.....	38



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5. CONCLUSIONES.....	50
6. RECOMENDACIONES .....	51
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
8. ANEXOS .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

### FIGURAS

Nº		PAG.
1.	MAPA DE LOS PUNTOS DONDE SE REALIZARON LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN.....	27
2.	PARCELAS NUEVE Y DIEZ, CONTIENE LOS PUNTOS EN DONDE SE REALIZARON LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN.....	39
3.	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO DE LAS 31 MELGAS MUESTREADAS.....	40
4.	INFILTRACIÓN BÁSICA PROMEDIO DE LAS 31 MELGAS MUESTREADAS.....	41
5.	LÁMINA DE INFILTRACIÓN ACUMULADA PROMEDIO DE LAS 31 MELGAS.....	43
6.	PUNTOS DONDE SE RECOPIARON LAS MUESTRAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	44

### GRÁFICAS

Nº		PAG.
1.	COMPARACIÓN DE LAS FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS (PORCENTAJES RELATIVOS DE ARENA, LIMO Y ARCILLA) DE LAS MELGAS MUESTREADAS.....	46

## ÍNDICE DE CUADRO

CUADRO	PAG.
I. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO SEGÚN LOS VALORES DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN .....	13
II. VALORES DE INFILTRACIÓN BÁSICA DE LOS SUELOS.....	13
III. GUÍA DE RECOPIACIÓN DE DATOS PARA CALCULAR LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO.....	28
IV. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	30
V. GUÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE DATOS DE LA MUESTRA DE SUELO.....	33
VI VALORES DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (mm/hr).....	40
VII VALORES DE LA LÁMINA ACUMULADA.....	42
VIII PORCENTAJES RELATIVOS DE LAS PARTÍCULAS SEGÚN SU TAMAÑO (ARENA, LIMO Y ARCILLA) Y CLASIFICACIÓN TEXTURAL.....	45
IX VALORES OBSERVADOS Y ESTIMADOS DE CAPACIDAD DE CAMPO (CC), PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP), DENSIDAD APARENTE (DA), TEXTURA DE SUELO Y LA LÁMINA DE RIEGO.....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

Nº		PAG.
I.	VISTA PANORÁMICA DE LA PARCELA NUEVE DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.....	63
II.	VISTA PANORÁMICA DE LA PARCELA DIEZ DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA.....	63
III.	COLOCACIÓN DEL CILINDRO INFILTRÓMETRO.....	63
IV.	AGREGACIÓN DE AGUA PARA LUEGO MEDIR CÓMO VARIABA LA ALTURA DE ESTA EN EL CILINDRO.....	64
V.	MEDICIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA ALTURA DEL AGUA EN EL CILINDRO (MÁS PEQUEÑO).....	64
VI.	REALIZACIÓN DE CALICATAS.....	64
VII.	RECOLECCIÓN DE MUESTRA EN LOS CILINDROS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.....	65
VIII.	ROTULACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	65
IX.	RECOLECCIÓN DE SUELO PARA ANÁLISIS DE TEXTURA.....	65
X.	MUESTRAS DE SUELOS SECADAS AL AIRE LIBRE .....	66
XI.	SUELO TAMIZADO.....	66
XII.	PESANDO EL SUELO PARA EL ANÁLISIS DE TEXTURA.....	66
XIII.	ANÁLISIS DE TEXTURA.....	67
XIV.	MUESTRAS SECADAS EN EL HORNO PARA EL ANÁLISIS DE DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.....	67
XV.	EXPLICACIÓN POR EL PROFESOR PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE CAPACIDAD DE CAMPO.....	67

XVI.	CONSTRUCCIÓN DE UN BORDE DE TIERRA APISONADA DE UNOS DIEZ CENTÍMETROS DE ALTURA, RODEANDO DICHO CUADRADO AL CUAL SE LE COLOCÓ AGUA EN EL CUADRADO DE FORMA DE ASEGURAR LA SATURACIÓN DEL PERFIL Y BOLSA NEGRA PARA EVITAR LA PÉRDIDA DE AGUA POR EVAPORACIÓN.....	68
XVII.	TOMA DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CAMPO.....	68
XVIII.	GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS LUEGO DE MANTENER LAS MACETAS EN VALORES DE HUMEDAD CERCANOS A CAPACIDAD DE CAMPO, PARA DETERMINAR EL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE.....	69
XIX.	COLOCACIÓN DE LOS GIRASOLES EN LA CÁMARA HÚMEDA.....	69
XX.	PLANTAS DE GIRASOLES EN EL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE.....	69
XXI.	LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 1, 2, 3, 4 Y 5 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO.....	70
XXII.	LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 6, 7, 8, 9 Y 10 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO.....	70
XXIII.	LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 11, 12, 13, 14 Y 15 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO.....	71
XXIV.	LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 16, 17, 18, 19 Y 20 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO.....	71
XXV.	LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 21, 22, 26, 27 Y 28 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO.....	72
XXVI.	LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 29, 30, 31, 32, 33 Y 34 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO.....	72
XXVII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°1.....	73
XXVIII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°1.....	73

XXIX.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº2.....	73
XXX.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº2.....	74
XXXI.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº3.....	74
XXXII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº3.....	74
XXXIII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº4.....	75
XXXIV.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº4.....	75
XXXV.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº5.....	75
XXXVI.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº5.....	76
XXXVII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº6.....	76
XXXVIII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº6.....	76
XXXIX.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº7.....	77
XL.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº7.....	77
XLI.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº8.....	77
XLII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº8.....	78
XLIII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº9.....	78
XLIV.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº9.....	78
XLV.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº10.....	79
XLVI.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº10.....	79

XLVII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº11.....	79
XLVIII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº11.....	80
XLIX.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº12...	80
L.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº12.....	80
LI.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº13.....	81
LII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº13.....	81
LIII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº14.....	81
LIV.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº14.....	82
LV.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº15.....	82
LVI.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº15.....	82
LVII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº16.....	83
LVIII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº16.....	83
LIX.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº17.....	83
LX.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº17.....	84
LXI.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº18.....	84
LXII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº18.....	84
LXIII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº19.....	85
LXIV.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº19.....	85

LXV.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº20.....	85
LXVI.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº20.....	86
LXVII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº21.....	86
LXVIII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº21.....	86
LXIX.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº22.....	87
LXX.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº22.....	87
LXXI.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº26.....	87
LXXII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº26.....	88
LXXIII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº27.....	88
LXXIV.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº27.....	88
LXXV.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº28.....	89
LXXVI.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº28.....	89
LXXVII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº29.....	89
LXXVIII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº29.....	90
LXXIX.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº30.....	90
LXXX.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº30.....	90
LXXXI.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº31.....	91
LXXXII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº31.....	91



LXXXIII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°32.....	91
LXXXIV.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°32.....	92
LXXXV.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°33.....	92
LXXXVI.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°33.....	92
LXXXVII.	GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°34.....	93
LXXXVIII.	CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°34.....	93
LXXXIX.	DATOS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN BÁSICA DE LAS 31 MELGAS MUESTREADAS.....	94
XC.	DATOS DE LA LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS MUESTREADAS.....	95
XCI.	DATOS DE LA LÁMINA ACUMULADA Y LA LÁMINA ACUMULADA PROMEDIO DE LAS MELGAS MUESTREADAS....	95
XCII.	DATOS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LAS MELGAS MUESTREADAS.....	96
XCIII.	DATOS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO DE LAS MELGAS MUESTREADAS.....	96
XCIX.	GLOSARIO.....	97

## 1. INTRODUCCIÓN

La determinación de los parámetros hídricos del suelo es primordial para resolver problemas vinculados a las necesidades de agua de riego, consideraciones ambientales y de los excedentes hídricos (Reyna *et al.*, 2011), teniendo presente que la agricultura se ve sometida a una serie de factores que pueden afectar la producción. Uno de estos factores es el hombre, quien a través del tiempo ha convertido grandes áreas de bosque en terrenos degradados (Castillo, 2004). Al respecto, se plantea que:

En vista de que en los últimos años se ha podido percibir el deterioro de los suelos en nuestro país, el problema radica en que el ser humano acelera la pérdida de la fertilidad de estos por la destrucción de la cubierta vegetal, producto de las malas prácticas agrícolas, sobrepastoreo, quema de vegetación o tala indiscriminada del bosque. (Ruiz, 2017)

Como acción humana el riego ejerce influencia en los suelos y debe considerarse lo que establece: El riego es una actividad resultante de las acciones del hombre, por ende, el diseño de los sistemas de irrigación es de gran importancia y el conocimiento de los parámetros hídricos del suelo, y la infiltración del agua en el mismo es la base para eso. (Grassi, 1998)

Debido a que a lo largo del tiempo la determinación de estas características físicas permite conocer el tiempo necesario para aplicar la lámina de riego requerida, la lámina infiltrada acumulada, la intensidad con la que debe aplicarse la lámina de agua, así como el gasto que debe emplearse una vez alcanzada la velocidad de infiltración estabilizada. (Peralta; *et al*, s, f)

En este marco, el presente documento tiene como finalidad determinar los parámetros hídricos del suelo en las parcelas nueve y diez de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, mediante métodos que permiten percibir el contenido hídrico del suelo para un determinado momento, la cantidad de agua contenida según condiciones de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), así como las propiedades físicas del mismo: la textura (a través del método Bouyoucos) y densidad aparente del suelo (DA). En virtud del estudio, se implementará también el método del cilindro infiltrómetro, ya que el mismo permite la obtención de los valores de las variables de interés, debido a que todos los factores mencionados anteriormente son necesarios para diseñar, operar y evaluar correctamente el riego; de esta manera se podrá conocer la lámina neta (LN) que se deberá aplicar a un determinado cultivo (García *et al.*, s, f).

### **1.1 Planteamiento del problema**

La agricultura es el mayor consumidor de agua a nivel global (Heraldo, 2015). El 70 por ciento (70%) del consumo de agua en el mundo es para el riego de cultivos.

Al respecto, Sfeir plantea que, para la producción de alimentos, el hombre aprovecha principalmente las siguientes fuentes de agua: la proveniente de precipitaciones en sus distintas formas, el agua no salina de superficie (ríos, arroyos, lagos y lagunas) y algunas fuentes de agua subterránea. Todas ellas están interrelacionadas entre sí dentro del ciclo hidrológico, y son de disponibilidad limitada; de este modo, queda definido un aspecto que evidencia la importancia de establecer condiciones para el uso sustentable (Sfeir, 2013).

Otro factor por considerar es la erosión, que es la pérdida del suelo que se encuentra

superficialmente. Cabe destacar que Panamá tiene uno de los problemas de erosión y deterioro de suelos más severos de América Latina, lo que ha causado la pérdida de un 27 por ciento de los suelos del país; siendo las regiones más afectadas, las provincias de Veraguas, Chiriquí y la Comarca Ngöbe Buglé (Sánchez, 2004). Una de las posibles causas es cuando no se tiene control sobre la cantidad de agua que se aplica por medio del riego, cuando se abusa del irrigado del suelo, en especial cuando se trata de riego por aspersión o por inundación.

Los suelos de las parcelas de riego nueve y diez de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Provincia de Chiriquí, son superficies planas en donde se realizaron trabajos de nivelación para alcanzar el plano del terreno correspondiente a las actividades que se deseaban desarrollar en el lugar, utilizando el balance que consiste en analizar las cantidades necesarias de corte y relleno, tratando que las diferencias fuesen mínimas. También se removieron 25 463 metros cúbicos en concepto de corte y 27 000 metros cúbicos en concepto de relleno con una profundidad máxima de corte de 0.86 metros, y relleno de 0.56 metros (Ortega, 2021). Las parcelas de estudio no cuentan con ningún tipo de referencia disponible sobre las condiciones hídricas del suelo para diseñar y operar correctamente un riego, por lo que se debe conocer la lámina neta aplicable a un determinado cultivo en un terreno definido. Esta depende de la profundidad del suelo explorado por las raíces, del abatimiento máximo permitido del agua en el mismo y de los parámetros hídricos que corresponden a: capacidad de campo, punto de marchitez permanente y el agua disponible (García *et al.*, s. f), de los cuales no hay hasta el momento ningún tipo de registro.

Si bien se realizó un proyecto de riego por melgas para cultivar arroz de semilla, de la

variedad FCA FLAR 616, en dichas parcelas y una de las etapas del proyecto consistía en nivelación, hasta el momento, el proyecto carece de estudios detallados de coeficientes hídricos (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, textura, densidad aparente) que permita conocer la lámina de agua a aplicar. Se ha observado un problema de falta de agua en las parcelas y una infiltración acelerada en el suelo (Ortega,2021), lo que obliga a realizar estos estudios para conocer si el diseño original de dotación de agua está acorde con la realidad del terreno.

## **1.2 Antecedentes**

El riego se inició en Panamá en 1920 con las plantaciones de banano, aumentando el área regada a mitad del siglo, con el cultivo de la caña de azúcar (FAO, 2015). Para que dicha actividad se realizara con éxito, era necesario la implementación de estrategias como la determinación de la velocidad de infiltración del agua. Estos datos se obtenían considerando factores que desfavorecen las características del terreno y el clima del lugar, información que permitía tener el conocimiento sobre la cantidad de agua que se aplica por medio de la irrigación.

Durante el período de 1994-1997 el Estado panameño preparó y ejecutó un Plan Nacional de Riego, con el propósito de invertir en la agricultura teniendo como objetivo principal fomentar el aumento en la productividad agrícola a través del desarrollo sostenido de la agricultura. (FAO,2015)

En Panamá existen aproximadamente 270 000 hectáreas con suelos aptos para regadío, la mayor parte del área situada en Chiriquí y el Arco Seco. En 2009, el área equipada para dicha actividad se estimó en 32 140 hectáreas. El área principal del mismo se

localiza en las provincias de Chiriquí, Veraguas, Coclé, Herrera y Los Santos. Las últimas tres provincias en conjunto forman el Arco Seco en la costa del Pacífico, con un promedio de 25 milímetros por mes en los meses de época seca. (Ministerio de Ambiente MI AMBIENTE, 2009)

El estudio agrológico de la FCA, Universidad de Panamá, realizado por PRESA S,A (1980), proporciona datos que permiten conocer que la geología del área consiste en suelos de aluvión reciente, los cuales son suelos de textura liviana que ocupan posiciones más elevadas que los de la fase inundable; en esto se diferencian de suelos con los cuales colindan. Poseen topografía plana o casi plana con relieve subnormal. Al igual que los de la fase inundable son profundos, bien drenados. Estas planicies aluviales ocupan una posición superior en la elevación, el clima del lugar es tropical húmedo con una precipitación promedio anual 2809.8 milímetros y un régimen pluviométrico bimodal que contrapone una estación seca de cinco meses y una estación lluviosa de siete meses (Guevara, 2000).

Según Presa 1980, se determinó que los suelos del lugar de estudio, y las características que estos presentan, son de materiales transportados o depositados en las planicies costeras, valles interiores y aluviones estratificados de textura variable. Además, los suelos de reciente deposición carecen de modificaciones de los agentes externos (agua, clima, etc.). Se ubican en áreas ligeramente inclinadas o casi a nivel en las planicies costeras y valles interiores en donde el manto freático está cerca de la superficie y el drenaje por lo general es pobre. Estos terrenos son de alta productividad permitiendo agricultura intensiva y mecanizada, aptos para toda clase de cultivos y en los cuales es factible el uso de riego.

Durante la estación seca, la precipitación mensual del lugar de estudio, generalmente no supera los 100 milímetros, inicia en diciembre y se extiende hasta abril, tiempo en el cual cae menos del nueve por ciento. De la lluvia total anual, los meses más secos son enero y febrero con 30.3 y 15.1 milímetros respectivamente en promedio (Aguilar, 1990).

### 1.3 Justificación

El motivo de la investigación fue determinar los parámetros hídricos del suelo, en las parcelas de riego nueve y diez de la FCA, sede Chiriquí, para lograr la sostenibilidad de las actividades de producción de cultivos arroz que se desarrollan en el terreno.

Al respecto se establece que teniendo presente que la provincia de Chiriquí posee suelos muy permeables, es recomendable conocer la infiltración básica que presentan los mismos a la hora de proporcionar un sistema de riego. De esta manera se podrá decidir el tipo de riego óptimo en un terreno determinado, las medidas a adoptar para evitar que los cultivos introducidos en el lugar sufran un exceso de agua y que el terreno se sature. Por ende, se debe considerar la calidad física de este para determinar un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, además del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el crecimiento de las plantas (Taboada y Álvarez, 2008).

El conocer las propiedades físicas del terreno, proporciona una herramienta para tomar decisiones en el manejo de este, considerando la textura y la densidad aparente y resultará muy útil en el conocimiento del suelo, por consiguiente, con su determinación se pueden inducir diferentes problemas que disminuyan el buen desarrollo de los cultivos como, por ejemplo: una densidad aparente alta (menor que dos). Esto puede indicar la compactación o la existencia de una capa dura y la textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, en la aireación, en el drenaje, en el contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, s. f).

Este factor del suelo podría llevar a establecer un correcto plan de prevención y



mitigación en varios aspectos como: manejo del agua de regadío, cuidados del ambiente y garantizar que la agricultura bajo riego cumpla con las normas mínimas de sostenibilidad, evitando que las prácticas de producción agrícola que se desarrollan en estas parcelas de la FCA contribuyan al gran problema de erosión que aqueja al país. Esto permite prevenir el enfrentarse a una pérdida catastrófica en términos de rendimiento agrícola y funciones críticas de los ecosistemas.

La acción de los directivos de Agrosilos S. A. y la Universidad de Panamá es una parte fundamental a considerar en el presente proyecto, ya que firmaron un convenio de cooperación y desarrollo conjunto de proyectos, con la finalidad de establecer las bases de colaboración entre la empresa y la institución para el progreso integrado como lo es el crecimiento en forma conjunta de parcelas experimentales, que permitan implementar ensayos para el avance de nuevas variedades de semillas mediante implementación de prácticas agronómicas que posibiliten el desenvolvimiento y validación de tecnologías de producción tendientes a mejorar la productividad y rentabilidad del cultivo de arroz (UP, 2019).

Por ende, es de suma importancia conocer los parámetros hídricos en las parcelas nueve y diez de la F.C.A, Chiriquí, puesto que el avance del agua sobre el suelo puede tener una duración muy diversa dependiendo del tipo de sistema de riego por superficie, pero básicamente depende del caudal aplicado, la pendiente, la longitud del camino que debe recorrer el agua y de la capacidad de absorción del suelo (Fernández, 2010).

De tal manera, al determinar estos parámetros en las parcelas de estudio, se podrá realizar la programación del riego, la cual tiene como objeto central el que se tomen

decisiones orientadas a determinar las cantidades de agua por aplicar y el momento de aplicación de cada irrigación.

La intención de minimizar deficiencias o excesos de humedad en el suelo que pudieran causar efectos adversos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos es vital, dado que con el control y una adecuada programación del riego se puede lograr un importante ahorro en el agua y disminución de costos por ahorro de energía y mano de obra, además de minimizar el estrés hídrico y maximizar los rendimientos, así como la calidad, rentabilidad e ingresos. (Intagri, s.f)

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar los parámetros hídricos del suelo en las parcelas nueve y diez, dedicadas al cultivo de arroz bajo un sistema de riego por melgas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, República de Panamá.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar prueba de infiltración mediante el método del cilindro infiltrómetro.
- Obtener gráficas de la lámina infiltrada, velocidad de infiltración básica y tiempos de infiltración.
- Determinar propiedades físicas del suelo (textura y densidad aparente) y parámetros de humedad de suelo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) en el área de estudio.

## **1.5 Hipótesis de trabajo**

Los suelos de las parcelas nueve y diez de la F.C.A. Chiriquí, presentan buena calidad física de sus propiedades y tienen capacidad de infiltración aceptable.

## **1.6 Alcance y Limitaciones**

### **Alcances**

Esta investigación busca determinar parámetros hídricos del suelo como: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, las propiedades físicas del suelo (textura y densidad aparente) y la velocidad de infiltración en las parcelas de riego nueve y diez de

la F.C.A, Chiriquí mediante el método del cilindro infiltrómetro. Se utilizó la ecuación de Kostiakov (Kostiakov, 1932) para describir la velocidad de infiltración, lo cual será importante para el desarrollo sostenible de producción agrícola que realiza la F.C.A en dichas parcelas; por consiguiente, servirá como base para analizar y proponer recomendaciones como lo es, la programación del riego para poder tomar decisiones orientadas a determinar las cantidades de agua por aplicar y las fechas de aplicación de cada riego. Así se podrá conocer: la lámina óptima del suelo del lugar, qué medidas adoptar para evitar que los cultivos establecidos en el terreno sufran exceso de agua o evitar el riego en exceso y que el suelo se encuentre saturado, provocando erosión.

### **Limitaciones**

Dentro de las limitaciones en el desarrollo del proceso investigativo se presentaron las siguientes:

- Condiciones climáticas cambiantes.
- Condiciones del suelo del lugar.
- Alteración de la tasa de infiltración debido a variaciones estacionales como consecuencia de cambios en la temperatura, en el crecimiento de la vegetación, entre otros.
- Poca información disponible.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2. 1 La infiltración del agua en el suelo**

La velocidad de infiltración del agua en el suelo es un aspecto de gran importancia para el diseño y explotación de los sistemas de regadío en general y para el superficial en particular, el mismo es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos del acuífero (Heras, 1970).

Para la determinación de la velocidad de infiltración en el riego superficial existen diferentes métodos (Anillos Infiltrómetros y Balance de Volumen). En la técnica superficial el agua de riego se aplica fundamentalmente de dos formas: por medio de surcos y por medio de melgas. En el cultivo del arroz se emplea básicamente el método de melgas. La particularidad de este sistema en los cultivos de arroz determina que sea necesario tener muy en cuenta el método que se emplee para determinar las características de infiltración del agua en el suelo en cada caso concreto, con el objetivo de lograr mayor eficiencia en el diseño y explotación de dichos sistemas de irrigación. (Peralta; *et al*, s,f)

La velocidad de infiltración del agua en el suelo tiende a incrementarse cuanto más gruesa es la textura del mismo, ya que esta condiciona la porosidad total y la distribución de poros; pero también varía con la estructura al condicionar los macroporos y algunas condiciones superficiales como el encostramiento o el sellado. (TRAXCO,2015)

**CUADRO I. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO SEGÚN LOS VALORES DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.**

<b>Velocidad de infiltración cm/hora</b>	<b>Interpretación</b>
< 0.1	Muy lenta
0.1-0.5	lenta
0.5-2.0	Moderadamente lenta
2.0-6.3	Moderada
6.3-12.7	Moderadamente rápida
12.7-25.4	Rápida
> 25.4	Muy rápida

Fuente: Montenegro y Malagón 1990:13

Presenta la clasificación de la velocidad de infiltración básica según el rango promedio de la misma en centímetro por hora; de este modo, permite conocer a qué velocidad el suelo absorbe el agua.

**Cuadro II. Valores de infiltración básica de los suelos**

<b>Textura del suelo</b>	<b>Infiltración básica. Rango de variación (mm/h)</b>
Arena	25-50
Franco-arenoso	13-75
Franco	7.5-20
Franco-limoso	2-15
Arcillo-limoso	0,2-5
Arcilla	0,1-1

Fuente: Prosap s, f:12

En el Cuadro II, se observa la relación de la infiltración básica en cuanto a la textura del suelo; ya que, el rango que presente el suelo en cuanto a la infiltración básica determina la textura del suelo.

Uno de los modelos más conocido para evaluar el comportamiento de la infiltración del agua en el suelo fue desarrollado por Kostiaikov (1932), que expresa la infiltración en un punto. Los Oxisoles y Ultisoles tienen altas tasas de infiltración. (Mejías, 2018)

## **2.2 La capacidad de infiltración**

La capacidad de infiltración es definida como 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, 1985)

La capacidad de infiltración se refiere a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al mismo, y la mayor o menor compactación que tiene. Esa capacidad disminuye hasta alcanzar un valor casi constante a medida que la precipitación se prolonga, y es entonces cuando empieza el escurrimiento.

## **2.3 Los métodos para determinar la infiltración**

Existen métodos clásicos para determinar este factor. Ellos son:

- Método del cilindro infiltrómetro: utilizado para verificar el comportamiento del

suelo donde se utilizan métodos de riego por tendido, bordes, aspersión y goteo.

- Método del surco infiltrómetro: utilizado en donde el cultivo será regado por surcos rectos o sus variantes.
- Simuladores de lluvia: simulan la lluvia, aplicando el agua en forma constante al suelo mediante regaderas. El agua se introduce en ambos compartimentos, los cuales deben conservar el mismo tirante. (Zerón, 2013)

## **2.4 El suelo**

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

En los trópicos y subtrópicos existe un problema particularmente grave de degradación del suelo, siendo la pérdida de productividad y utilidad real o potencial de este una consecuencia de factores naturales o antropogénicos. Es el resultado de la gran presión demográfica, la escasez de tierras agrícolas de primera calidad, los entornos hostiles y los agricultores de escasos recursos que no pueden permitirse las aportaciones recomendadas basadas en la ciencia. (Lal, 1993)

Según MI AMBIENTE (2009), Panamá tiene problemas muy severos de deterioro de suelos, debido al acumulativo y creciente proceso de degradación que sufren casi todas las cuencas y suelos desprovistos de coberturas boscosas, afectando el 27 por ciento del territorio nacional. El estudio de evaluación mundial de la degradación de las tierras para América Latina y el Caribe (GLADA) estimó para Panamá una pérdida de suelos de 14 millones de toneladas por año.



## **2.5 La disponibilidad del agua en el suelo**

Cuando un campo se encuentra encharcado, el espacio de aire en el suelo es desplazado por el agua. Se denomina Capacidad de Campo (CC) a la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice (tras 24 a 48 horas de lluvia o riego). El agua que ocupa el espacio de los poros más grandes (macroporos) drena hacia capas inferiores bajo la fuerza de gravedad. Los poros más pequeños (microporos) se llenan de agua y los más grandes de aire y agua. El punto capacidad de campo corresponde a una succión de 0.33 bar. Las plantas deben producir una succión hasta 15 bares como máximo. A los 15 bares de succión la cantidad de agua en el suelo se denomina punto de marchitez permanente (PMP). En ese punto, las plantas pierden la capacidad de succión y siguen desperdiciando agua mediante la transpiración. Mengua la turgencia de la planta resultando en su marchitez. Gráficamente la diferencia entre el punto de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente resulta en el agua disponible para cultivo en milímetros (mm) o expresado porcentualmente. La textura del suelo influye en la cantidad de agua en un suelo drenado hasta el punto de capacidad de campo y la cantidad que está disponible para las plantas.

## **2.6 La textura del suelo**

La textura del suelo se refiere a la 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 y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.

El triángulo de textura de suelos según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), se usa como una herramienta para clasificar la textura. Partículas de este que superan el tamaño de 2.0 milímetros se definen como piedra y grava, también se incluyen en la clase de textura. Por ejemplo, un suelo arenoso con 20 por ciento de grava se clasifica como franco arenoso con presencia de gravas. Cuando predominan componentes orgánicos se forman suelos orgánicos en vez de minerales.

La textura de los suelos de Panamá se presenta muy variable en todo el país. En las provincias centrales predominan los suelos del tipo franco arcilloso y hacia la región occidental, como lo es en el caso de la Provincia de Chiriquí, predominan los suelos franco arenoso. (Villarreal *et al.*, 2013)

## **2.7 La Densidad del Suelo**

Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad: real y aparente. La densidad real de las partículas densas del suelo varía con la proporción de elementos, constituyéndolo y en general alcanza alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta, indica un suelo compacto o concentración elevada de partículas granulares como la arena. Una densidad aparentemente baja, no indica un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas, necesariamente.

Para Blake (1965) la densidad aparente del suelo es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen que éstos ocupan, incluyendo el espacio poroso entre las partículas sólidas. Por otra parte, Porta *et al.* (2003) mencionaron valores de densidad aparente para suelos arenosos de 1.45 a 1.60 gramos por centímetro cúbico, arcillosos

estructurados 1.05 a 1.10 gramos por centímetro cúbico, compactos 1.90 a 1.95 gramos por centímetro cúbico y en suelos orgánicos valores de 0.25 gramos por centímetro cúbico.

## **2.8 La acción de la Precipitación sobre el suelo**

Al entrar en contacto con el suelo, la magnitud de la acción de las gotas de lluvia es directamente proporcional a la cantidad de estas y a su fuerza de impacto, la cual depende de su diámetro y velocidad de caída. Más concretamente, estas distintas variables son traducidas por la denominada "intensidad de la lluvia"; es decir, la altura pluviométrica que corresponde a un determinado intervalo, desde algunos minutos hasta varias horas, parámetros que suelen medirse en milímetros por hora. En todo caso, existe una relación estrecha entre las intensidades registradas durante períodos cortos y el poder erosivo de las lluvias. Cuando el impacto de las gotas es lo suficientemente fuerte, la textura del suelo es destruida, por lo que las partículas finas son desplazadas mientras los elementos más gruesos se aglomeran entre sí, lo que conduce a una nueva organización de las capas superficiales. Evidentemente, lo anterior implica la participación de factores propios del suelo, en particular su naturaleza (la cohesión es naturalmente menor en los suelos blandos, tipo polvos o arenas finas) y su estado inicial de humedad (el que va aumentando paulatinamente en el transcurso de una misma lluvia. (FAO, s. f)

En Panamá y en la mayoría de los países tropicales, la precipitación atmosférica se presenta en forma de lluvia, debido al movimiento ascendente del aire, enfriado por expansión más allá del nivel de condensación del vapor de agua. Además, en la vertiente

del Caribe, las lluvias son permanentes todo el año, con variaciones en su intensidad; mientras que, en la vertiente del Pacífico, se presentan un período seco que va de diciembre hasta abril y otro lluvioso de mayo hasta noviembre, como consecuencia de la migración longitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical. (ZCIT) (Mi AMBIENTE, 2010)

Según Mejías (2018), la actividad agropecuaria como la gestión del territorio urbano se planifican teniendo en cuenta la intensidad de la lluvia en cada región. La clasificación de las lluvias depende en muchos casos de la climatología local y de este modo los conceptos como: seco, débil, ligero, moderados, fuerte y torrencial o extremas, son bastante relativos.

## **2.9 EL porcentaje de humedad del Suelo**

La humedad juega un rol fundamental en el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El agua presente transporta sustancias a través del perfil. El régimen que manifiesta determina los tipos de plantas que crecerán en él, afectando además la forma en que se distribuyen las raíces. Dicho factor en un terreno puede cambiar rápidamente, pudiéndose incrementar en minutos u horas. En contraste, la fase de secamiento puede tomar semanas o meses.

El porcentaje de humedad de los suelos típicamente se encuentra en un rango de cinco a 50 por ciento cuando se encuentran en su máxima capacidad de retención (capacidad de campo) (Santibáñez, s. f).

La infiltración varía en proporción inversa a dicho aspecto, es decir, un suelo húmedo presenta menor capacidad que uno seco (Gurovich, 1985).

Por otro lado, Segerer (2006) establece que esta característica inicial del suelo tiene una importancia capital en el proceso. Cuando el suelo se halla seco al comienzo de la lluvia, se crea una fuerte capilaridad al humedecerse las capas superiores, efecto que se suma al de gravedad, incrementando la intensidad de infiltración.

## **2.10 El Riego**

Israelsen y Hansen (1962) definen el riego como “la aplicación artificial de agua a la tierra con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo”.

En Panamá existen distintos tipos de riego, los cuales son empleados en diferentes formas técnicas y de mejora agrícola a favor de la producción de cultivos tradicionales y no tradicionales.

Lamentablemente, no todos los productores panameños cuentan con los recursos técnicos y económicos; sólo los productores con más recursos disponen en su totalidad con los mejores sistemas de riego y drenaje. Dentro de las provincias que cuentan con buenos sistemas de riego y drenaje tenemos: Chiriquí, Panamá, Bocas del Toro, Lo Santos, Herrera, Veraguas y Coclé (Ruiz, 2005).

En Panamá se dispone de un sistema técnico apropiado en diferentes formas de producción encaminado a rentabilidad de los productos agrícolas y a un soporte técnico disponible según los recursos y el tipo de mercado. El país cuenta con desarrollo técnico a través de MIDA e IDIAP, entidades gubernamentales que regulan y capacitan a los campesinos para que utilicen sistemas de riego técnicos, los cuales promueven la rentabilidad técnica de los diferentes cultivos agrícolas que se encuentran en Panamá.

### **2.11 La Agricultura de Regadío**

Consiste en el aprovechamiento y/o suministro de agua en las cantidades necesarias para la producción agrícola, mediante métodos artificiales que permiten restablecer la humedad del suelo. Comprende todas las interrelaciones productivas (suelo, agua, planta, clima y manejo), sociales, económicas, técnicas y ambientales en torno a la dotación de agua en la producción. (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2014)

En Panamá existe una agricultura tradicional la cual pone énfasis en el suelo, clima y agua como condiciones de la actividad agrícola; la presencia de condiciones desfavorables en algunos de estos factores limita el potencial de las prácticas convencionales en el país hasta tal punto que llega a perder interés económico. Es por esto que el uso de técnicas depende en gran medida del desarrollo de los sistemas de riego y drenajes. Su continuidad se muestra a través de los propios resultados , encaminando su aplicación a largo y corto plazo. (Ruiz, 2005)

### **2.12 Los Tipos de Riego utilizados en Panamá**

Según Ruiz (2005), Panamá cuenta con pocos sistemas de riego en comparación con otros países productores, pero posee sistemas técnicos y fundamentales en los diferentes tipos de producción agrícola: riego por goteo, por aspersión y superficial. Este último se divide en las siguientes modalidades: por inundación, por surcos y por melgas. El riego por inundación es aquel sistema de irrigación superficial, tradicional y poco tecnificado, que conlleva a la inundación por gravedad o uniforme de la parcela de cultivo, por medio de canales que distribuyen por acequias el agua para el regadío agrícola. (Pineda, s. f)

Cabe mencionar que el riego por surcos es el sistema superficial mediante el cual el agua se traslada por gravedad por pequeñas zanjias o surcos formados entre las hileras del cultivo. También se le conoce como riego por gravedad (Ríos, 2003).

Por otro lado, el Riego por melga hace énfasis en la franja de terreno delimitada por dos bordes paralelos a través de los cuales circula el agua de regadío. Al aplicar el agua en una melga se produce un escurrimiento superficial y otro subterráneo. (Aguilar, 2014).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Descripción del área de estudio**

##### **Localización geográfica**

El estudio se realizó en las parcelas nueve y diez de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, República de Panamá. La finca tiene una extensión de aproximadamente 824 hectáreas, situada entre los 8° 23' 35,16" y 8° 24' 29" de Latitud Norte y los 82° 19' 17,4" y 82° 19' 52,45" de Longitud Oeste. Limita al norte con la carretera Panamericana; al este con el poblado del corregimiento de Chiriquí, al oeste con el río Chiriquí, y al sur con otras fincas. La Facultad de Ciencias Agropecuarias se encuentra dentro de la cuenca del río Chiriquí (Cuenca N.º 108), (Miranda, 2018).

El clima promedio en Chiriquí en la temporada de lluvia es nublado, la época seca es parcialmente nublada y es muy caliente y opresivo durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 22 a 33 grados centígrados y rara vez baja a menos de 21 grados centígrados o sube a más de 35 grados centígrados.

La precipitación en un día mojado es de por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Chiriquí varía considerablemente durante el año. La temporada más mojada dura 7.4 meses, del 26 de abril al seis de diciembre, con una probabilidad de más del 29 por ciento de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 51 por ciento el 23 de octubre. La temporada más seca dura 4.7 meses, del seis de diciembre al 26 de abril. La probabilidad mínima de un día mojado es del seis por ciento el dos de febrero. El tipo más común de precipitación durante el año es sólo lluvia, con una probabilidad



máxima del 51 por ciento el 23 de octubre.

Chiriquí tiene una variación extrema de lluvia mensual por estación; la mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 21 de octubre, con una acumulación total promedio de 231 milímetros. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 21 de febrero, con una acumulación total promedio de 15 milímetros. (ETESA, 2018)

El lugar posee topografía plana o casi plana con relieve subnormal. Al igual que los de la fase inundable son profundos, bien drenados internamente sin mostrar prácticamente ningún desarrollo genético de los suelos. Estas planicies aluviales ocupan una posición superior en la elevación (Presa, 1980).

## **3.2 Metodología**

### **3.2.1 Etapa 1: Recopilación y análisis bibliográfico**

En esta etapa se consultaron diversos materiales bibliográficos, revistas, páginas web, informes, mapas, libros de textos sobre el tema investigado.

### **3.2.2 Etapa 2. Determinación de la infiltración básica del agua en el suelo**

Primero se determinó el tamaño de la muestra, teniendo en cuenta que cuando la población o universo comporta, un gran número de individuos o elementos, no se puede o no se quiere, en general por razones económicas, examinarlos a todos. Las observaciones se efectuaron entonces sobre un número restringido de elementos o individuos que fue preciso seleccionar. Los individuos o elementos seleccionados

constituyen una muestra y su número representa el tamaño muestral (Stefanu, 2015).

Por consiguiente, determinar el tamaño de la muestra fue uno de los pasos más importante en el estudio de investigación realizado, para justificar de acuerdo con el planteamiento del problema, la población, los objetivos y el propósito de la investigación.

En este estudio se calculó el tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población y se utilizó la fórmula establecida por Ramírez (2015) para calcular el tamaño de muestra:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{E^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Siendo:

n= tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza,

P = probabilidad de éxito, o proporción esperada

Q = probabilidad de fracaso

E = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción).

Esta fórmula es de amplio uso y se ajusta muy bien al estudio de terreno que se va a realizar (Binns, 2020).

Determinación del tamaño de las muestras de las parcelas nueve y diez de F.C.A, Chiriquí

**En donde:**

$$N = 48$$

$$Z = 1.96$$

$$P = 0.5$$

$$Q = 0.5$$

$$E = 0.075$$

$$n = \frac{48 \times (1.96^2) \times 0.5 \times 0.5}{(0.075^2) (48-1) + (1.96^2) \times 0.5 \times 0.5}$$

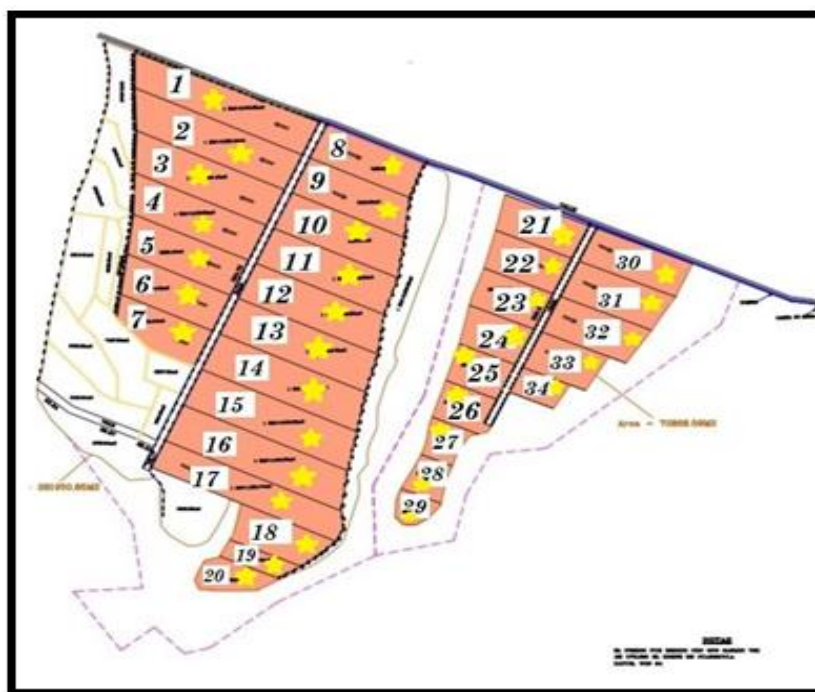
$$n = 32$$

Teniendo presente que el tamaño de la población era de 48 melgas y al conocer el tamaño de la muestra solo se muestrearon 32, de acuerdo con el modelo de calcular el tamaño de muestra cuando se conoce el tamaño de la población (Ramírez, 2015).

Se utilizó el muestreo aleatorio simple, para seleccionar los sitios de muestra, el cual es un procedimiento de prueba probabilístico que da a cada elemento de la población objetivo y a cada posible muestra de un tamaño determinado, la misma probabilidad de ser seleccionado, con el objetivo de obtener información sobre un parámetro o característica desconocida de la población a partir de la muestra. (Espinoza, s. f)

Es muy importante tener presente que este muestreo consiste en tener el tamaño de la muestra correcta para no tener un error de muestreo, el cual debe ser el mínimo posible. Para seleccionar el número de elementos de la población se recurrió a el sistema de

sorteo, los números que representa cada elemento de la población objetivo fueron colocados en chips (es decir en papel). Los chips se colocaron en un recipiente y se mezclaron. Luego, a ciegas se seleccionaron las fichas desde el recipiente hasta que se obtuvo el tamaño de muestra deseado (Espinoza, s. f). A continuación, en la figura 1, se presentan el mapa de las parcelas nueve y diez cultivadas de arroz bajo un sistema de riego por melgas, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias; las estrellas amarillas corresponden al tamaño de la muestra y hacen referencia a los puntos donde se colocaron los cilindros infiltrómetros.



Fuente: Ortega, R. 2019

#### **FIGURA Nº1. Mapa de los Puntos donde se realizaron las Pruebas de Infiltración**

A través de la media aritmética se estimó la infiltración del agua en el suelo de las melgas a muestrear para posteriormente calcular la media, utilizando la media aritmética.

La media aritmética es el valor que se obtiene al sumar todos los datos que tenemos y dividir el resultado entre el número total de esos datos (Ruiz, 2019).

Utilizando la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{N}$$

Donde “n” es el número de datos.

Finalmente, se tomaron las muestras en campo lo cual consistió en la realización de las pruebas de infiltración. Para la estimación de la velocidad de infiltración en el área se utilizó el método de cilindro infiltrómetro, que consistió en una prueba de terreno en el cual se utilizó dos anillos concéntricos. En ambos se agregó agua, para luego medir cómo variaba la altura de esta en el cilindro más pequeño. La información obtenida permite ajustar el modelo matemático a partir del cual queda caracterizada la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada en el suelo.

**Cuadro III. Guía de recopilación de datos para calcular la velocidad de infiltración del agua en el suelo**

Nº de observación	Tiempo (min)	VEL INF (cm/hr)	T Acum (min)	Logaritmo de base 10	
				T Acum	Vel Inf

Fuente: Aguilar, 2020

Se recopila la información detallada y ordenada correspondiente para conocer diversos parámetros como lo es la velocidad de infiltración y la infiltración básica de los suelos, ya que, en esta se registra el tiempo en que se infiltra el agua en el suelo y lamina correspondiente al tiempo.

El modelo matemático utilizado es la Ecuación de Kostiaikov (1932) la cual es una función que describe la velocidad de infiltración en un punto cualquiera.

Se trata de un modelo exponencial de la forma:

$$V_i = K * T^{-n}$$

Donde:  $V_i$ = velocidad de infiltración instantánea (centímetros/hora)

$T$ = tiempo (minutos)

$K$ = Coeficiente que representa la velocidad de infiltración. (Gavande. 1972).

$n$ = pendiente de la curva de velocidad de infiltración. Es un parámetro que depende de los cambios de estructura del suelo, resultantes de la mojadura, (Gavande, 1972).

En la ecuación anterior se calcula la velocidad de infiltración ( $V_i$ ) que ocurre durante el momento  $T$ . Los coeficientes  $K$  y  $n$  se determinan empíricamente, con las mediciones de infiltración hechas con los cilindros (Aparicio, 1999). Esta curva representa la decreciente velocidad de infiltración que ocurre en el suelo cuando este comienza a ser regado.

### 3.2.3 Etapa 3. La determinación de las propiedades físicas del suelo (Textura y densidad aparente) y parámetros de humedad de suelo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente).

La obtención de muestras (textura de suelo y densidad aparente) fue por medio de calicatas, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa (Geoseismic,2017). La calicata fue de 0,80 metros por 1,00 metros, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El material excavado se depositó en bolsas debidamente rotuladas separadas de acuerdo con la profundidad correspondiente en este caso: 0-0.30; 0.30-0.60; 0.60-0.90; 0.90-1.20 metros) horizonte correspondiente. Al obtener los resultados fue necesario el cuadro resumen de las propiedades físicas de Grassi.

**Cuadro IV. Resumen de las Propiedades físicas del Suelo**

Textura del suelo	Total espacio poroso	Densidad aparente $\rho_a$	Capacidad de campo $W_c$ %	Marchitez Permanente $W_m$ %	Humedad total disponible		
					Peso seco $W_c - W_m$	Volumen $(W_c - W_m)\rho_a$	d cm/m
Arenoso	38 (32-42)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	8 (6-10)
Franco arenoso	43 (40-47)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)
Franco	47 (43-49)	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	17 (14-20)
Franco arcilloso	49 (47-51)	1,35 (1,30-1,40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	19 (16-22)
Arcillo limoso	51 (49-53)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	21 (18-23)
Arcilloso	53 (51-55)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	23 (20-25)

Fuente: Grassi, C. (1998).

Presenta los rangos de densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez

permanente a través de los cuales se permite designar el tipo de textura de suelo que correspondan al lugar de estudio.

### **3.2.3.1 La textura del suelo**

La metodología para la determinación de la textura fue por el método de Bouyoucos. A través de estos análisis los suelos pueden ser clasificados en Arenoso, Franco arcilloso, Franco limoso, etc. (Ciancaglini, s. f)

Los términos texturales se definen de una manera gráfica en un diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones.

Se debe tener presente la escala granulométrica para clasificar a los constituyentes del suelo según su tamaño de partícula, así como el Triángulo textural de USDA.

En primer lugar se procedió a caminar rápidamente por el área para identificar las variaciones de vegetación, topografía, sitios sembrados, y otras circunstancias particulares de manejo del predio, luego se señalaron los puntos a muestrear tomando en cuenta 12 melgas que permitieran cubrir toda el área del lote para que el muestreo fuese representativo, se raspó aproximadamente tres centímetros (cm) de la superficie del terreno en cada punto con el fin de limpiar y eliminar los residuos frescos de materia orgánica, polvo de la carretera u otros contaminantes artificiales.

Luego, para la toma de muestra con el barreno, este se enterró haciéndolo girar, y penetrando el suelo como si fuera un tornillo. Teniendo presente que el barreno tiene la capacidad de tomar la muestra en los 0 – 20 centímetros de suelo, tal muestra se depositó en un balde plástico limpio de impurezas. La operación fue repetida para cada



uno de los 12 puntos elegidos como sitios de muestreo. Secuencia sugerida en la toma de muestras de suelos por (Villalba, 2012).

Con respecto al procedimiento de determinación en laboratorio se pesaron 40 gramos (g) de suelo tamizado y secado al aire libre, al momento de pesar los 40 gramos, se procedió a tarar el recipiente en el cual se colocó la muestra de suelo. Luego se depositó la muestra en el vaso de dispersión, el cual se debe encontrar limpio sin ningún tipo de residuos; posteriormente se le añadió 100 mililitros del calgón al cinco por ciento y 200 mililitros de agua destilada, después se agitó de manera normal y se dejó reposar por 10 minutos. Luego se mezcló el suelo o la suspensión en la batidora, por un intervalo de cinco minutos, transcurrido el tiempo se transfirió la suspensión a un cilindro de 1000 mililitros, se procedió después a lavar el vaso con un chorro de agua destilada para limpiar el resto de suelo adherido en las paredes del recipiente y luego se vertió en el cilindro de 1000 mililitros. Posteriormente se adicionó agua destilada hasta llevar el nivel del líquido a la marca de 1000 mililitros. Se debe permitir que el cilindro y la suspensión permanezcan en reposo para alcanzar un equilibrio con la temperatura del ambiente circundante. Si la superficie está cubierta con espuma; se añade unas gotas de alcohol amílico, para eliminarlo; en seguida, se inserta la varilla de agitación y se debe mover fuertemente de arriba a abajo, teniendo cuidado de no derramar el líquido agitando más fuerte cerca de la base del cilindro para levantar las partículas que podrían haberse quedado adheridas al fondo del cilindro; luego se debe sacar el agitador e inmediatamente registrar el tiempo y se procede a colocar el hidrómetro en la suspensión con mucho cuidado para evitar la agitación de esta. En seguida, se debe leer la densidad de suspensión en gramos por litro, tomando la lectura en la parte inferior del menisco

que se forma en la parte superior del hidrómetro. Se recomienda introducir el hidrómetro 15 segundos antes de la lectura para permitir que el mismo se estabilice en la suspensión. Finalmente se registró la lectura del hidrómetro y del termómetro a los 40 segundos y a las dos horas después de haber retirado la varilla de agitación de la suspensión. Se debe retirar hidrómetro y termómetro luego de cada medición (Solís, s,f).

**Cuadro V. Guía para recopilación de datos de la muestra de suelo.**

Tiempo	Lectura del hidrómetro	Temperatura	Lectura corregida	Arena%	Limo%	Arcilla%
40 seg						
2 horas						

Fuente: Rojas y Herrera, (2016)

El Cuadro V presenta la base para la recopilación de datos obtenidos a través de las lecturas del hidrómetro, ya que el mismo cuenta con la cantidad de lecturas correspondientes en este caso, fue a los 40 segundos y a las dos horas para que en ambas ocasiones se hagan la lectura del hidrómetro cuyos resultados son en gramos por litro y del termómetro en grados Celsius.

Para obtener la lectura corregida del hidrómetro se resta de la temperatura, grados Fahrenheit, de la suspensión suelo – agua- solución salina la temperatura de calibración del hidrómetro y esta diferencia se multiplica por 0.2. Después se añade este valor a la lectura observada del hidrómetro y el valor que se obtiene representa la lectura corregida del hidrómetro (Solís, s,f ).

Para el cálculo del porcentaje de material en suspensión se utilizó la siguiente formula:

$$S^1 = \frac{R}{W} \times 100$$

**S=** Porcentaje (%) de material en suspensión.

**R=** Lectura corregida del hidrómetro (gr/litro).

**W=** Peso seco (105°C) de la muestra de suelo usado.

La lectura del hidrómetro corregida a los 40 segundos representa la cantidad de limo + arcilla en la suspensión. Por consiguiente, el porcentaje de arena está dado por la formula  $\% \text{ de arena} = 100 - (\% \text{ limo} + \% \text{ arcilla})$ . La segunda lectura a las dos horas representa la cantidad de arcilla en suspensión. El porcentaje de la misma es obtenido conforme se obtiene el valor de S en la fórmula de arriba. El porcentaje de limo es obtenido substrayendo el porcentaje de arcilla del porcentaje de limo + arcilla.  $\% \text{ de limo} = (\% \text{ limo} + \% \text{ arcilla}) - \% \text{ arcilla}$ .

### **3.2.3.2. La Densidad aparente del suelo**

Para determinar la densidad aparente del suelo se consideró que la misma varía con la textura y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes (Taboada y Álvarez, 2008).

Para realizar esta determinación se utilizó el método del cilindro. Una de las desventajas de tomar la muestra con el cilindro, es que por su tamaño el valor puede variar, siendo mayor la densidad cuando menor es el tamaño del cilindro, a causa de que no se captan los poros de mayor diámetro. En general, el método presenta poca variación, es fácil de repetir y su determinación es sencilla.

El método del cilindro consistió en introducir el cilindro biselado en el suelo cuyo volumen fue de 98.175 centímetros cúbicos, enrasando el suelo con los bordes, luego se procedió a secar la muestra en el horno a una temperatura de 105 grados Celsius hasta peso constante y obtener su valor.

Según Rojas y Peña (s, f) al obtener los resultados se procede a utilizar la siguiente fórmula:

$$DAp \text{ (g cm}^3\text{)} = \frac{\text{peso suelo seco (g)} \times 100}{\text{volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

### 3.2.3.3 La Capacidad de campo de un suelo

Es el contenido de agua que tiene un suelo después que se saturó y drenó libremente por espacio de 24 a 72 horas (cuanto más pesado el suelo, más demora en llegar a capacidad de campo (CC)).

Para determinar la capacidad de campo se eligió una zona del terreno representativa de los cuadros a regar, se marcó una superficie de un metro por un metro, luego con una azada se eliminó toda la vegetación y los primeros centímetros del suelo.

Se procedió a construir un borde de tierra apisonada de unos 0.10 metros de altura, rodeando dicho cuadrado. Se le colocó agua en el cuadrado a modo de asegurar la saturación del perfil, ya que la prueba se realizó en época seca con aproximadamente 40 Litros de agua en cada melga muestreada.

Luego se cubrió el cuadrado saturado con una bolsa negra grande (aproximadamente dos por dos metros) para prevenir las pérdidas por evaporación, los bordes se cubrieron con tierra para evitar la evaporación del agua.

Luego de 48 horas, se retiró la bolsa negra y se extrajeron las muestras de suelo de cero a 0.20 metros de profundidad de la zona central del cuadrado. Las muestras se tomaron con un barreno. Inmediatamente extraídas, fueron envasadas para evitar que perdieran

agua por evaporación y rotuladas debidamente para identificar el lugar donde habían sido sustraídas.

Las muestras obtenidas de suelo con contenido de agua a capacidad de campo fueron pesadas. Luego de este paso, se llevaron a secar en el horno a 105 grados Celsius, y una vez secas, se pesaron nuevamente para obtener de esta manera el peso del suelo seco.

Cálculo del contenido de agua a capacidad de campo (CC) según García *et al* s. f: El contenido de agua en peso a capacidad de campo es el peso de agua dividido el peso del suelo seco.

$$CC (\%) = \frac{(\text{Peso Fresco a CC (gramos)} - \text{Peso Suelo Seco(gramos)})}{\text{Peso Suelo Seco (gramos)}} \times 100$$

#### **3.2.3.4 Punto de marchitez permanente (PMP)**

Para la obtención del PMP por el método biológico, se utilizó suelo tamizado tomado de los diferentes puntos de lugar de estudio. A estos agregados se les colocó en macetas, se les humedeció lentamente y se le mantuvo a capacidad de campo por cinco días. Luego se sembraron semillas de girasol, manteniendo las macetas en valores de humedad cercanos a capacidad de campo hasta que germinaran. Cuando las plantas presentaron síntomas de marchitez fueron introducidas en una cámara húmeda que se construyó con un recipiente de cinco galones, en el fondo del cual se colocó una lámina de agua de aproximadamente cinco centímetros y un bloque de concreto que sirvió de soporte al pote con la planta y que no permitiera el contacto del agua con la parte inferior del pote. Posteriormente se cubrió el recipiente con un pedazo de plástico y se amarró

con un caucho para evitar que la humedad se evaporara y se saliera del recipiente. Luego, el recipiente que tenía la planta fue ubicado en un lugar protegido de los rayos del sol por 12 horas. Si la planta en ese periodo de tiempo no recobraba la turgencia estaría indicando que había alcanzado el punto de marchitez permanente (Solís, 2022).

Para determinar el valor de humedad del suelo se procedió a pesar 20 gramos de suelo provenientes del área donde se encontraba la raíz y se procedió a colocar en el horno de secado que debía estar entre los 105° centígrados y 110° centígrados por un tiempo de 48 horas.

La fórmula para calcular dicho valor es la siguiente:

$$\text{PMP} = \frac{(\text{Peso Fresco en PMP} - \text{Peso Suelo Seco})}{\text{Peso Suelo Seco}} \times 100$$

Donde:

PMP: punto de marchitez permanente porcentaje (%)

Peso fresco a PMP: Peso del suelo fresco en el punto de marchitez permanente (gr)

Peso suelo seco: Peso del suelo secado en el horno, a 105°C, en gramos (gr)

### **3.2.3.5 Lámina de riego (Lr)**

Los cultivos toman del suelo el agua que requieren para su desarrollo óptimo; por ende, los requerimientos hídricos se aplicarán a través del riego, lo que hace necesario calcular la lámina de riego que se aplicará al suelo. Según Chow (2015) la misma se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$Lr = (CC-PMP) / 100 \times Pr \times Da.$$

Siendo:

Lr= Lámina de riego en milímetros (mm)

CC= Corresponde a los valores de capacidad de campo en porcentaje (%)

PMP= Punto de marchitez permanente en porcentaje (%)

Pr= Profundidad de raíces en centímetros (cm)

Da= Densidad aparente en gramos por mililitros (g/ml)

### 3.3 Parámetros a evaluar

- Infiltración del agua en el suelo
- Capacidad de Campo
- Punto de marchitez permanente
- Densidad aparente
- Textura de suelo
- Análisis de los datos: Esta evaluación se logró a través de los datos obtenidos en campo tras los diversos parámetros, considerando la guía proporcionada en el cuadro resumen de Grassi 1998. Tal proceso fue primordial para lograr conclusiones precisas que nos ayudaron a cumplir con nuestros objetivos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Parámetros hídricos del suelo en las parcelas nueve y diez, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí.

#### 4.1.2 Velocidad de infiltración del agua en el suelo



Fuente: obtenida en campo por el autor

**Figura N°2. Parcelas nueve y diez con los puntos en donde se realizaron las pruebas de infiltración.**

La Figura N°2 representa con estrellas amarillas los puntos donde se realizaron las pruebas de infiltración con los cilindros infiltrómetros. En el lugar donde aparecen estrellas rojas no fue posible la realización de las pruebas, ya que las melgas contaban con cultivos de arroz y en el momento se encontraban bajo el sistema de riego activo.



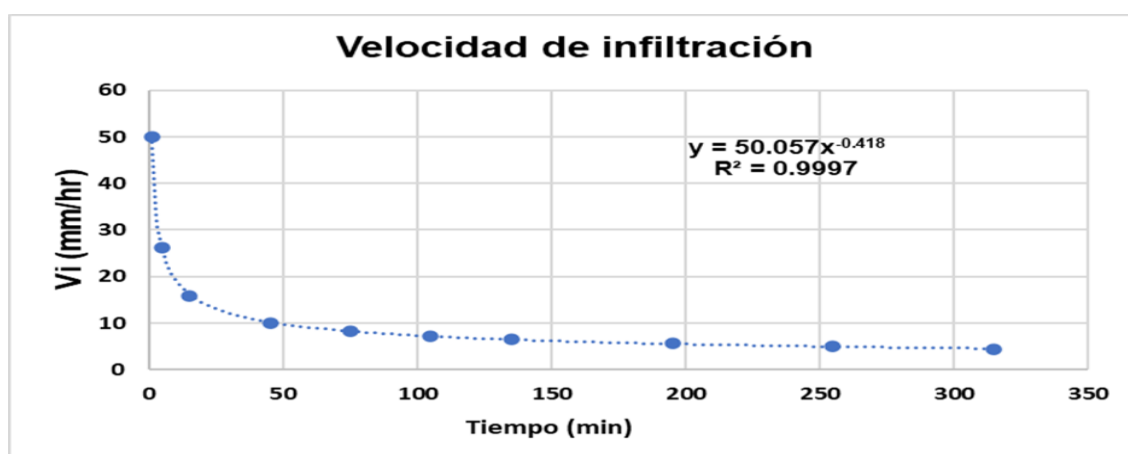
## Velocidad de Infiltración ( $V_i$ )

**Cuadro VI: Valores de la velocidad de infiltración (mm/h)**

Tiempo (min)	$V_i$ (mm/h)
1	50.00
5	26.13
15	15.83
45	9.90
75	8.26
105	7.17
135	6.50
195	5.68
255	5.10
315	4.34

Fuente: realizada por el autor

El Cuadro VI presenta el tiempo en minutos en que el agua se filtra en el suelo dentro de un determinado lapso. El agua se presenta en milímetros por hora y corresponde al promedio de lecturas de la velocidad de infiltración que se realizaron en las 31 melgas.



**Figura N°3. Velocidad de infiltración promedio de las 31 melgas muestreadas**

En el gráfico de la Figura N°3 se observa la velocidad de infiltración promedio registrada en las 31 melgas de muestreo; allí se aprecia que la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante en el tiempo, lo que se conoce como velocidad de infiltración básica. En los anexos aparecen todos los ensayos de infiltración realizados en campo que evidencian variabilidad de infiltración de estas.

### **Infiltración Básica (Ib.)**

En relación con los datos encontrados en cada una de las pruebas de infiltración, se optó por el criterio de utilizar el promedio de la velocidad de infiltración básicas obtenidas de las 31 melgas (ANEXO LXXXIV), con el fin de asumir un criterio encontrando que el valor de infiltración básica promedio es de 9,0 milímetros por hora correspondiente a suelos de textura Franco según los valores de infiltración básica de los suelos (Cuadro N°1).



**Figura N°4. Infiltración básica promedio de las 31 melgas muestreadas**

La figura N°4 muestra que la IB comienza aproximadamente a los 105 minutos. Llevándose desde los 105 minutos de tiempo de la gráfica y trazando una línea hacia la Vi (milímetros), va a dar unos 9.0 milímetros por hora aproximadamente, siendo esta la

Infiltración Básica (IB), lo que coincide con el método analítico empleado que dio como resultado 9.0 milímetros por hora (ANEXO LXXXIV).

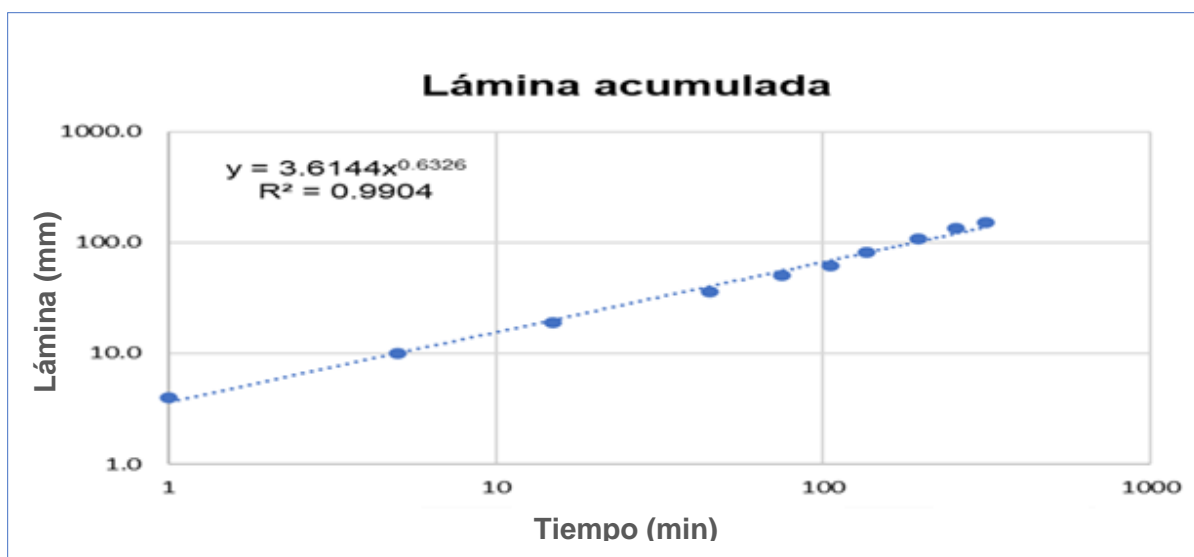
### **Lámina acumulada**

**Cuadro VII: Valores de la lámina acumulada**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Infiltración (mm)</b>
1	6.16
5	16.06
15	28.77
45	51.71
75	71.52
105	87.42
135	102.16
195	126.81
255	147.13
315	153.81

Fuente: realizada por el autor

El Cuadro VII presenta la cantidad promedio de agua acumulada en milímetros de las 31 melgas que fueron muestreadas, el tiempo en minutos en que se filtra el agua en el suelo en un determinado lapso.



**Figura N°5. Lámina de infiltración acumulada promedio de las 31 melgas muestreadas.**

En la Figura N°5 se observa la cantidad promedio de agua acumulada en milímetros de las 31 melgas que fueron muestreadas, la cual se percola en el suelo en un tiempo determinado. En esta medición se contó desde el momento que se agregó el agua, teniendo como resultado una curva ascendente en cuanto a los diferentes valores de la lámina infiltrada en los diferentes periodos de tiempo.

### 4.1.3 Propiedades físicas del suelo



Fuente: obtenida en campo por el autor

**Figura N°6. Puntos donde se recopilaron las muestras para determinar las propiedades físicas del suelo.**

La Figura N°6 muestra las 12 melgas donde se recopilaron las muestras para la determinación de las propiedades físicas del suelo. Tales evidencias se tomaron en lugares representativos de las parcelas nueve y diez cultivadas bajo un sistema de riego por melgas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, con la finalidad de recopilar los valores correspondientes para conocer la textura de suelo, la densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente del sitio.

**Cuadro VIII. Porcentajes relativos de las partículas según su tamaño (arena, limo y arcilla) y clasificación textural.**

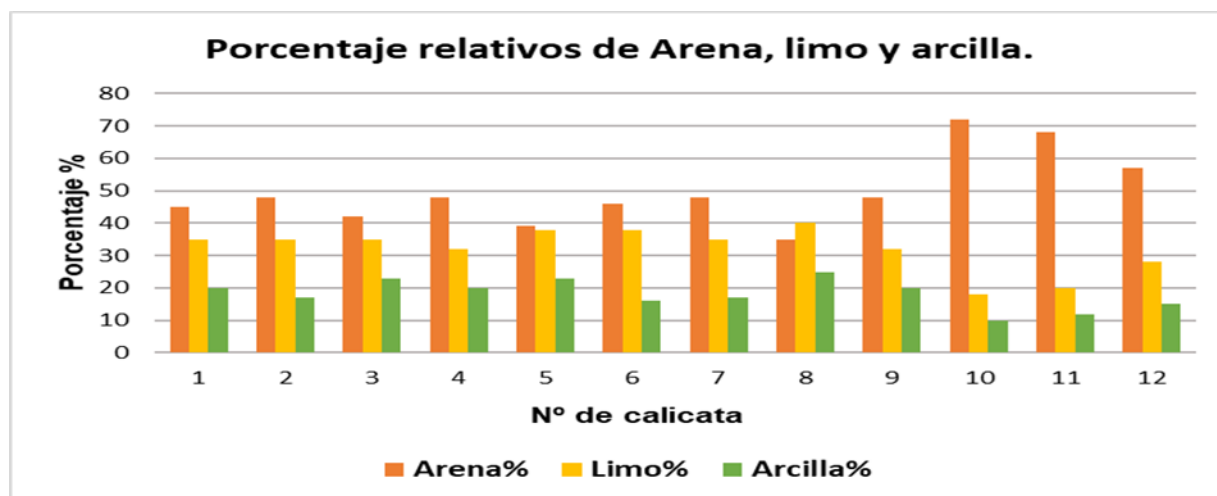
<b>Nº de calicata</b>	<b>Arena%</b>	<b>Limo%</b>	<b>Arcilla%</b>	<b>Clase textural</b>
<b>1</b>	45	35	20	Franco
<b>2</b>	48	35	17	Franco
<b>3</b>	42	35	23	Franco
<b>4</b>	48	32	20	Franco
<b>5</b>	39	38	23	Franco
<b>6</b>	46	38	16	Franco
<b>7</b>	48	35	17	Franco
<b>8</b>	35	40	25	Franco
<b>9</b>	48	32	20	Franco
<b>10</b>	72	18	10	Franco Arenoso
<b>11</b>	68	20	12	Franco Arenoso
<b>12</b>	57	28	15	Franco Arenoso

Fuente: realizado por el autor.

El cuadro VIII presenta los resultados obtenidos a través de la metodología de Bouyoucos. Puede observarse que entre las 12 melgas de estudios se encuentran suelos Franco y Franco Arenosos, teniendo presente que en la parcela diez predomina la textura de suelo Franco mientras que la parcela nueve aparecen los suelos Franco arenoso. Por ende, las melgas muestreadas presentan tipos de suelos ideales para la mayoría de las plantas, ya que retienen el agua y sus nutrientes, pero a la vez poseen un buen drenaje y buena aeración, dado que contienen mayor porcentaje de arena en su composición como lo indica el cuadro.

El gráfico N°1 indica que las melgas con mayores presencias de fracciones de arena se registran en las calicatas 10, 11 y 12, receptáculos de suelos Franco arenosos, con

porcentajes de 72, 68 y 57 de dicha fracción, los cuales se consideran que muestran mayor aeración por su porcentaje de arena, mientras que la calicata 10 es la que presenta a su vez el menor porcentaje tanto de fracciones de limo en un 18 por ciento, así como de la Fracción arcilla en un 10 por ciento. Por otra parte, en la calicata ocho encontramos el mayor porcentaje de la Fracción de limo en un 40 por ciento, así como también muestra el menor porcentaje de la fracción de arena en un 35 por ciento.



Fuente: realizada por el autor

**Gráfico N°1. Comparación de las fracciones granulométricas (porcentajes relativos de arena, limo y arcilla) de las melgas muestreadas.**

#### **4.1.3.2 Propiedades físicas del suelo: densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.**

Para obtener la textura de suelo en función de sus propiedades físicas, se utilizó el cuadro resumen de propiedades físicas de Grassi 1998, (CUADRO III), en el cual se puede conocer que los suelos que se encuentran en las parcelas nueve y diez cultivadas

de arroz bajo un sistema de riego por melgas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, República de Panamá, pertenecen a la categoría de suelos Franco y Franco Arenoso. (Ver CUADRO IX)

**Cuadro IX. Valores observados y estimados de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), densidad aparente (DA), textura de suelo y la lámina de riego.**

Nº de Calicata	Densidad Aparente gr/ml	Capacidad de Campo %	Punto de Marchitez Permanente %	Textura de suelo	Lámina de Riego (cm), a 30 cm de profundidad radical
1	1.36	24	12	Franco	4.9
2	1.4	23	10	Franco	5.4
3	1.35	24	8	Franco	6.5
4	1.34	23	12	Franco	4.4
5	1.43	22	12	Franco	4.3
6	1.32	22	10	Franco	4.7
7	1.23	22	10	Franco	4.4
8	1.21	23	8	Franco	5.4
9	1.27	26	10	Franco	6.1
10	1.36	17	8	Franco Arenoso	3.7
11	1.4	18	8	Franco Arenoso	4.2
12	1.38	20	12	Franco	3.3

Fuente: realizado por el autor

El análisis muestra los resultados de las propiedades estudiadas exponiendo la variación en las propiedades físicas entre cada una de las melgas investigadas de las cuales se tomó un promedio representativo de los diferentes datos obtenidos de los horizontes.



## 4.2 Discusión de Resultados

En este trabajo se determinaron las propiedades físicas del suelo y se evaluó la infiltración básica en dos parcelas cultivadas de arroz bajo un sistema de riego por melgas. Los resultados en campo indican variación en las diversas melgas muestreadas en cuanto a las propiedades físicas, considerando que en la clasificación textural a través del método de Bouyoucos se determinó que la melga 12 presentaba suelos franco arenosos, mientras que basándose en el cuadro resumen de Grassi, 1998 de las propiedades físicas del suelo, la misma melga presentaba suelos franco, teniendo presente que esta sufrió variación por el porcentaje obtenido en la capacidad de campo que se tomó de cero a 0.20 metros de profundidad. En el análisis textural por el método de Bouyoucos se tomó un promedio, ya que, las muestras se obtuvieron en distintas profundidades del suelo. esto es similar a lo encontrado por Vargas, G. (1992) quien reporta diferentes clases texturales en el horizonte. Estas diferencias se explicarían por las diferentes profundidades u horizontes al cual es muestreado, notándose que a mayor profundidad la textura del suelo se hace más fina, debido a que el agua arrastra las partículas de menor diámetro a mayor profundidad por el proceso de infiltración.

Así como los valores presentados de densidad aparente de las parcelas de estudio concuerdan con Reyes *et al* (2017), el incremento de la densidad aparente influye sobre la mayoría de las propiedades del suelo, causa principal de bajos valores de infiltración, lo que se ve claramente reflejado en el presente estudio, dado que, algunas melgas muestreadas presentan visiblemente valores de densidad aparentemente mucho menores que otras. Incluso Tapia *et al* (2020), señala que es posible pensar que la variación observada en los parámetros de infiltración medidos se deba mayormente a la

presencia de vegetación y a los métodos de preparación del suelo. Por lo que en algunas áreas de las parcelas se encuentran velocidades de infiltración moderada y en muchas otras moderadamente lenta, atendiendo que están constituidas por suelos franco y franco arenoso. Los resultados coinciden con lo señalado por Almanza et al. (1999), al indicar que la infiltración de agua en los suelos está estrechamente asociada con la textura de los mismos, ya que los suelos con menos de 20% de arena tienen infiltraciones lentas y los de 50% tienen infiltración moderadas, considerando que los suelos de las parcelas de estudios nueve y diez de la Facultad de Ciencias Agropecuarias presentan un porcentaje de arena promedio de 49%, lo que concuerda con la velocidad de infiltración básica moderadamente lenta obtenida por medio de los valores promedio de infiltración según los resultados alcanzados con la ecuación de Kostiakov (Cuadro I).

## 5. CONCLUSIONES

- El método del cilindro infiltrómetro y el modelo de la ecuación de Kostiakov utilizado para determinar la velocidad de infiltración de agua en los suelos estudiados, son altamente eficaces para describir el comportamiento de este. Las diferencias contempladas en las velocidades de infiltración se deben además de la clasificación del suelo, a otros factores como lo son el uso y cobertura de este.
- Los suelos de las parcelas nueve y diez cultivadas de arroz bajo un sistema de riego por melgas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, República de Panamá, donde se realizaron las pruebas de infiltración en las parcelas de estudios, son suelos moderadamente bien adaptados para una agricultura bajo riego, incluso sugieren la implementación de métodos de riego que cumplan con la lámina y tiempo de riego requeridos. En este caso las parcelas presentaron una lámina de riego promedio de 4.8 centímetros a una profundidad radical de 30 centímetros, así como también una infiltración básica promedio de 9.0 milímetros por hora lo que se estima que es moderadamente lenta y presentan suelos francos. Son considerados suelos francos y franco arenoso, debido a las propiedades físicas estudiadas, lo cual permite concluir que estos presentan una buena condición en cuanto a la infiltración del agua y la buena aeración; por ende, tiene mucho potencial para las actividades agrícolas que se desarrollan en el momento siempre que se apliquen las prácticas adecuadas de manejo de suelos para garantizar la sostenibilidad de este recurso.

## 6. RECOMENDACIONES

- Es necesario que la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá concientice a los alumnos y productores agrícolas sobre la importancia del correcto manejo del suelo, así como conocer y controlar el tiempo óptimo de regadío, para aportar a la conservación tanto del suelo como del recurso agua y obtener mejores resultados en el rendimiento de los cultivos, mientras se estén aplicando los sistemas de riego.
- Utilizar estos estudios para la toma de decisiones en cuanto a los sistemas de riegos y cultivos que se implementen en el lugar muestreado.
- Las pruebas de infiltración se deben realizar tanto en el periodo seco, así como también en el lluvioso, para disponer de resultados promedios.
- Continuar con el estudio de las propiedades físicas del suelo de las parcelas nueve y diez cultivadas de arroz bajo un sistema de riego por melgas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, República de Panamá, a fin de disponer de información confiable para proyectos agrícolas que se puedan llegar a desarrollar a futuro.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **AGUILAR, J. 2014.** Riego por melgas. s.e. (Disponible en <https://www.slideshare.net/jhoanore/riego-por-melgas> (Slideshare.net). Consultado el: 10 oct. 2020).
- **AGUILAR, N. 2020.** Cuadro guía para determinación de la velocidad de infiltración.
- **AGUILAR, N. 1990.** Estudio Climático del Centro de Enseñanzas e Investigación Agropecuaria de Chiriquí, David, Panamá. 25 pág.
- **Almanza, E; Hoyos, G; Amézquita, E; Thomas, R.; Vera, R.; Molina, D. 1999.** Relaciones entre la infiltración de agua en el suelo y algunas propiedades físicas en las sabanas de la altillanura colombiana. (Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=catalco.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=064237>. Consultado el: 25 de sep. 2021).
- **Aparicio, F. 1999.** Fundamentos de hidrología de superficie (p.210). Limusa. México,
- **BLAKE, GR. 1965.** In BLACK CA; EVANS DD; ENSMINGER LE; WHITE JL; CLARK FE; DINAVER, RC. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistic of measurement and sampling. American Society of Agronomy. Inc. Publisher. Madison Wisconsin, USA. p. 1-770.
- **Binns, J. 2020.** Fórmula para la determinación del tamaño de las muestras de las parcelas nueve y diez de F.C.A, Chiriquí.

- **Castillo, V.M. 2004.** La estrategia temática para la protección del suelo: un instrumento para el uso sostenible de los suelos en Europa. s.e (Disponible en <http://www.aeet.org/ecosistemas/041/informe2.htm>. Consultado el: 14 nov. 2020).
- **CHOW, J.2015.** Cálculo de requerimientos de riego. s.e. (Disponible en [http://www.riego.elesteliano.com/ayuda/Fto2\\_Requerimientos\\_de\\_rieg.htm#:~:text=Ahora%20calculamos%20la%20l%C3%A1mina%20de,100%20x%20Pr%20x%20Da](http://www.riego.elesteliano.com/ayuda/Fto2_Requerimientos_de_rieg.htm#:~:text=Ahora%20calculamos%20la%20l%C3%A1mina%20de,100%20x%20Pr%20x%20Da). Consultado el: 19 de sep. 2021).
- **Ciancaglini, N. (S. f).** Manual de análisis textural: Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. s.e (Disponible en [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\(R001\)%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20(R001)%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf). Consultado el: 22 mar. 2021).
- **ESPINOZA, I. s.f.** Tipos de muestreo. s.e. (Disponible en [http://www.bvs.hn/Honduras/UICFCM/Discapacidad/Escolares/Tipos.de.Muestreo.Rev.IE\\_31\\_Oct\\_17.pdf](http://www.bvs.hn/Honduras/UICFCM/Discapacidad/Escolares/Tipos.de.Muestreo.Rev.IE_31_Oct_17.pdf) (Bvs.hn). Consultado el: 25 sep. 2020).
- **ETESA, 2018.** ETESA Weather Stations. s .e. (Disponible en <https://weatherspark.com/y/16722/Average-Weather-in-Chiriqu%C3%AD-Panama-Year-Round> (Stridata-si.opendata.arcgis.com). Consultado el: 26 abr. 2021).

- **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). s.f.** Glosario de términos sobre humedad del suelo. s.e. (Disponible en <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s02.htm> (Fao.org)). Consultado el: 13 oct. 2020).
- **FAO (Organización de las Naciones para la Alimentación y La Agricultura). s.f.** Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO. (Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/> (Fao.org)). Consultado el: 12 ene. 2021).
- **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015.** Perfil del País-Panamá. s.e. (Disponible en <http://www.fao.org/3/ca0422es/CA0422ES.pdf>. Consultado el: 12 oct. 2020).
- **Fernández, R; Ávila, R; López, M; Gavilán, P; Oyonarte, N. 2010.** Manual de Riego para Agricultores. Fundamentos del Riego. s.e. (Disponible en [http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamentos\\_del\\_riego\\_1.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamentos_del_riego_1.pdf). Consultado el: 20 nov. 2020).
- **García, P; Puppo, L; Hayashi, R; Morales, P. 2016.** Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. s.e. (Disponible en [http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20%20un%20suelo%20a%20campo.p](http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20%20un%20suelo%20a%20campo.pdf)df (Fagro.edu.uy) .Consultado el: 25 mar. 2021).
- **Gavande, S. A. 1972.** Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Ed. Limusa Wiley.: 199–232.

- **GEOSEISMIC. 2017.** ¿Qué son las Calicatas? s.e. (Disponible en [http://www.geoseismic.cl/calicatas/\(geoseismic\)](http://www.geoseismic.cl/calicatas/(geoseismic)). Consultado el: 25 abr. 2021).
- **Grassi, C. J. 1998.** Fundamentos del Riego. Mérida, Venezuela. (395 Pág.)
- **GURVICH, L. (1985).** Fundamentos de diseño de sistema de riego. Costa Rica: primera edición. (Disponible en <http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/144/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20capacidad%20de%20infiltraci%C3%B3n%20por%20precipitaciones%2C%20utilizando%20infiltr%C3%B3metro%20de%20doble%20anillo.pdf?sequence=1&isA>).
- **Heraldo, E. 2015.** La agricultura consume el 70% del agua en el mundo. s.e. (Disponible en <https://www.elheraldo.co/economia/la-agricultura-consume-el-70-del-agua-en-el-mundo-188535> (EL HERALDO) Consultado el: 7 oct. 2020).
- **Heras, R. (1970).** Manual de Hidrología. Centro de Estudios Hidrográficos. (Disponible en <http://ing.unne.edu.ar/pub/infi.pdf>. Consultado el: 12. Oct. 2020).
- **Intagri. s.f.** El riego, la importancia de su programación y los parámetros de humedad en el suelo. (Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-desuprogramacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo>. Consultado el: 19 de nov. 2020).
- **Israelsen O.W. V.E. Hansen 1962.** Irrigación principles and practice, Chapter 1. John Wiley and Sons.



- **Kostiakov A.N. 1932.** On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration, pp. 17-21.
- **LAL, R. 1993.** Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability Soil and Tillage Research 27: 1-8.
- **Leyva, S., Baldoquin, A. Reyes, M. (2018).** Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. Rev. Cienc. Agr. 35(1):36-47. doi. (Disponible en <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.81>. Consultado el: 26 de sep. 2021).
- **MEJIAS, J. 2018.** Evaluación de la pérdida de suelo y nutrientes por erosión hídrica en el cultivo de piña en la Chorrera, Panamá Oeste. s.e. (Disponible en <http://up-rid.up.ac.pa/1419/1/jose%20mejia.pdf> (Up-rid.up.ac.pa). Consultado el: 14 ene. 2021).
- **MI AMBIENTE. 2009.** Atlas de las tierras secas y degradadas de Panamá. Unidad de Cambio Climático y Desertificación. Comité Nacional de Lucha contra la Sequía y la Desertificación. Panamá, PA. (77 p.)
- **MI AMBIENTE. 2010.** Atlas Ambiental de la República de Panamá. Panamá, PA. Novo Art, S.A. (187 p.)

- **MIRANDA, K. E. (2018).** Evaluación de las zanjas de infiltración como método de cosecha de agua de lluvia en pasto (*Panicum maximum* cv BRS Zuri), cultivo de frijol (*Vigna sinensis*) y plantación juvenil de mangos, Facultad de Ciencias Agropecuarias – sede Chiriquí. Karen Miranda. (115 p.)
- **Montenegro y Malagón. 1990.** Relación suelo-agua-labores culturales como medio para mejorar la competitividad de la producción de la palma aceitera. Clasificación de la velocidad de infiltración básica. (Disponible en: <http://junpalmaperu.org/congresonacionaldeproductoresdepalmaaceitera/assets/docs/pdf/Jueves%203%20Mayo/Modulo%201/2%20%20Nolver%20Arias%20Arias%20CENIPALMA.pdf>. Consultado el: 24 de sep. 2021).
- **Ortega, R. 2021.** Descripción de las parcelas nueve y diez cultivadas de arroz bajo un sistema de riego por melgas la Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, República de Panamá.
- **OSZUST, J; WILSON, M; SASAL, M. s.f.** Obtención del punto de marchitez permanente para el cálculo de agua útil para trigo y soja en suelos molisol y vertisol. s.e. (Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-obtencin-punto-de-marchitez-permanente-para-clcu.pdf> (Inta.gob.ar). Consultado el: 25 mar. 2021).
- **Peralta, J; Sardiñas, J; Hernández, R. s.f.** Caracterización de la velocidad de infiltración del agua en suelos arroceros. (Disponible en [http://www.actaf.co.cu/revistas/revistagrano/Revistas%20en%PDF%20\(Vol%207%20No%201\)/Trabajo%2010.pdf](http://www.actaf.co.cu/revistas/revistagrano/Revistas%20en%PDF%20(Vol%207%20No%201)/Trabajo%2010.pdf). Consultado el: 25 de mar.2021).

- **PINEDA, J.** s.f Riego por Inundación. s.e. (Disponible en <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/riegoporinundacion/#:~:text=Qu%C3%A9%20es%20el%20Riego%20por,agua%20para%20el%20regad%C3%A9%20C> (encolombia.com). Consultado el: 9 oct. 2020).
- **PORTA, J; LÓPEZ-ACEVEDO, M; y ROQUERO, C. 2003.** Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. (p. 960)
- **PRESA (ED.) 1980.** Estudios Agrológicos tierras patrimoniales de la Facultad de Agronomía en la Provincia de Chiriquí (p. 161).
- **Prosap. s.f** Medición de la infiltración en el suelo mediante infiltrómetros doble anillo. Valores de infiltración básica de los suelos. (Disponible en [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\\_R014\\_%20infiltrometro%20doble%20anillo.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R014_%20infiltrometro%20doble%20anillo.pdf). Consultado el: 24 de sep. 2021).
- **Ramirez, J. 2015.** Determinación del tamaño de una muestra. s.e. (Disponible en <https://www.psyma.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra> (PSYMA.). Consultado el: 23 abr. 2021).
- **Reyna, T; Reyna, S; Lábaque, M; Fulginiti, F; Riha, C; Linares. J. 2011.** Importancia de la determinación de la humedad en estudios de infiltración y escorrentía superficial para períodos largos. s.e (Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/928/92819767007.pdf>. Consultado el: 20 dic. 2021).

- **Ríos, A. 2003.** Riego por surcos. s.e. (Disponible en [https://www.ecured.cu/Riego\\_por\\_surcos#:~:text=Sistema%20de%20riego%20superficial%20mediante,conoce%20como%20riego%20por%20gravedad\(Ecured.cu\)](https://www.ecured.cu/Riego_por_surcos#:~:text=Sistema%20de%20riego%20superficial%20mediante,conoce%20como%20riego%20por%20gravedad(Ecured.cu).)). Consultado el: 9 oct. 2020).
- **ROJAS, A; HERRERA, E. 2016.** Determinación de textura por el método de bouyoucos método del hidrómetro estandarizado según norma astm-15 2h. s.e. (Disponible en [https://www.academia.edu/24095776/DETERMINACION\\_DE\\_TEXTUR\(Academia.edu\)](https://www.academia.edu/24095776/DETERMINACION_DE_TEXTUR(Academia.edu))). Consultado el: 16 ene. 2021).
- **Rojas, J; Peña, S. (S. f).** Densidad aparente. 2021, s.e. INTA (Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-densidad\\_aparente.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-densidad_aparente.pdf)). Consultado el: 7 sep. 2021).
- **RUIZ, F. 2005.** Sistemas de riego y drenajes utilizados en Panamá - Monografias.com. s.e. (Disponible en <https://www.monografias.com/trabajos88/sistema-riego-y-drenajes-utilizados-panama/sistema-riego-y-drenajes-utilizados-panama.shtml> (Monografias.com)). Consultado el: 7 abr. 2021).
- **RUIZ, G. 2017.** La erosión de los suelos en Panamá y sus impactos. s.e. (Disponible en <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/el-tecnologico/article/download/2116/3071/> (Revistas.utp.ac.pa)). Consultado el: 5 oct. 2020).

- **SANCHEZ, J. 2004.** Degradación de suelos es problema crítico. s.e. (Disponible en <https://www.panamaamerica.com.pa/nacion/degradacion-de-suelos-es-problemacritico164788#:~:text=Panam%C3%A1%20tiene%20uno%20de%20los,se%20extiende%20a%20otras%20regiones> (Panamá América). Consultado el: 12 nov. 2020).
- **SANTIBÁÑEZ, C. s.f.** Determinación de la humedad del suelo. s.e. (Disponible en [http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio\\_mod4.pdf](http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod4.pdf) (Mct.dgf.uchile.cl). Consultado el: 23 abr. 2021).
- **SEGERER, C. D. (2006).** Infiltración. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo. s.e. (Disponible en <http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/144/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20capacidad%20de%20infiltraci%C3%B3n%20por%20precipitaciones%2C%20utilizando%20infiltr%C3%B3metro%20de%20doble%20anillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Consultado el: 20 nov. 2020)
- **SFEIR, A. 2013.** El agua: Uso agropecuario sustentable | UNICEN. s.e. (Disponible en <https://www.unicen.edu.ar/content/el-agua-uso-agropecuario-sustentable#:~:text=Para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20alimentos,algunas%20fuentes%20de%20agua%20subterr%C3%A1nea> (Unicen.edu.ar). Consultado el: 13 ene. 2021).
- **SOLÍS, T. s.f.** Determinación de la textura de los suelos por el método de Bouyoucos.
- **SOLÍS, T. 2022.** Guía de las propiedades físicas del suelo.

- **STEFANU, Y. 2017.** Tablas tamaño muestral - [www.estudiosmercado.com](http://www.estudiosmercado.com). s.e. (Disponible en [http://www.estudiosmercado.com/tablas-tamano-muestral/\(www.estudiosmercado.com\)](http://www.estudiosmercado.com/tablas-tamano-muestral/(www.estudiosmercado.com))). Consultado el: 27 nov. 2020).
- **SUBSECRETARÍA DE RIEGO Y DRENAJE. 2014.** Guía metodológica para la formulación de proyectos de riego y drenaje. s.e. (Disponible en <http://www.competencias.gob.ec/wpcontent/uploads/2017/06/Gui%CC%81aFormulacio%CC%81n-de-Proyectos-2018-versio%CC%81n-final.pdf>). Consultado el: 20 nov. 2020).
- **TABOADA, M.A.; ALVAREZ, C.R. 2008.** Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- **Tapia, R; Carmona, J; Martinelli, M. 2020.** Velocidad de infiltración e infiltración base en dos comunidades arbustivas del desierto hiper árido de San Juan (Argentina). *Ecosistemas* 29(3): 2036. (Disponible en <https://doi.org/10.7818/ECOS.2036>). Consultado el: 26 de sep. 2021).
- **TRAXCO, S. 2015.** La infiltración del agua en el suelo y su redistribución. s.e. (Disponible en [https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/infiltracion-del-agua\(Traxco.es\)](https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/infiltracion-del-agua(Traxco.es))). Consultado el: 7 abr. 2021).

- **UP (Universidad de Panamá).** 2019. Convenio de cooperación y desarrollo conjunto de proyectos entre Agrosilos, S.A y la Universidad de Panamá. (Disponible en <https://uphacialaluz.com/2019/10/04/convenio-de-cooperacion-y-desarrollo-conjunto-de-proyectos-entre-agrosilos-s-a-y-la-universidad-de-panama/amp/>. Consultado el: 20 ene. 2021).
- **Vargas, G. 1992.** Estructura dinámica estacional de la vegetación en bofedal, tolar y pajonal "Iru Ichu" en el ecosistema de Puna seca. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. (Disponible en <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1171/TP%20%20UNH%20ZOOT.%200131.pdf?sequence=1&isAllowed=21>. Consultado el: 20 agosto. 2021).
- **Villalba, R.C. 2012.** Toma de muestras de suelo [Mensaje en un Blog]. (Recuperado el 30 de enero de 2015 de <http://articulacionfeyalegriasenaroberto.blogspot.com/2012/10/clase-toma-demuestra-de-suelos.html>).
- **Villarreal, J. E., Benjamín, N., & Rubiela, G. 2013.** ZONIFICACIÓN DE SUELOS DE PANAMÁ. 2021, septiembre 13, de revista ciencia agropecuaria. (Disponible en <http://revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/cienciaagropecuaria/article/download/184/142> ).
- **Zerón, J. 2013.** Infiltración. s.e. (Disponible en <https://www.slideshare.net/745249Ab/infiltracin-28343103> (Slideshare.net). Consultado el: 22 oct. 2020).

## 8. ANEXOS

### ANEXO I. VISTA PANÓRAMICA DE LA PARCELA NUEVE DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.



### ANEXO II. VISTA PANÓRAMICA DE LA PARCELA DIEZ DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.



### ANEXO III. COLOCACIÓN DE CILINDRO INFILTRÓMETRO.





**ANEXO IV. AGREGACIÓN DE AGUA PARA LUEGO MEDIR CÓMO VARIABA LA ALTURA DE ESTA EN EL CILINDRO.**



**ANEXO V. MEDICIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA ALTURA DEL AGUA EN EL CILINDRO (MÁS PEQUEÑO).**



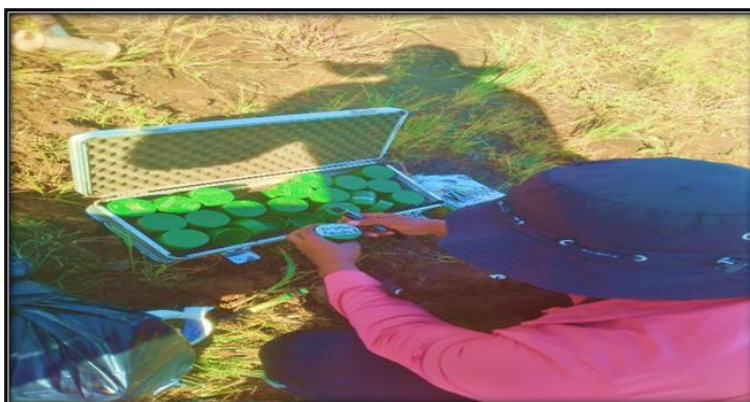
**ANEXO VI. REALIZACIÓN DE CALICATAS.**



**ANEXO VII. RECOLECCIÓN DE MUESTRA EN LOS CILINDROS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.**



**ANEXO VIII. ROTULACIÓN DE LAS MUESTRAS.**



**ANEXO IX. RECOLECCIÓN DE SUELO PARA ANÁLISIS DE TEXTURA.**





**ANEXO X. MUESTRAS DE SUELOS SECADAS AL AIRE LIBRE.****ANEXO XI. SUELO TAMIZADO.****ANEXO XII. PESANDO EL SUELO PARA EL ANÁLISIS DE TEXTURA.**

**ANEXO XIII. ANALISIS DE TEXTURA.****ANEXO XIV. MUESTRAS SECADAS EN EL HORNO PARA EL ANÁLISIS DE DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.****ANEXO XV. EXPLICACIÓN POR EL PROFESOR PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE CAPACIDAD DE CAMPO.**

**ANEXO XVI. CONSTRUCCIÓN DE UN BORDE DE TIERRA APISONADA DE UNOS DIEZ CENTÍMETROS DE ALTURA, RODEANDO DICHO CUADRADO AL CUAL SE LE COLOCÓ AGUA EN EL CUADRADO DE FORMA DE ASEGURAR LA SATURACIÓN DEL PERFIL Y BOLSA NEGRA PARA EVITAR LA PÉRDIDA DE AGUA POR EVAPORACIÓN.**



**ANEXO XVII. TOMA DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CAMPO.**





**ANEXO XVIII: GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS LUEGO DE MANTENER LAS MACETAS EN VALORES DE HUMEDAD CERCANOS A CAPACIDAD DE CAMPO, PARA DETERMINAR EL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE.**



**ANEXO XIX: COLOCACIÓN DE LOS GIRASOLES EN LA CÁMARA HÚMEDA.**



**ANEXO XX: PLANTAS DE GIRASOLES EN EL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE.**



**ANEXO XXI. LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 1, 2, 3, 4 Y 5 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIOS.**

Tiempo acumulado (Min)	Lámina acumulada (mm)				
	Melga 1	Melga 2	Melga 3	Melga 4	Melga 5
1	0.5	0.4	0.5	0.3	0.8
5	1.5	1	1.6	0.8	1.9
15	2.6	1.9	2.1	1.5	4.7
45	5	3.6	3.8	2.9	6.9
75	8.6	5	5.3	4.3	9.2
105	9.5	6.2	6.5	5.6	11.5
135	10.6	8.1	7.6	6.7	13.5
195	13.5	10.8	9.4	8.6	15.7
255	14.6	13.3	10.8	10.1	17.8
315	17	15.2	11.5	10.9	19.5

**ANEXO XXII. LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 6, 7, 8, 9 Y 10 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIOS.**

Tiempo acumulado (Min)	Lámina acumulada (mm)				
	Melga 6	Melga7	Melga8	Melga9	Melga10
1	0.7	1.2	1.3	0.8	0.5
5	2	3.5	3.2	2.1	1.3
15	3.7	5.8	5.5	3	3
45	5.9	9.5	10	5.1	6.6
75	7.7	12.5	12.6	7.1	10.4
105	9.3	15.7	15.2	8.9	13.7
135	10.8	20.2	17.2	10.5	16.7
195	12.3	23.8	19.5	13.1	20.5
255	13.6	25.7	21.7	14.7	23.6
315	14.8	-	23.3	15.9	26.5

**ANEXO XXIII. LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 11, 12, 13, 14 Y 15 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIOS.**

	Lámina acumulada (mm)				
Tiempo acumulado (Min)	Melga 11	Melga12	Melga13	Melga14	Melga15
1	0.9	0.7	0.9	0.9	0.4
5	2	1.9	1.9	2.1	1.5
15	3.5	3	3	3.4	2.9
45	5.1	5.3	4.6	6.3	5.9
75	6.4	7.2	5.9	9	8.8
105	7.6	8.7	7.1	11.4	9.9
135	9.3	10.2	8.2	13.7	11.1
195	10.6	14.5	9.7	16.1	14.3
255	11.8	18	11.1	18.3	17.5
315	-	19.1	12.2	-	20.3

**ANEXO XXIV. LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 16, 17, 18, 19 Y 20 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIOS.**

	Lámina acumulada (mm)				
Tiempo acumulado (Min)	Melga 16	Melga 17	Melga 18	Melga 19	Melga 20
1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.6
5	0.6	1.5	2	2.3	1.3
15	1.3	3	3.3	3.6	2.4
45	2.9	6.5	4.9	5.2	3.8
75	4.3	9.7	6.3	6.6	4.7
105	5.6	11.6	7.6	8	5.4
135	6.7	12.8	8.8	9.1	6.1
195	8.5	14.7	10.7	10.9	7.2
255	9.9	16.9	12.4	12.5	7.9
315	-	18.5	14	13.7	8.4



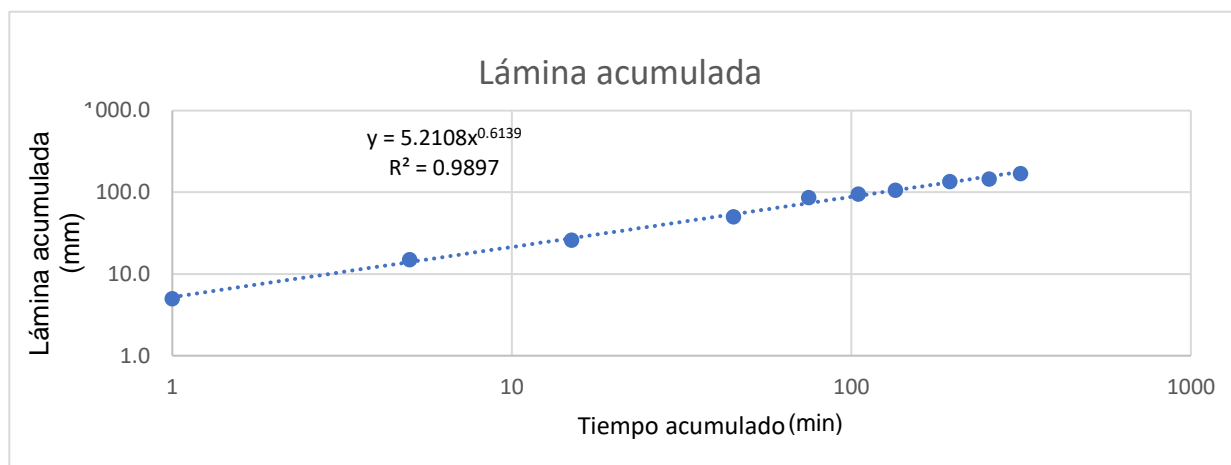
**ANEXO XXV. LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 21, 22, 26, 27 Y 28 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIOS.**

Tiempo acumulado (Min)	Lámina acumulada (mm)				
	Melga 21	Melga 22	Melga 26	Melga 27	Melga 28
1	0.6	0.1	1.1	0.2	0.3
5	1.4	0.3	3.4	0.5	0.8
15	2.6	0.5	5.7	1	1.6
45	5	1	9.4	1.8	3.5
75	7.2	1.4	12.4	2.2	5.2
105	9.1	1.8	15.5	2.6	5.7
135	10.8	2.2	16.8	3.2	6
195	15.9	3.1	20.4	3.8	8.2
255	20.8	4	22.3	4.5	9.4
315	25.3	4.2	24.1	4.9	10.2

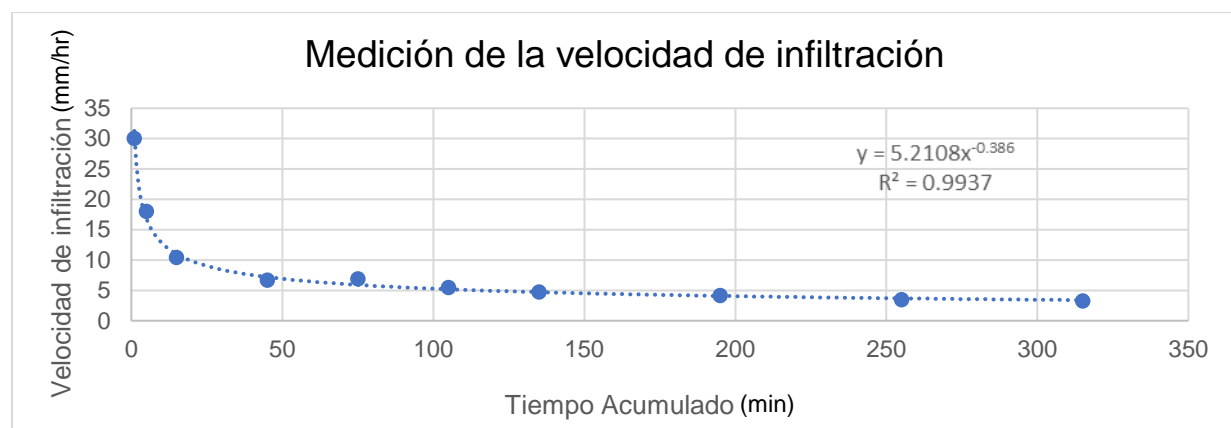
**ANEXO XXVI. LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS 29, 30, 31, 32, 33 Y 34 DE LAS PARCELAS DE ESTUDIOS.**

Tiempo acumulado (Min)	Lámina acumulada (mm)					
	Melga 29	Melga 30	Melga 31	Melga 32	Melga 33	Melga 34
1	0.2	0.9	0.2	0.7	0.7	0.2
5	0.7	2.5	0.5	1.2	2.2	0.5
15	1.6	5.8	0.9	1.7	5.1	1
45	4.4	11.6	1.8	2.4	11.1	1.7
75	6.5	16	2.6	2.8	15.8	2.3
105	8.5	20.8	3	3.2	20.4	2.7
135	10.5	25.4	3.4	3.5	24.8	3.1
195	12.6	32.8	4.1	4	33.4	4.1
255	14.5	40.6	4.6	4.4	41.5	4.8
315	16.3	-	5	4.7	49.3	5.5

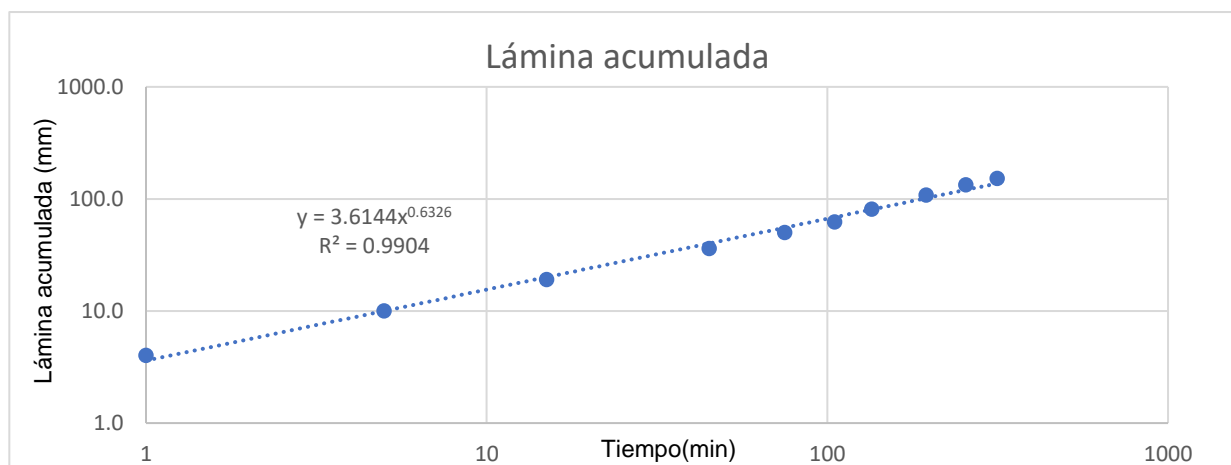
### ANEXO XXVII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°1.



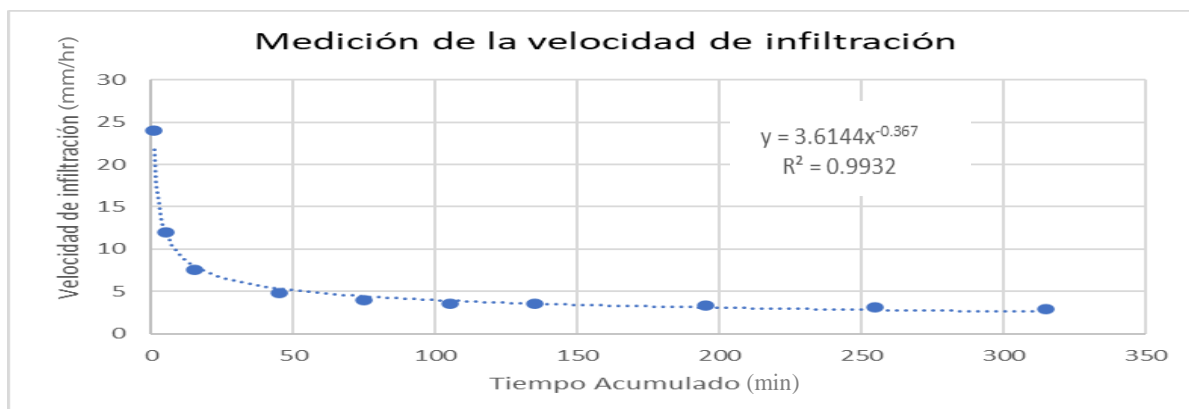
### ANEXO XXVIII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA N°1.



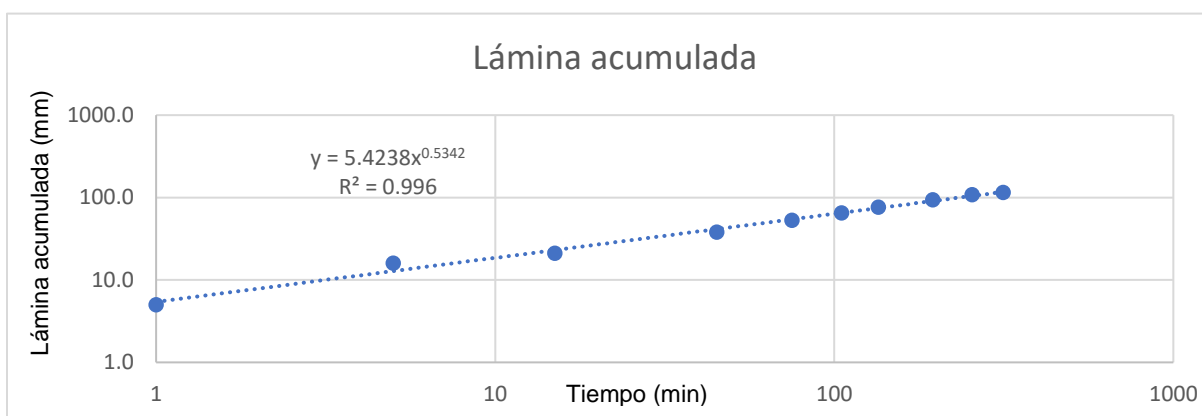
### ANEXO XXIX. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°2.



### ANEXO XXX. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°2.



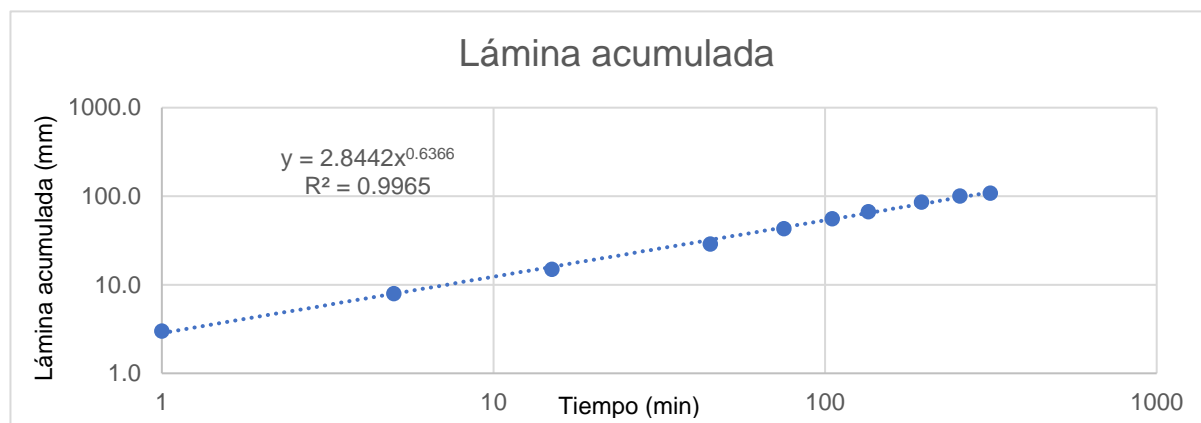
### ANEXO XXXI. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°3.



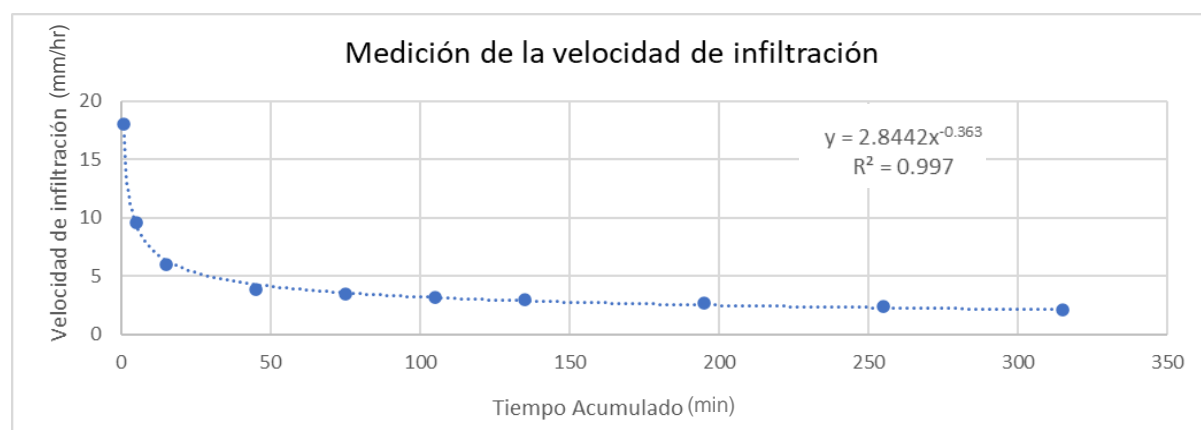
### ANEXO XXXII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°3.



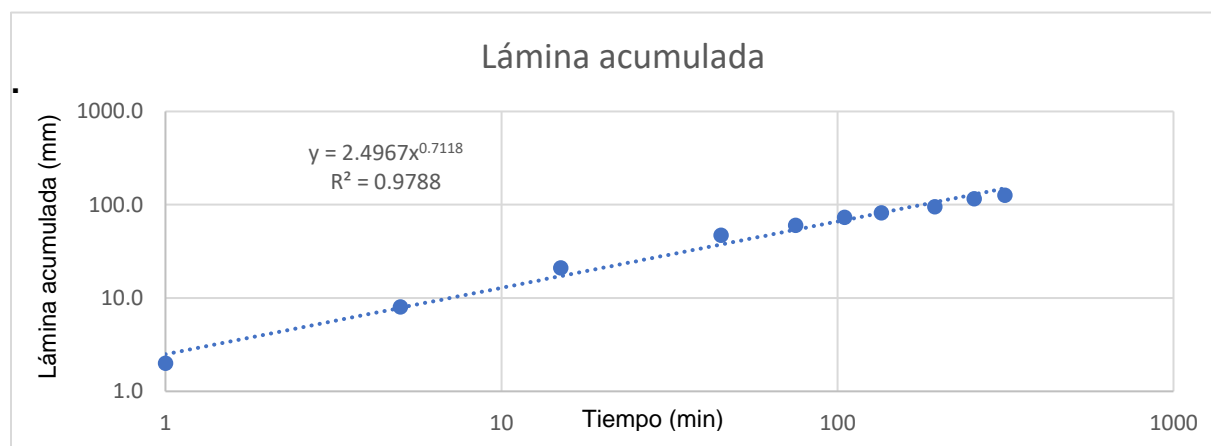
### ANEXO XXXIII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº4.



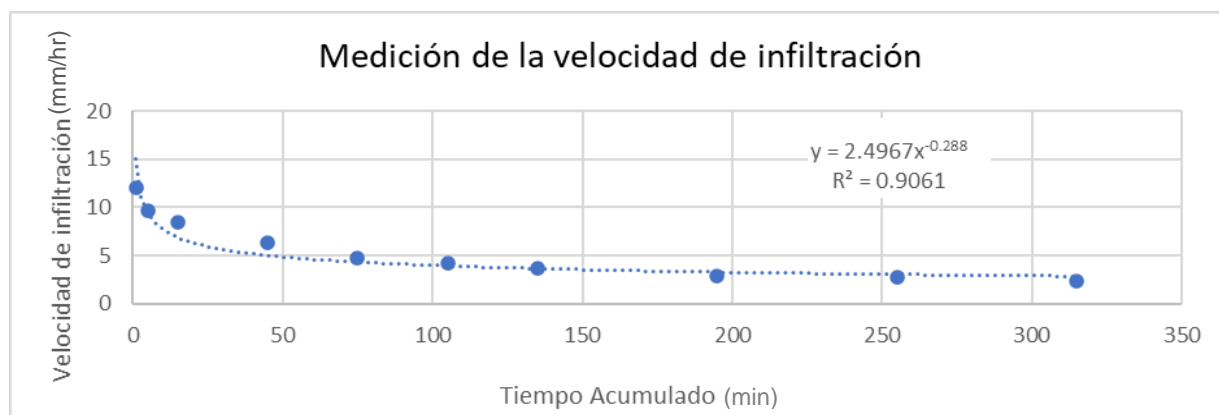
### ANEXO XXXIV. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº4



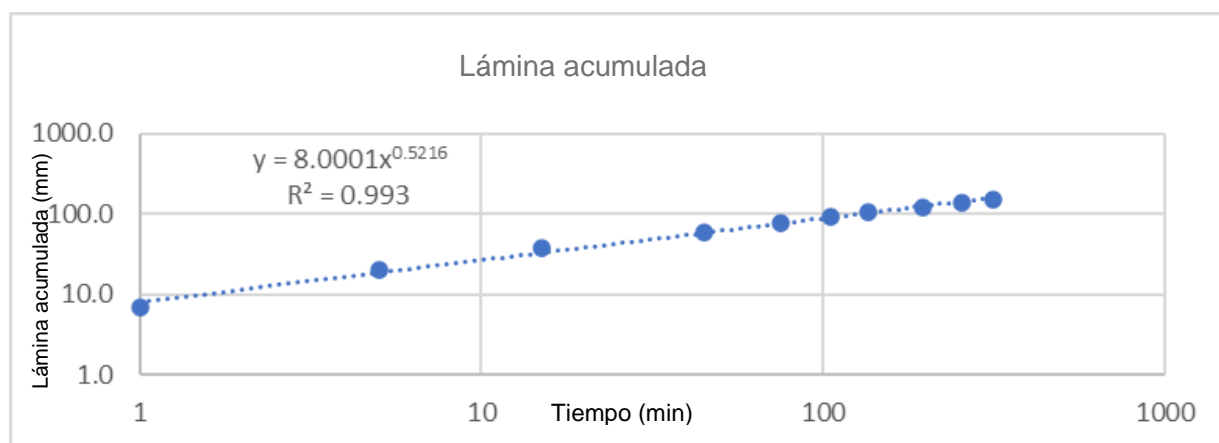
### ANEXO XXXV. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº5.



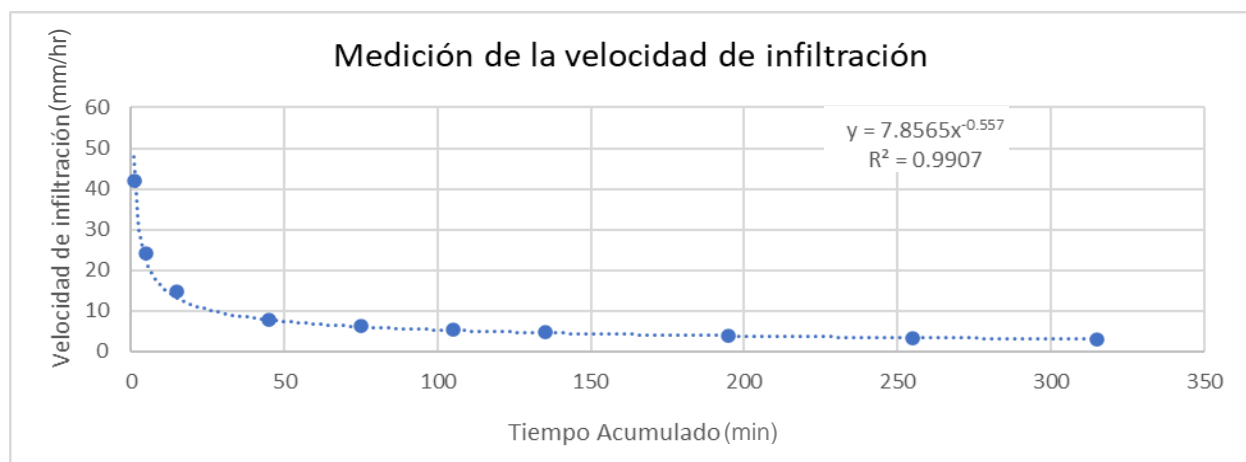
### ANEXO XXXVI. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA N°5.



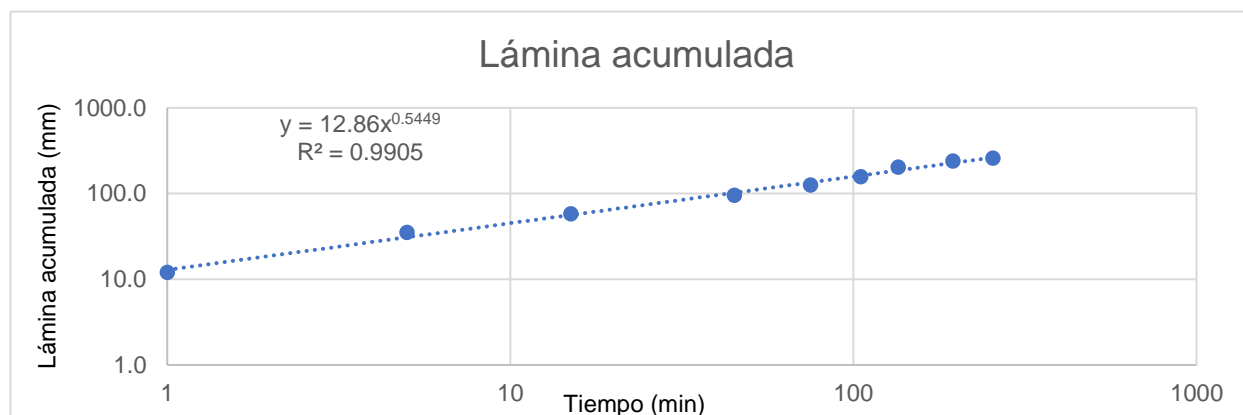
### ANEXO XXXVII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°6.



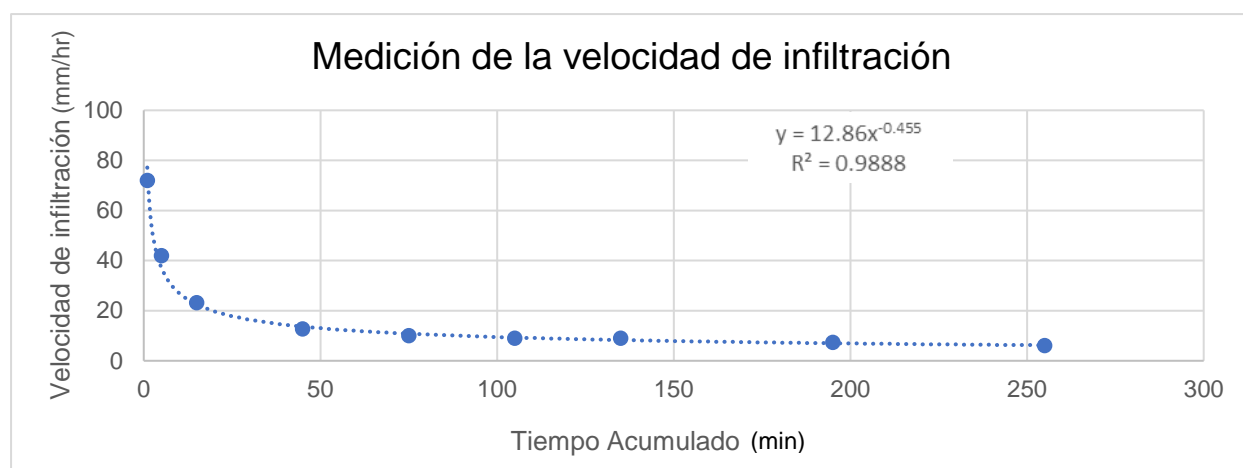
### ANEXO XXXVIII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA N°6.



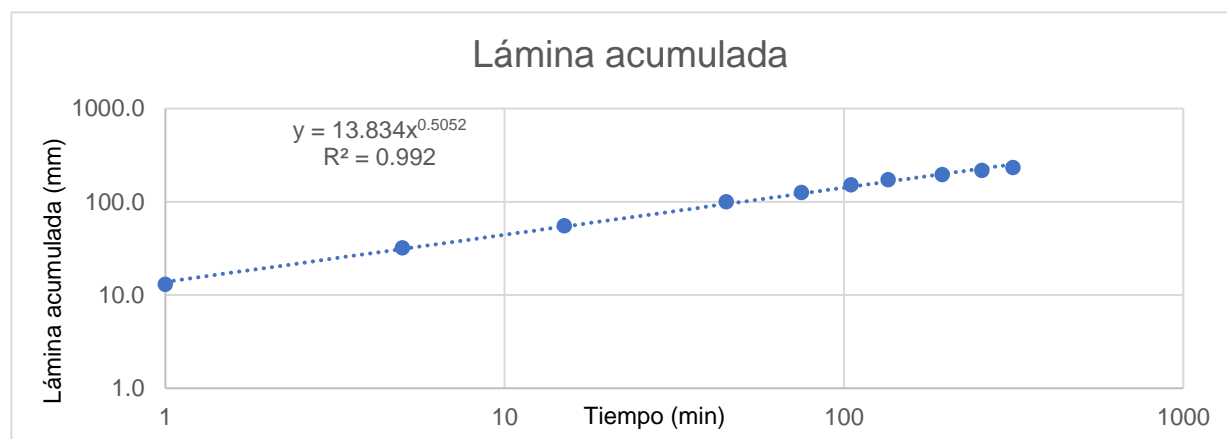
### ANEXO XXXIX. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº7.



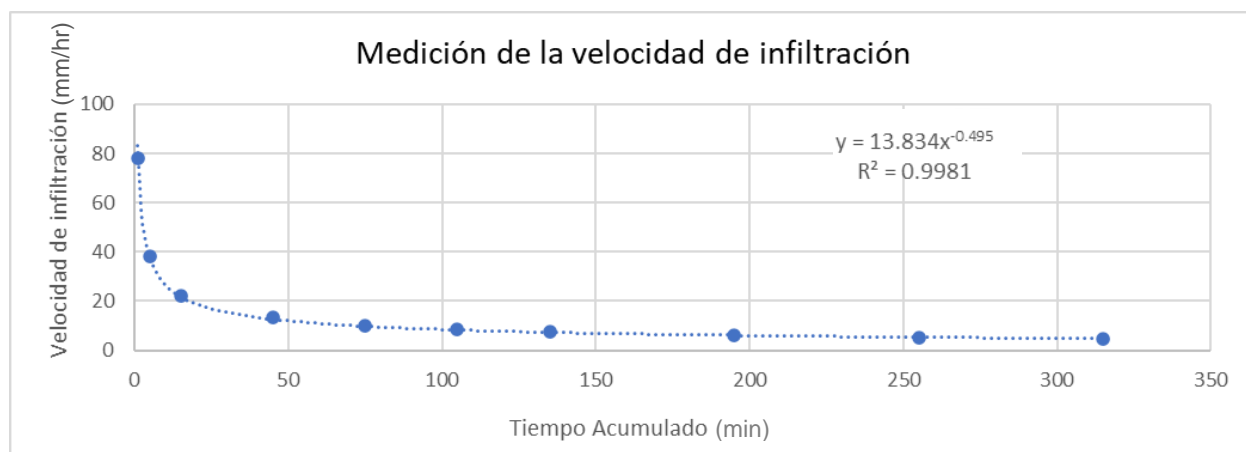
### ANEXO XL. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº7



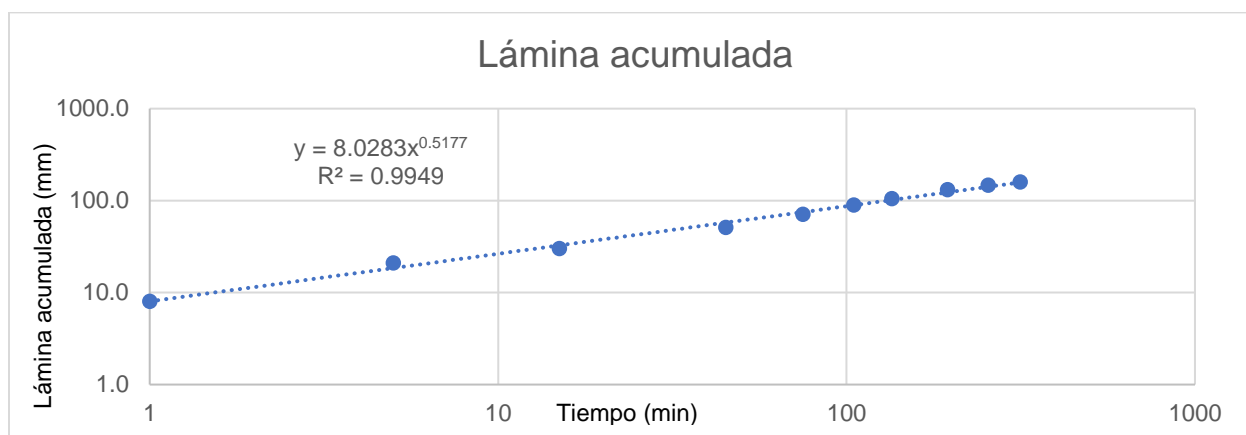
### ANEXO XLI. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº8.



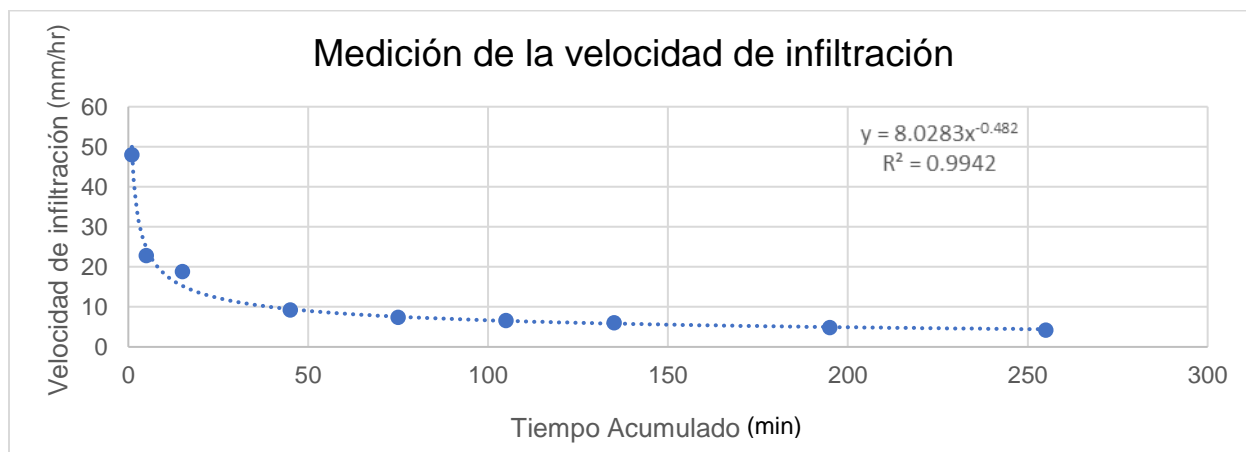
### ANEXO XLII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA Nº8.



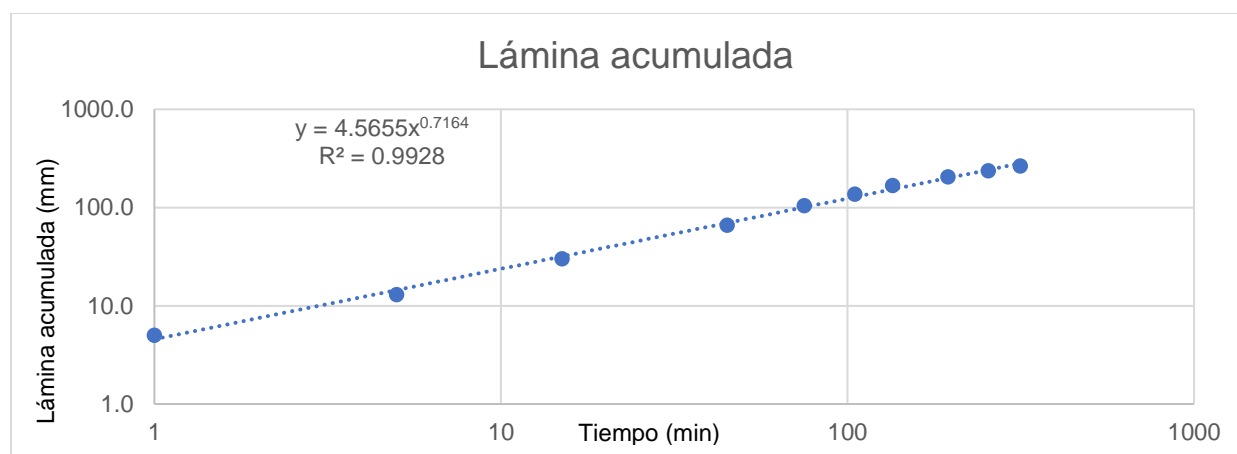
### ANEXO XLIII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº9.



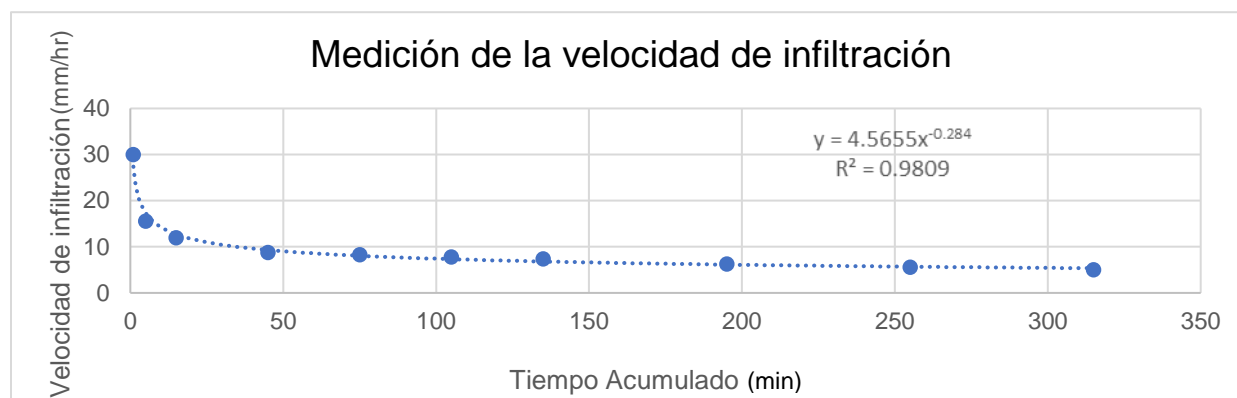
### ANEXO XLIV. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA Nº9.



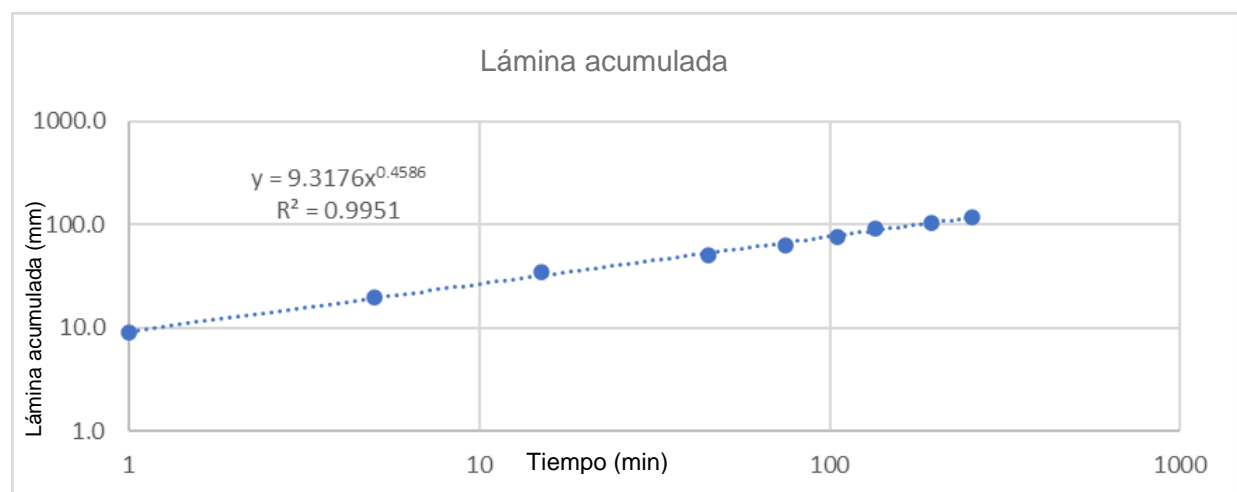
### ANEXO XLV. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº10.



### ANEXO XLVI. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº10.

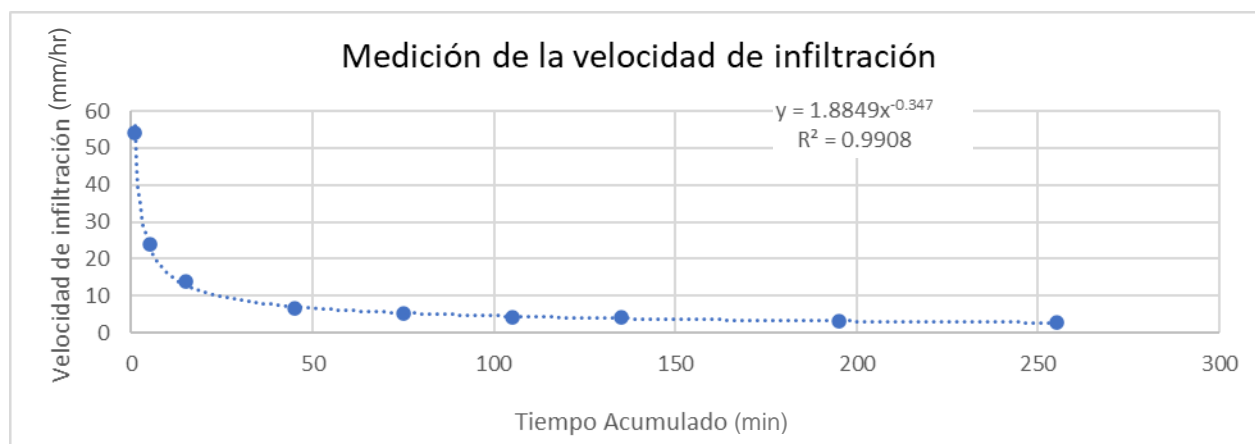


### ANEXO XLVII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº11.

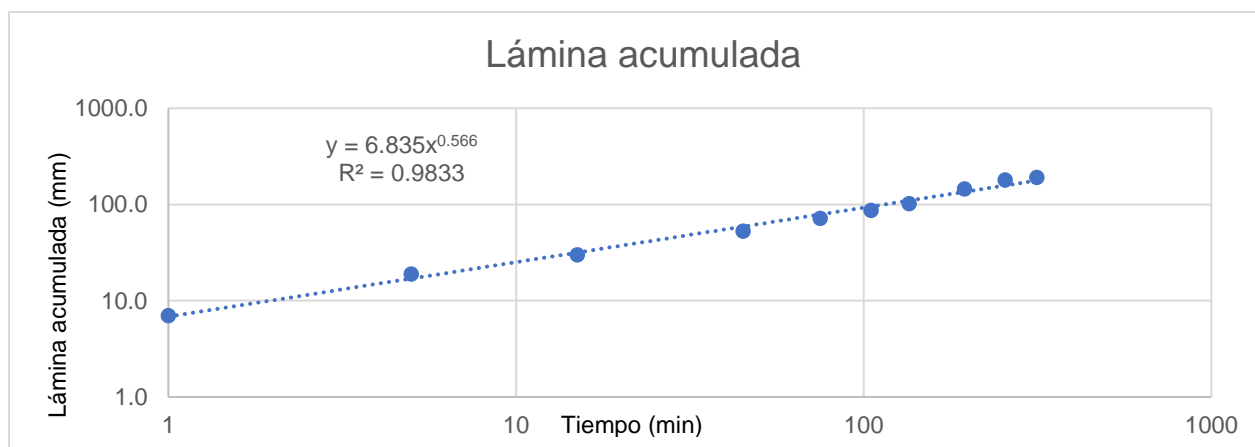




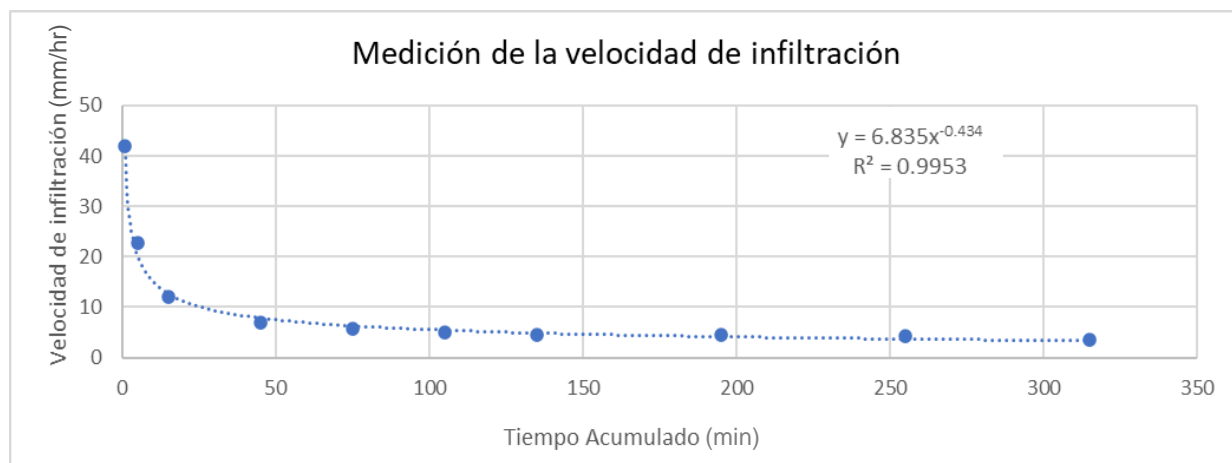
### ANEXO XLVIII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº11.



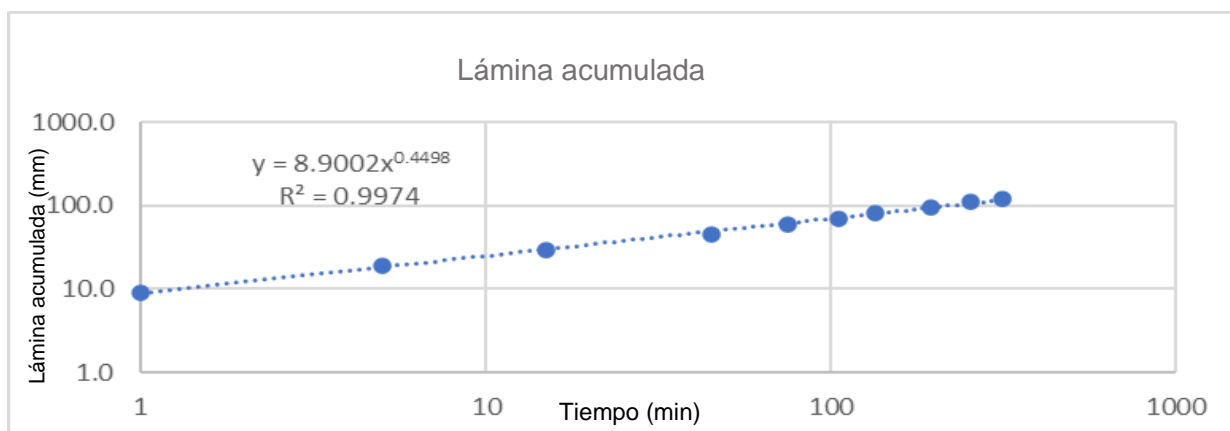
### ANEXO XLIX. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº12.



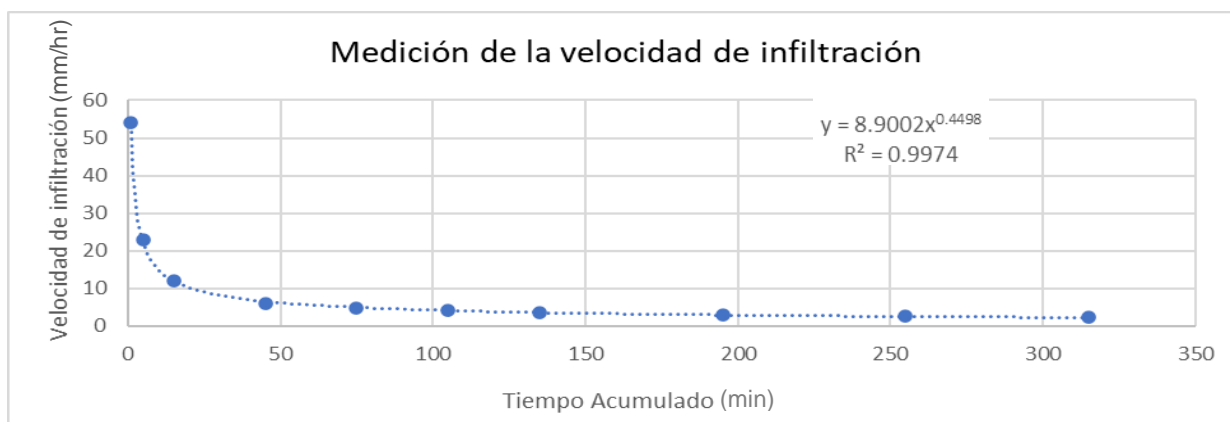
### ANEXO L. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº12.



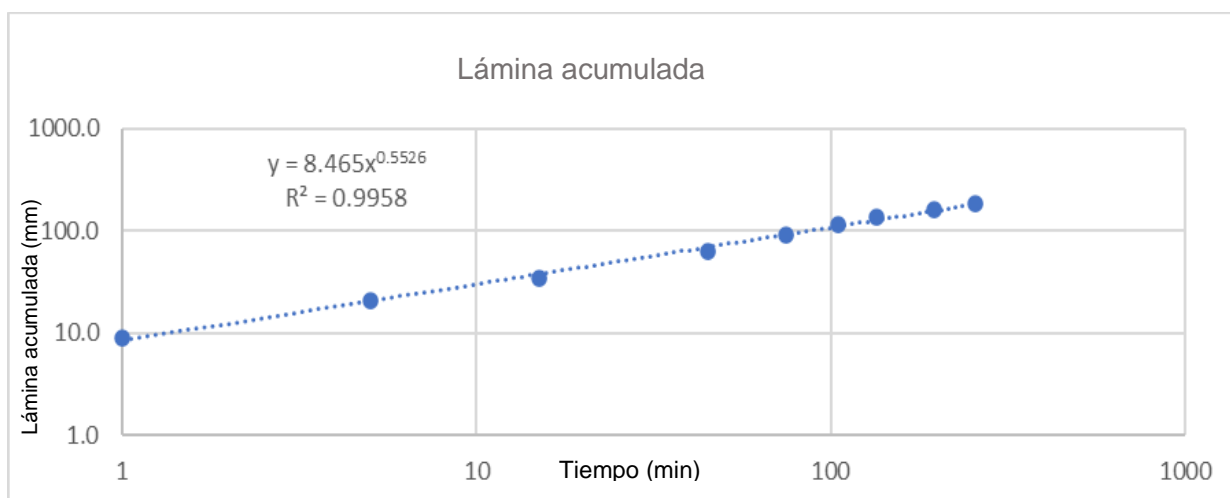
### ANEXO LI. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº13.



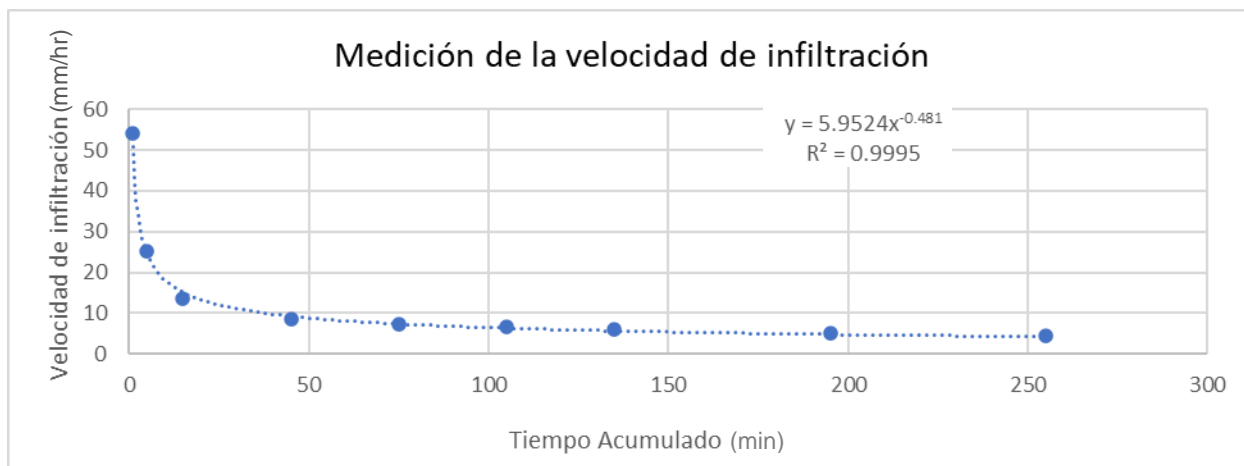
### ANEXO LII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº13.



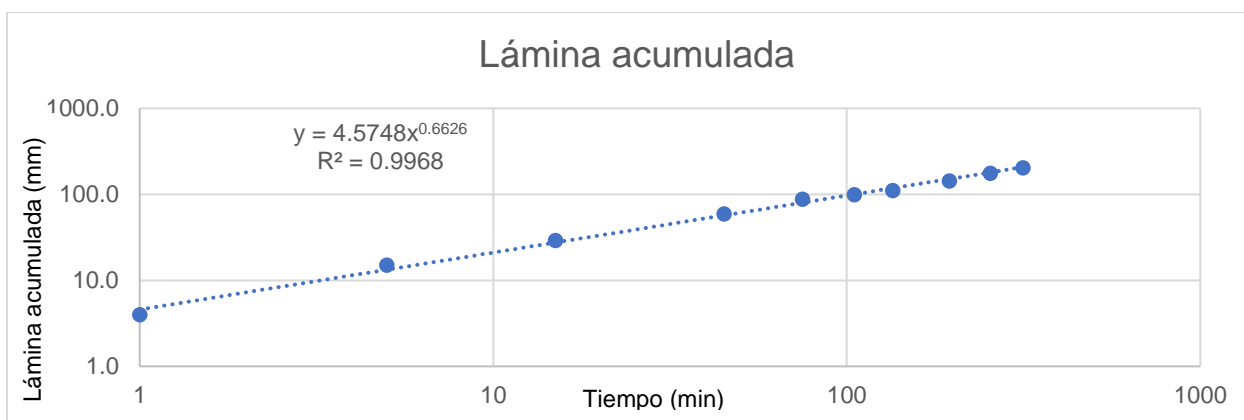
### ANEXO LIII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº14.



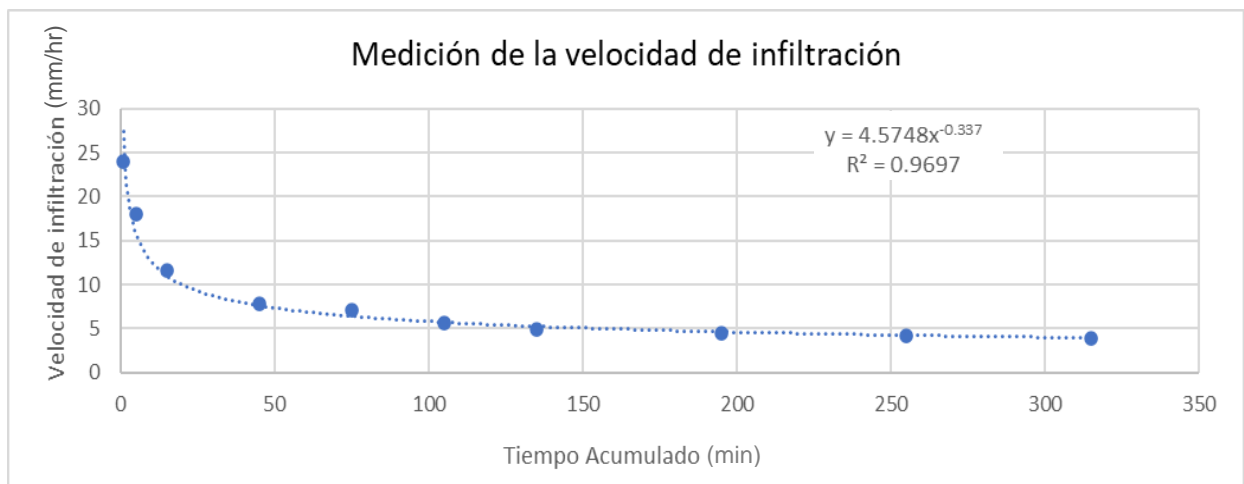
### ANEXO LIV. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA N°14.



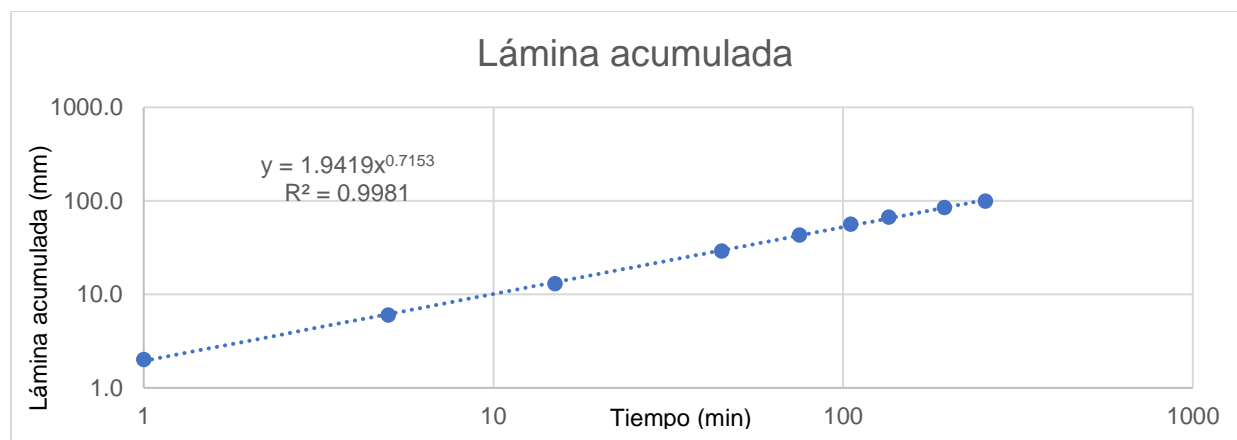
### ANEXO LV. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°15.



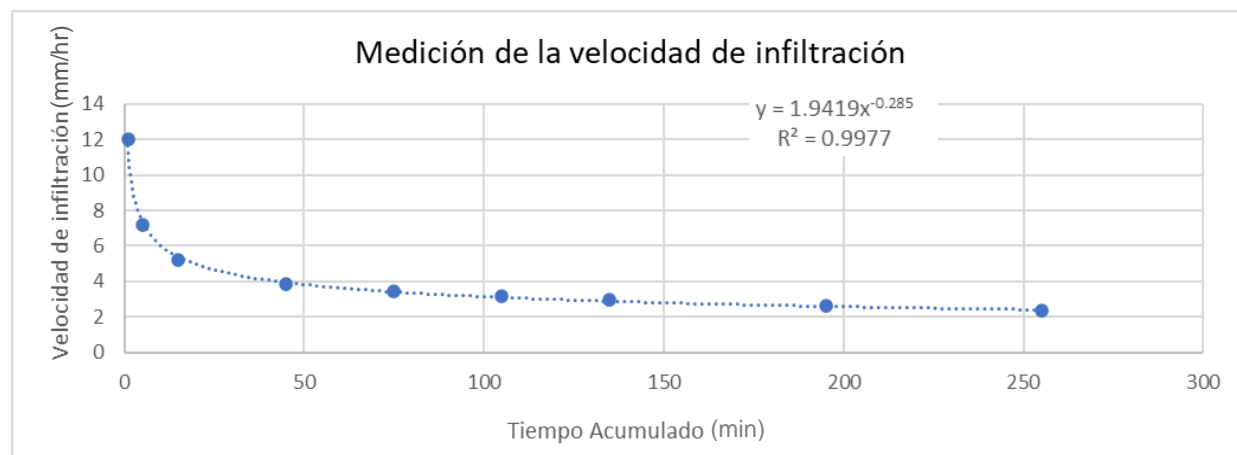
### ANEXO LVI. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA N°15.



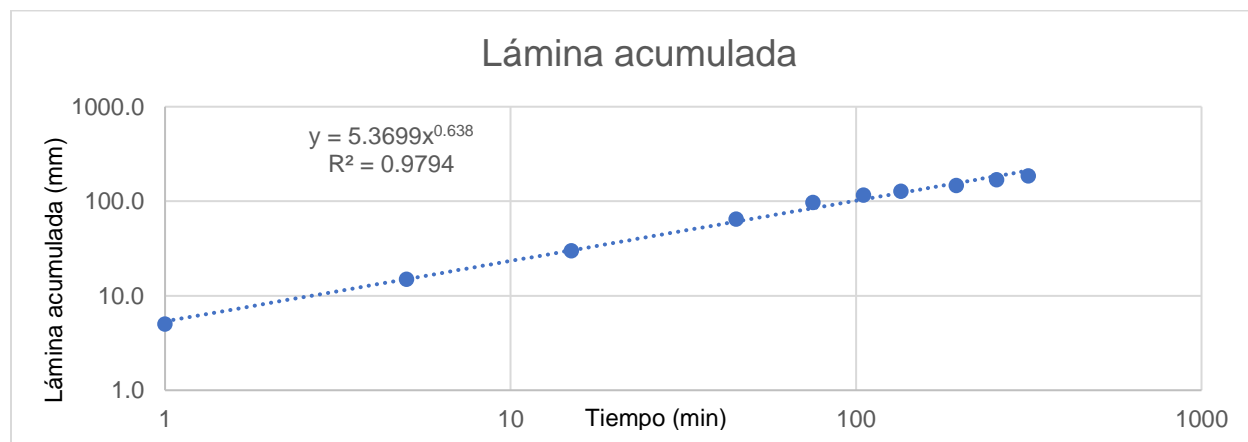
### ANEXO LVII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº16.



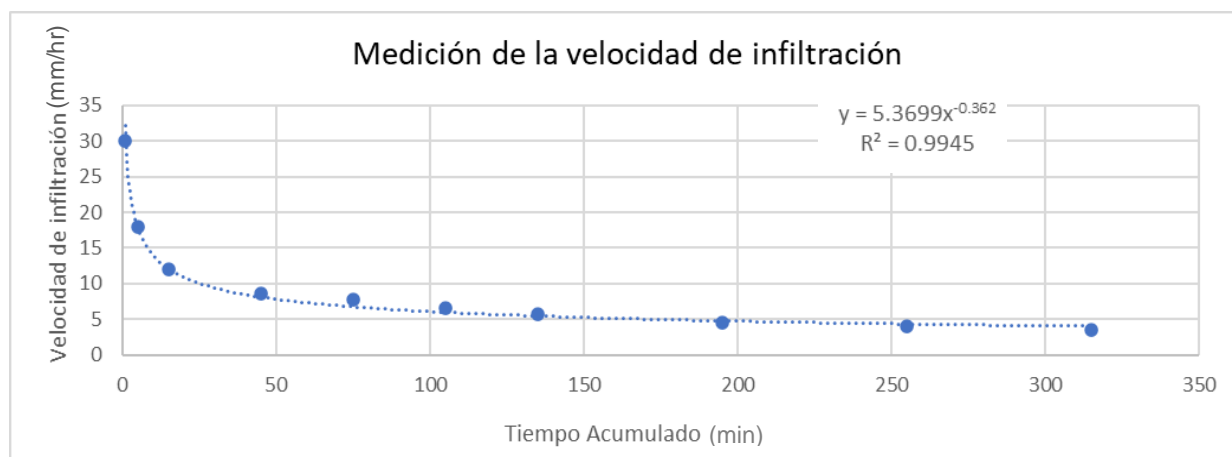
### ANEXO LVIII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº16.



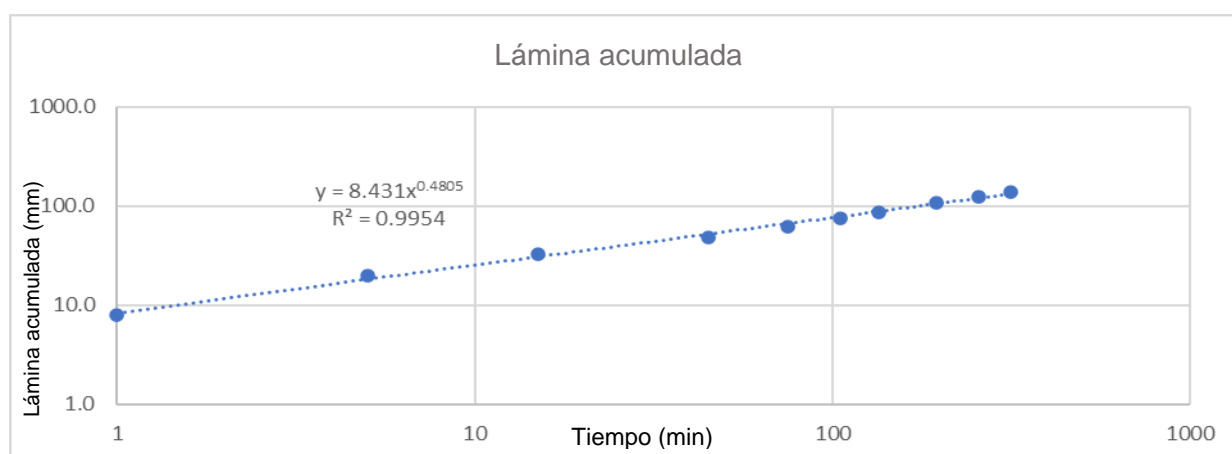
### ANEXO LIX. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº17.



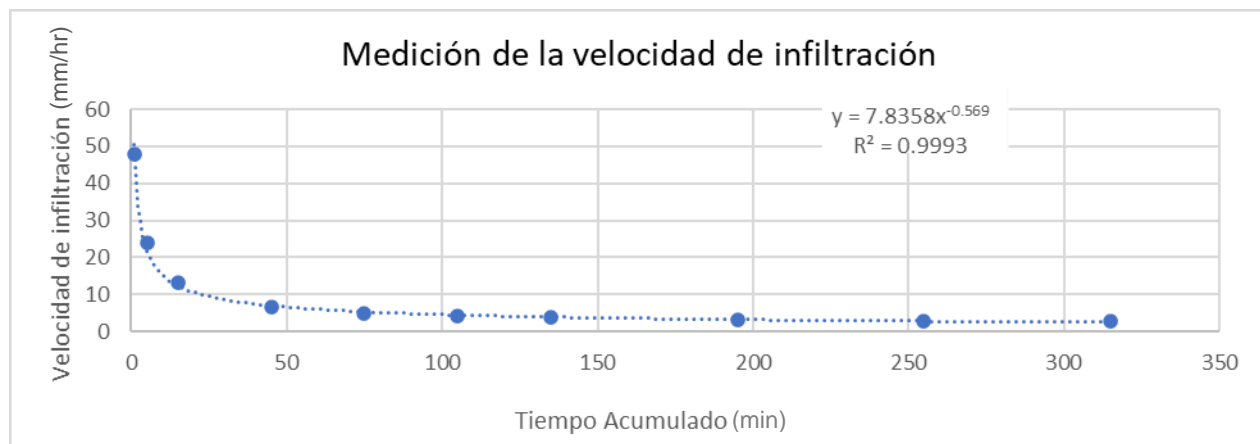
### ANEXO LX. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº17.



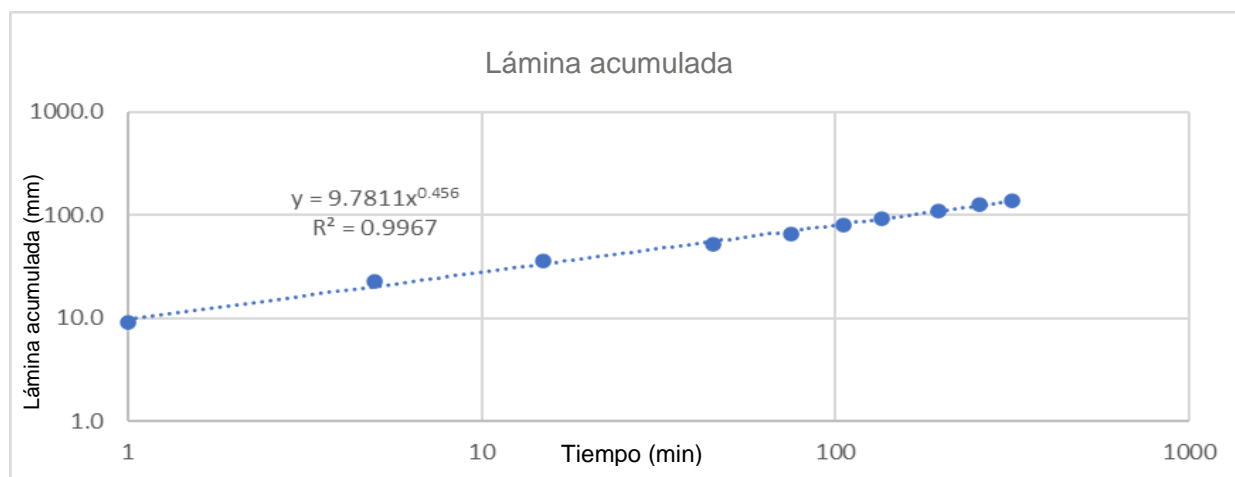
### ANEXO LXI. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº18.



### ANEXO LXII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº18.



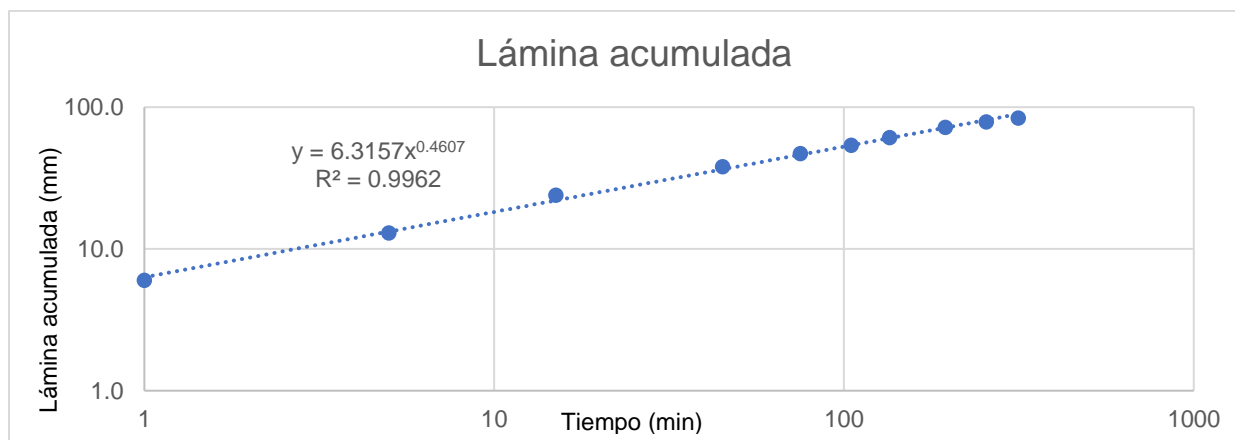
### ANEXO LXIII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº19.



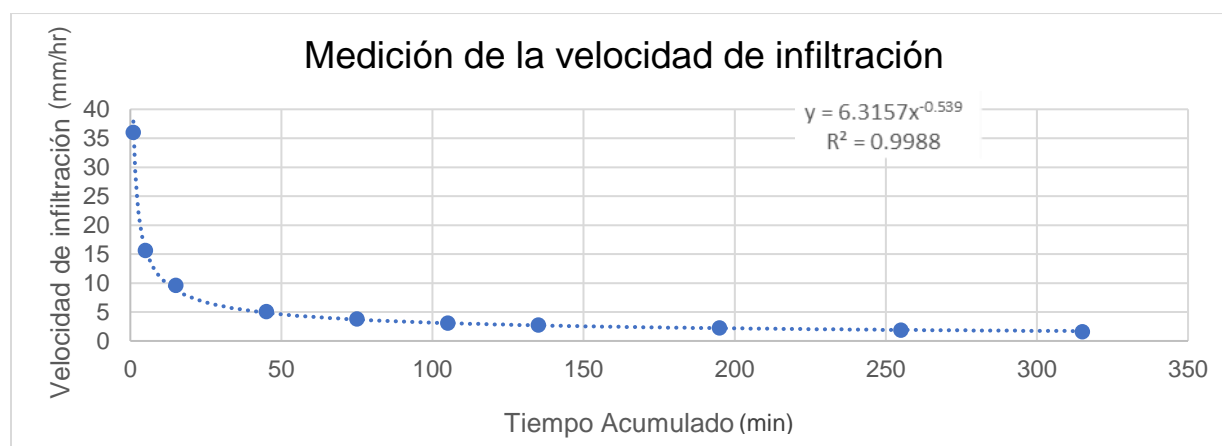
### ANEXO LXIV. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº19.



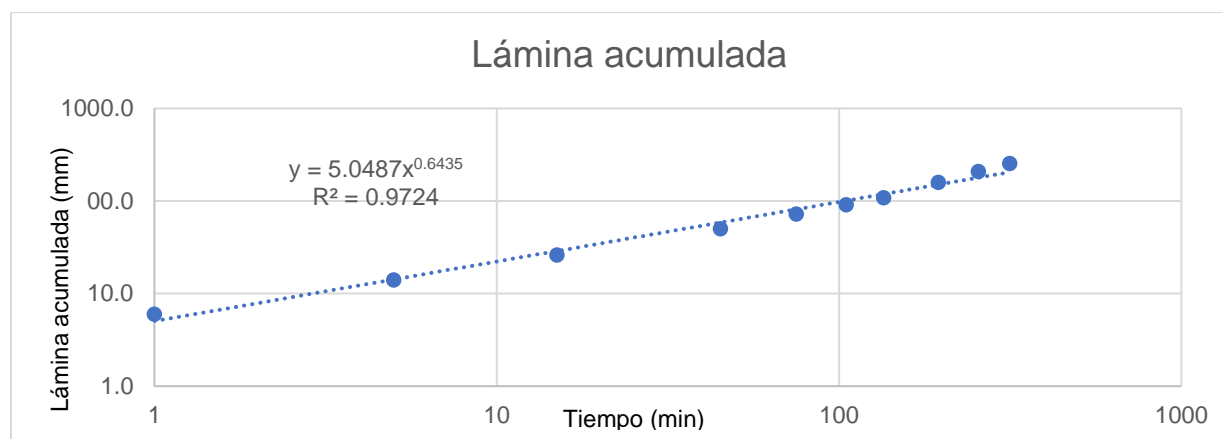
### ANEXO LXV. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº20.



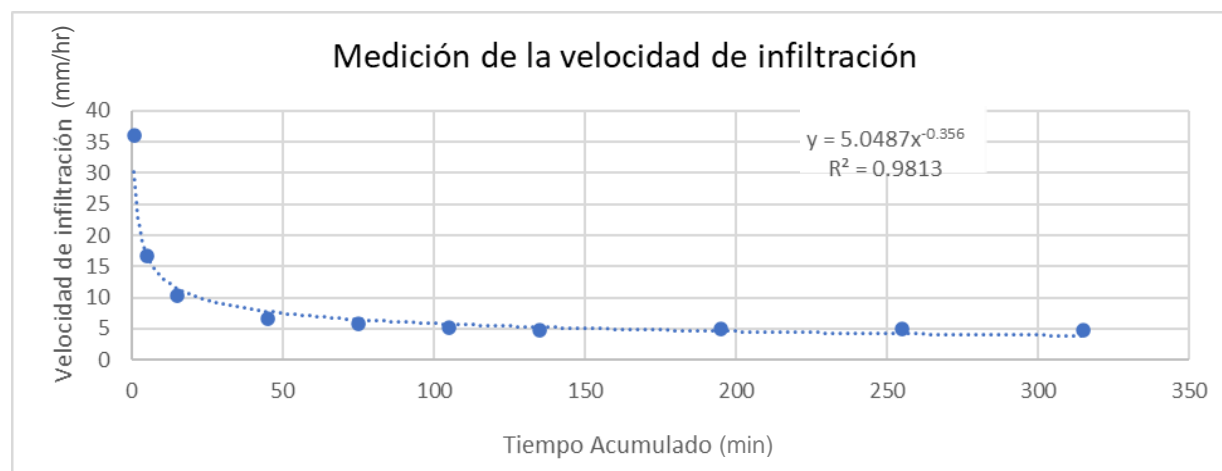
### ANEXO LXVI. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA Nº20.



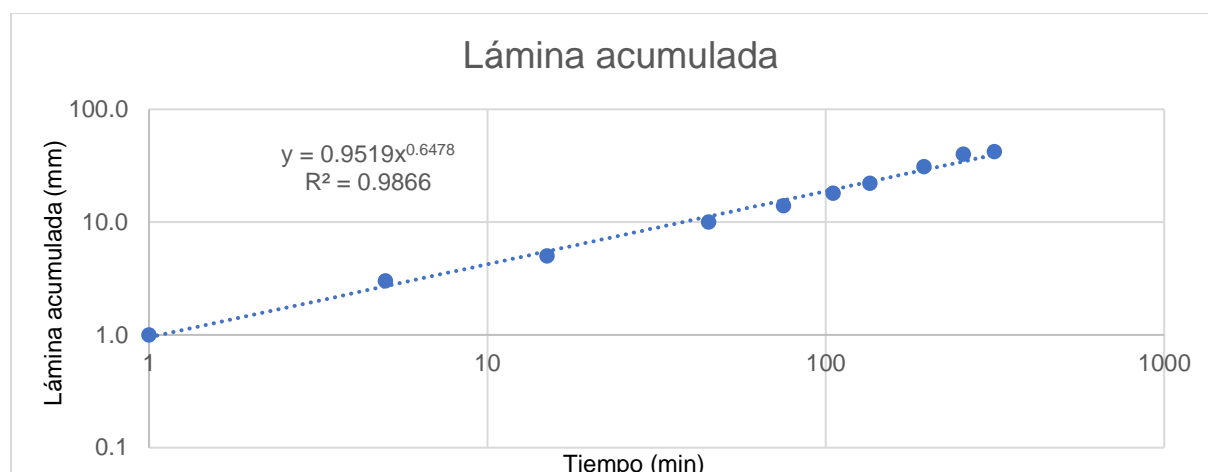
### ANEXO LXVII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº21.



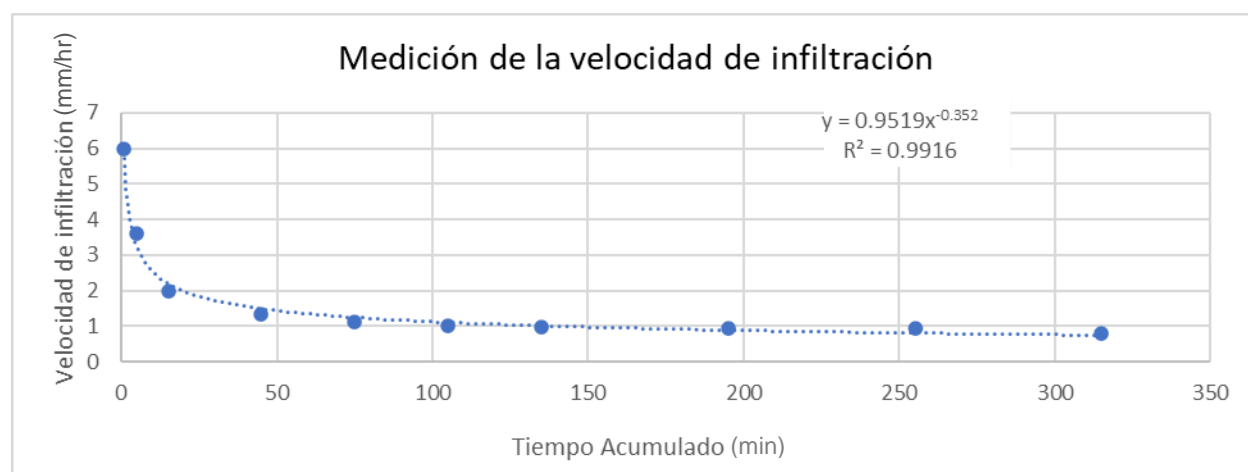
### ANEXO LXVIII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA Nº21.



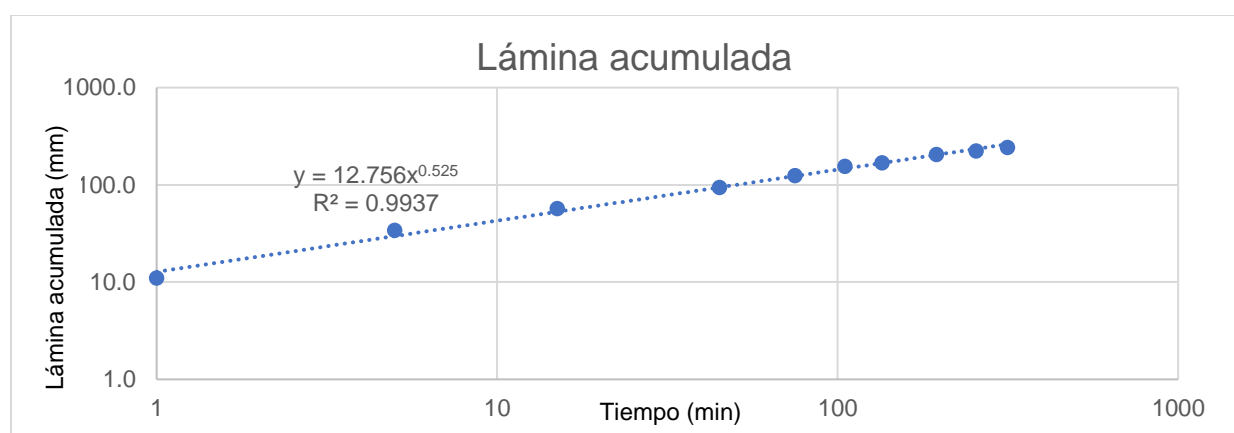
### ANEXO LXIX. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°22.



### ANEXO LXX. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°22.

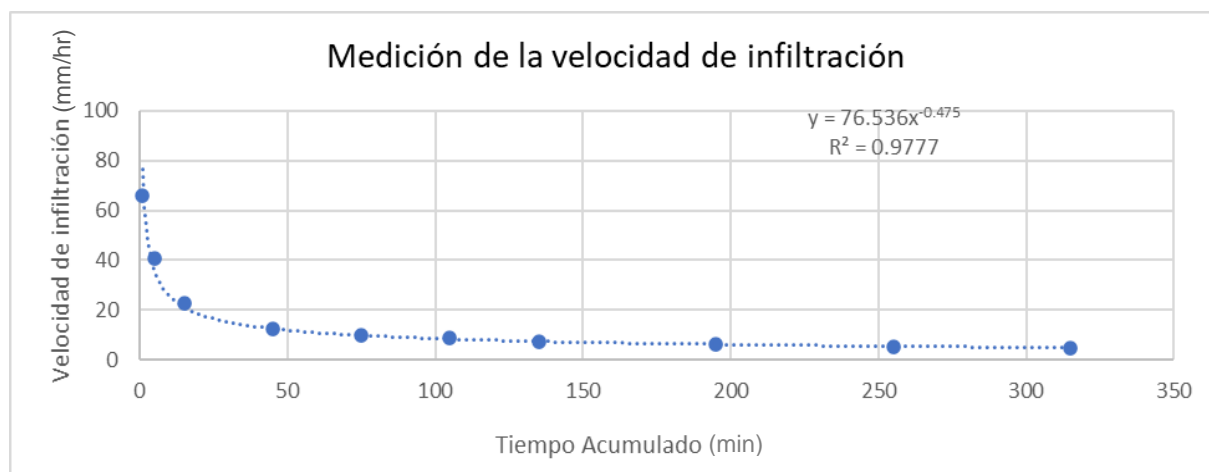


### ANEXO LXXI. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°26.

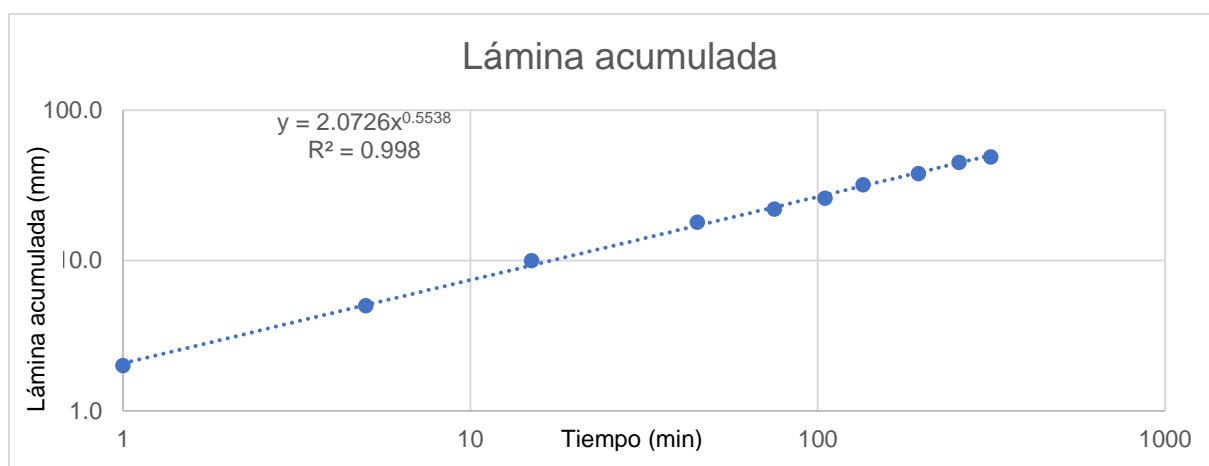




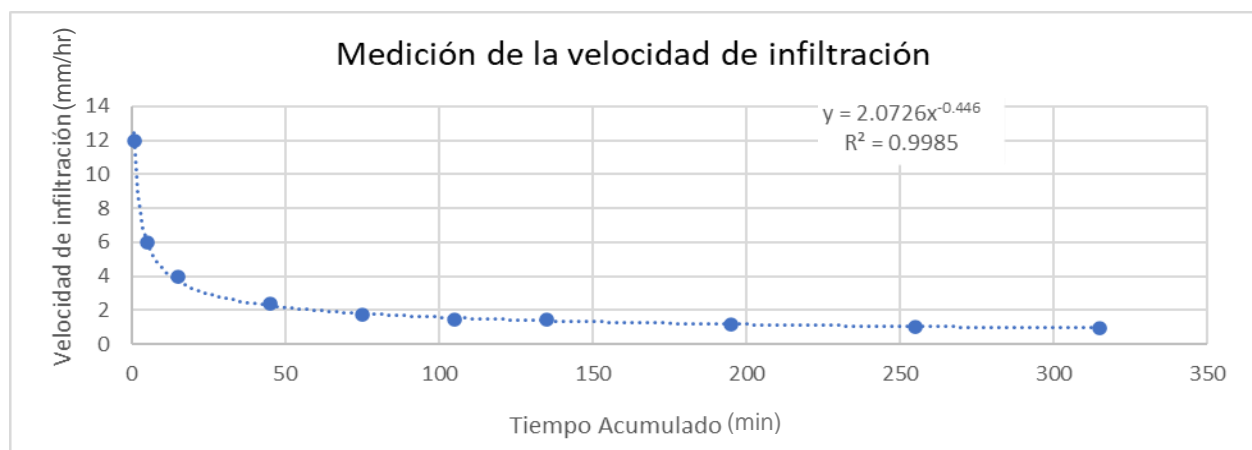
### ANEXO LXXII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº26.



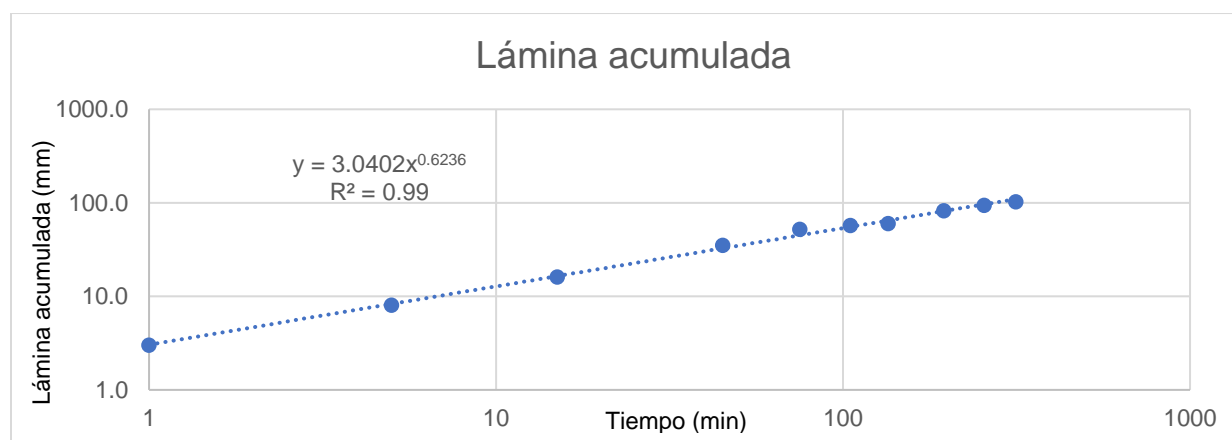
### ANEXO LXXIII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº27.



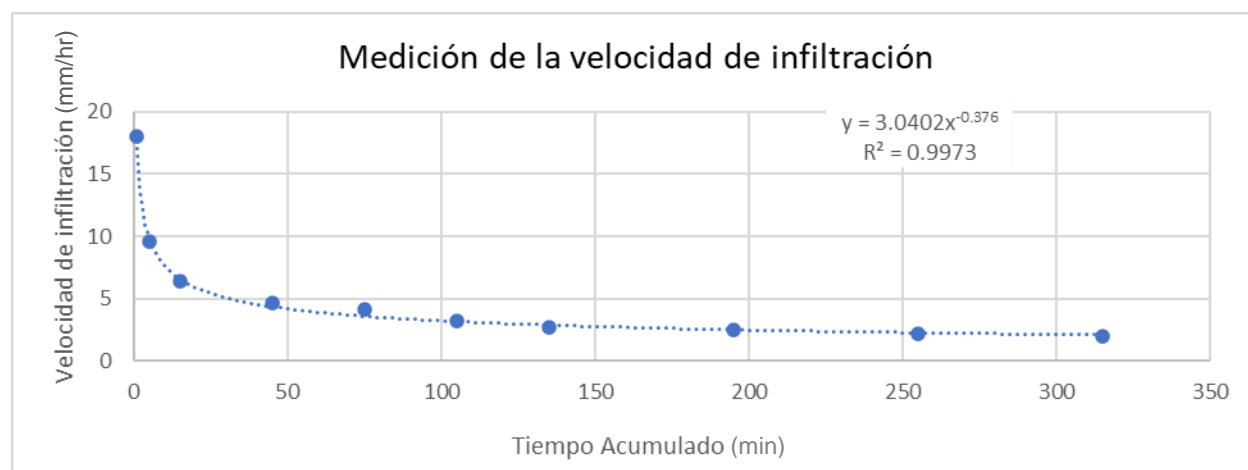
### ANEXO LXXIV. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº27.



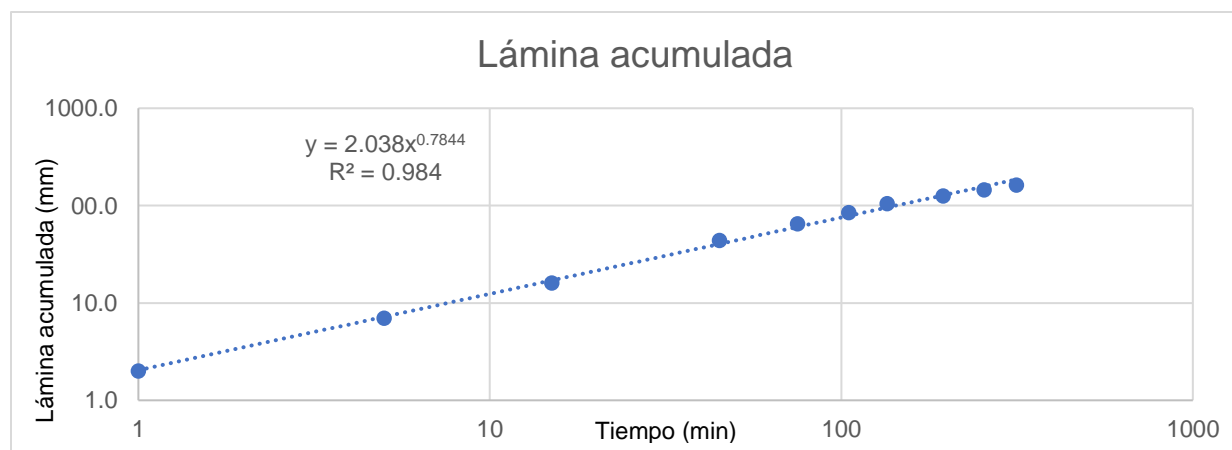
### ANEXO LXXV. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°28.



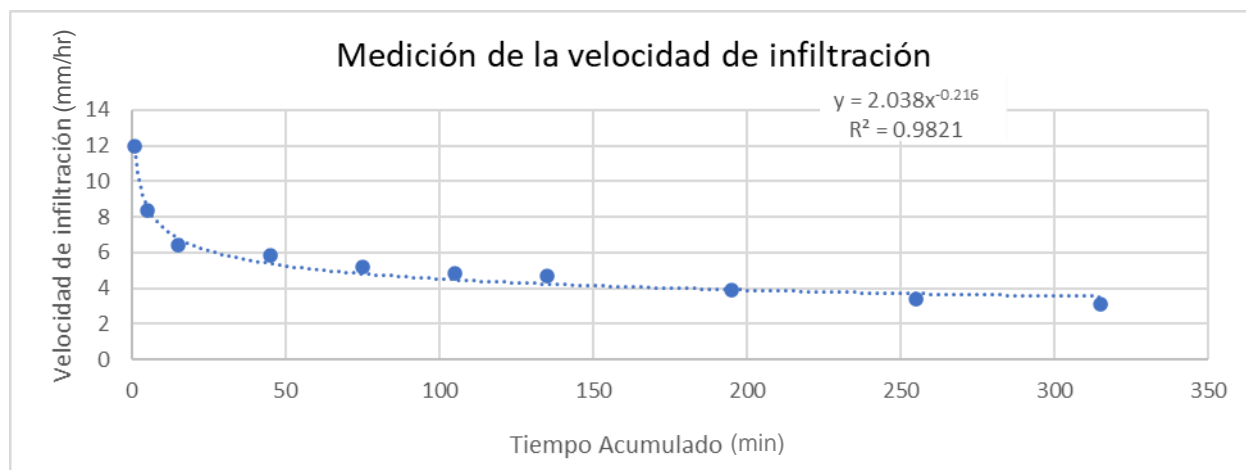
### ANEXO LXXVI. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°28.



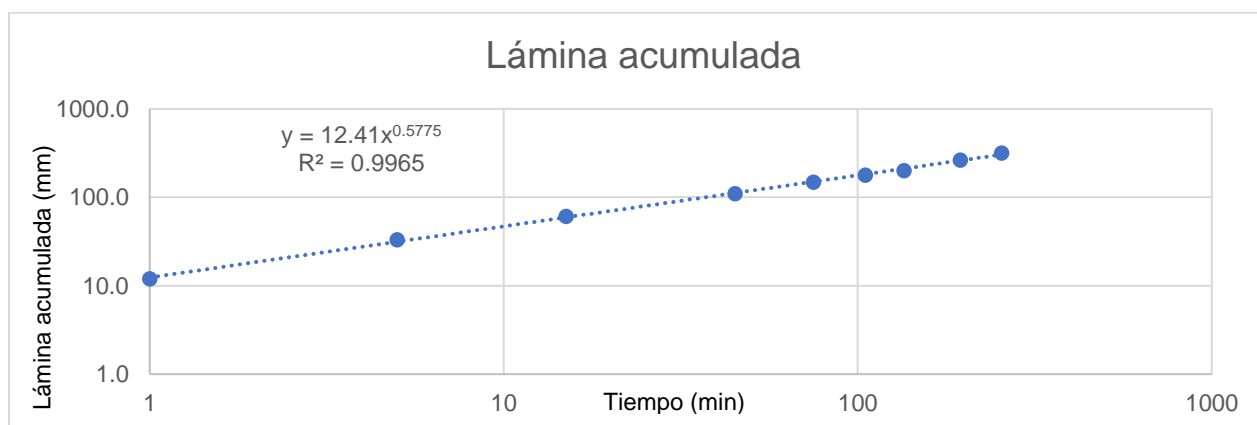
### ANEXO LXXVII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°29.



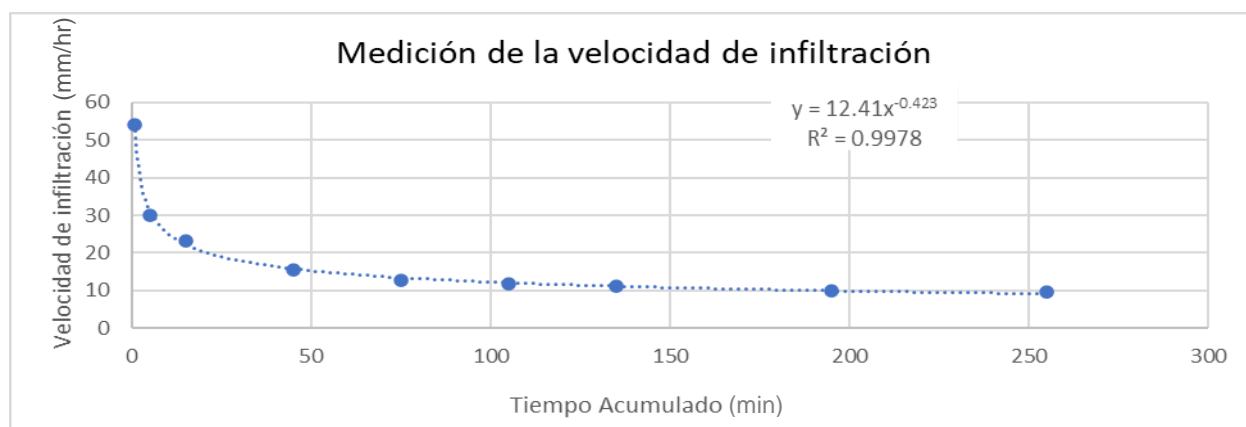
### ANEXO LXXVIII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA Nº29.



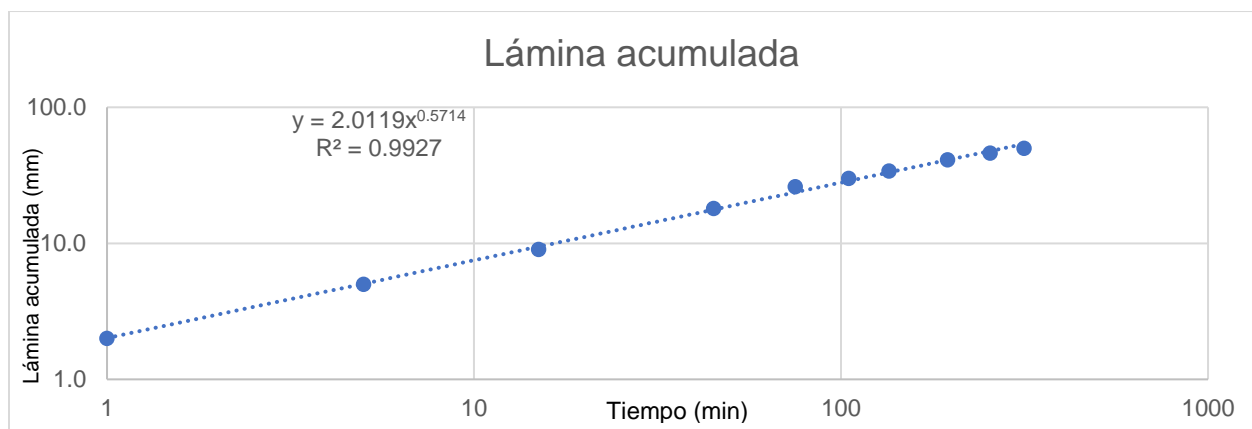
### ANEXOLXXIX. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº30.



### ANEXOLXXX. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA Nº30.



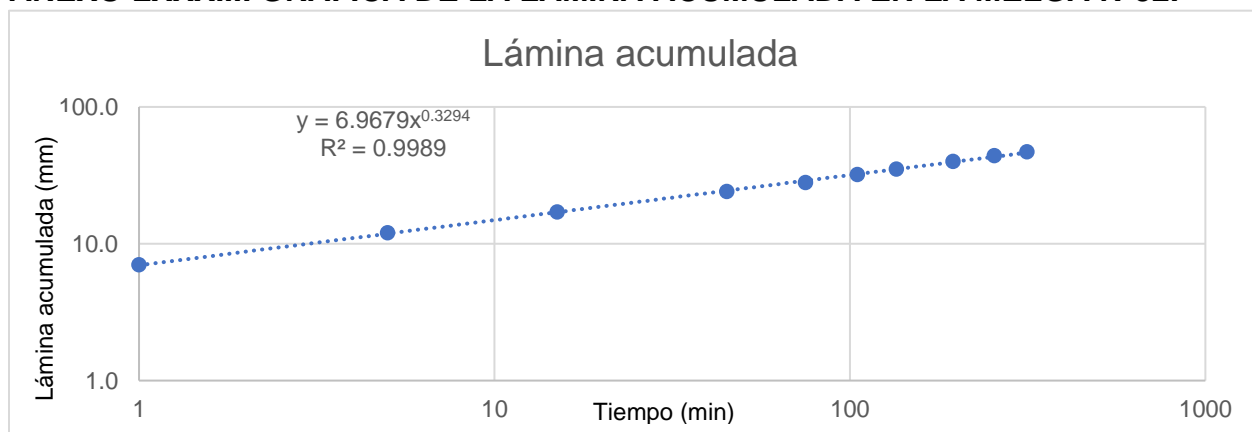
### ANEXO LXXXI. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº31.



### ANEXO LXXXII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA Nº31.



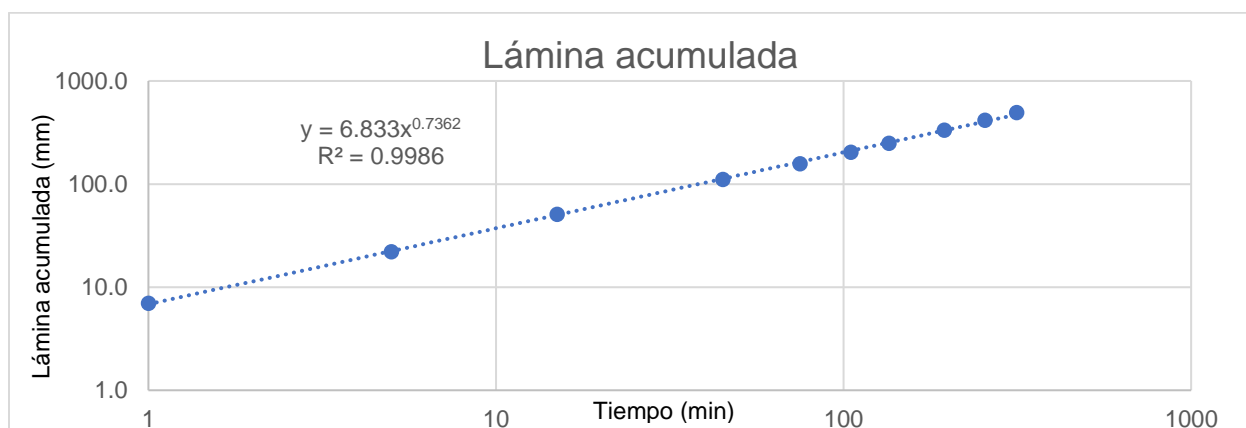
### ANEXO LXXXIII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº32.



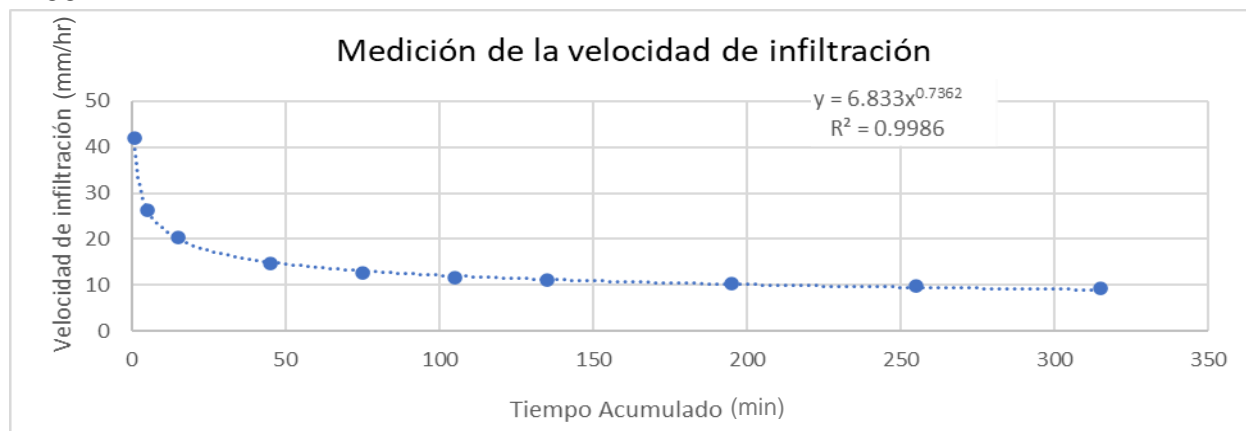
#### ANEXO LXXXIV. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA Nº32.



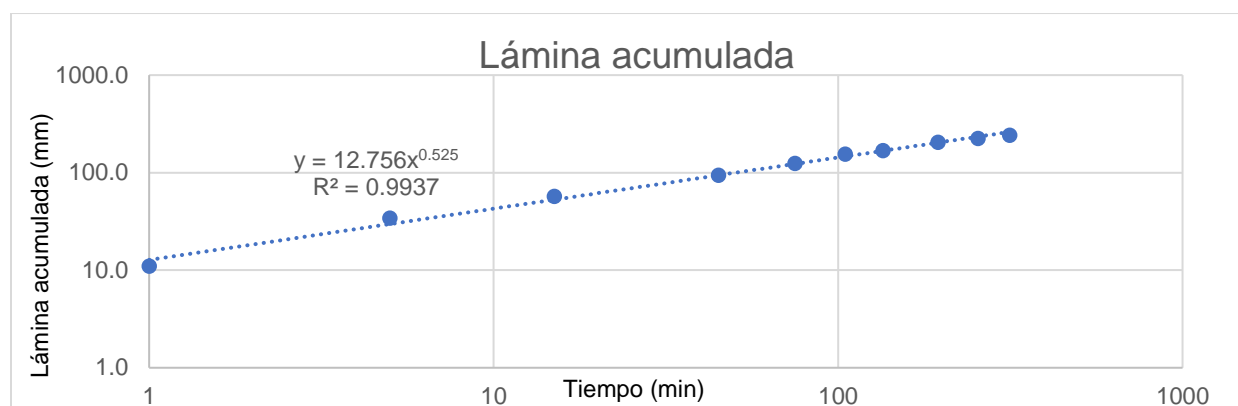
#### ANEXO LXXXV. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA Nº33.



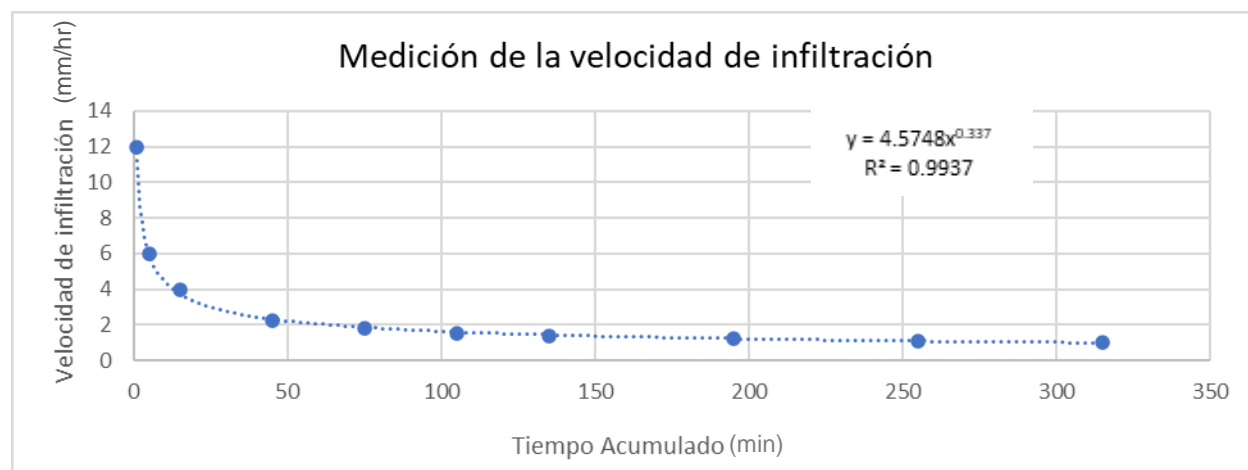
#### ANEXO LXXXVI. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFITRACIÓN EN LA MELGA Nº33.



### ANEXO LXXXVII. GRÁFICA DE LA LÁMINA ACUMULADA EN LA MELGA N°34.



### ANEXO LXXXVIII. CURVA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LA MELGA N°34.



**ANEXO LXXXIX. DATOS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN BÁSICA DE LAS 31 MELGAS.**

Nº de melga	Infiltración Básica (mm/h)	Ecuación	$R^2$
1	3.2	$5.2108 x^{-0.386}$	0.9937
2	1.9	$3.6144 x^{-0.367}$	0.9932
3	7.0	$5.4238 x^{-0.466}$	0.9731
4	1.4	$2.8442 x^{-0.363}$	0.997
5	0.6	$2.4967 x^{-0.288}$	0.9061
6	22.1	$7.8565 x^{-0.557}$	0.9907
7	15.0	$12.860x^{-0.455}$	0.9888
8	22.9	$13.834 x^{-0.495}$	0.9981
9	11.9	$8.0283 x^{-0.432}$	0.9942
10	1.0	$4.5655 x^{-0.284}$	0.9808
11	0.8	$1.8845 x^{-0.347}$	0.9908
12	6.6	$6.835 x^{-0.434}$	0.9953
13	9.9	$1.0256 x^{-0.305}$	0.996
14	8.7	$5.9224 x^{-0.481}$	0.9995
15	1.7	$4.5748 x^{-0.337}$	0.9697
16	0.4	$1.9419 x^{-0.285}$	0.9977
17	2.6	$5.2108 x^{-0.386}$	0.9945
18	24.4	$3.6144 x^{-0.367}$	0.9993
19	23.1	$5.4238 x^{-0.466}$	0.9995
20	15.3	$2.8442 x^{-0.363}$	0.9988
21	2.3	$2.4967 x^{-0.288}$	0.9813
22	0.4	$7.8565 x^{-0.557}$	0.9916
26	2.0	$12.860x^{-0.455}$	0.9359
27	2.2	$13.834 x^{-0.495}$	0.9985
28	1.7	$8.0283 x^{-0.432}$	0.9973
29	0.2	$4.5655 x^{-0.284}$	0.9821
30	10.8	$1.8845 x^{-0.347}$	0.9978
31	1.8	$6.835 x^{-0.434}$	0.9993
32	49.3	$1.0256 x^{-0.305}$	1
33	1.2	$5.9224 x^{-0.481}$	0.9985
34	27.4	$4.5748 x^{-0.337}$	0.9937
<b>Vel. Promedio</b>	9.0		

### ANEXO XC. DATOS DE LA LÁMINA ACUMULADA DE LAS MELGAS MUESTREADAS.

	Melgas (mm)														
Tiempo (Min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	5.0	4.0	5.0	3.0	8.00	7.00	12.0	13.0	8.0	5.0	9.0	7.0	9.0	9.0	4.0
5	15.0	10.0	16.0	8.0	19.00	20.00	35.0	32.0	21.0	13.0	20.0	19.0	19.0	21.0	15.0
15	26.0	19.0	21.0	15.0	47.00	37.00	58.0	55.0	30.0	30.0	35.0	30.0	30.0	34.0	29.0
45	50.0	36.0	38.0	29.0	69.00	59.00	95.0	100.0	51.0	66.0	51.0	53.0	46.0	63.0	59.0
75	86.0	50.0	53.0	43.0	92.00	77.00	125.0	126.0	71.0	104.0	64.0	72.0	59.0	90.0	88.0
105	95.0	62.0	65.0	56.0	115.00	93.00	157.0	152.0	89.0	137.0	76.0	87.0	71.0	114.0	99.0
135	106.0	81.0	76.0	67.0	135.00	108.00	202.0	172.0	105.0	167.0	93.0	102.0	82.0	137.0	111.0
195	135.0	108.0	94.0	86.0	157.00	123.00	238.0	195.0	131.0	205.0	106.0	145.0	97.0	161.0	143.0
255	146.0	133.0	108.0	101.0	178.00	136.00	257.0	217.0	147.0	236.0	118.0	180.0	111.0	183.0	175.0
315	170.0	152.0	115.0	109.0	195.00	148.00		233.0	159.0	265.0		191.0	122.0		203.0

### ANEXO XCI. DATOS DE LA LÁMINA ACUMULADA Y LA LÁMINA ACUMULADA PROMEDIO DE LAS MELGAS MUESTREADAS.

	Melgas (mm)															Promedio
Tiempo (min)	16	17	18	19	20	21	22	27	28	29	30	31	32	33	34	
1	2.0	5.0	8.0	9.0	6.0	6.0	1.0	2.0	3.0	2.0	12.0	2.0	7.0	7.0	11.0	<b>6.16</b>
5	6.0	15.0	15.0	23.0	13.0	14.0	3.0	5.0	8.0	7.0	33.0	5.0	12.0	22.0	34.0	<b>16.06</b>
15	13.0	30.0	25.0	36.0	24.0	26.0	5.0	10.0	16.0	16.0	61.0	9.0	17.0	51.0	57.0	<b>28.77</b>
45	29.0	65.0	40.0	52.0	38.0	50.0	10.0	18.0	35.0	44.0	110.0	18.0	24.0	111.0	94.0	<b>51.71</b>
75	43.0	97.0	54.0	66.0	47.0	72.0	14.0	22.0	52.0	65.0	149.0	26.0	28.0	158.0	124.0	<b>71.52</b>
105	56.0	116.0	59.0	80.0	54.0	91.0	18.0	26.0	57.0	85.0	179.0	30.0	32.0	204.0	155.0	<b>87.42</b>
135	67.0	128.0	64.0	91.0	61.0	108.0	22.0	32.0	60.0	105.0	200.0	34.0	35.0	248.0	168.0	<b>102.16</b>
195	85.0	147.0	76.0	109.0	72.0	159.0	31.0	38.0	82.0	126.0	263.0	41.0	40.0	334.0	204.0	<b>126.81</b>
255	99.0	169.0	85.0	125.0	79.0	208.0	40.0	45.0	94.0	145.0	318.0	46.0	44.0	415.0	223.0	<b>147.13</b>
315		185.0	91.0	137.0	84.0	253.0	42.0	49.0	102.0	163.0		50.0	47.0	493.0	241.0	<b>153.81</b>



# ANEXO XCII. DATOS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LAS MELGAS MUESTREADAS.

	Melgas(mm/hr)														
Tiempo (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	5.00	4.00	5.00	3.00	2.00	7.00	12.00	13	8.00	5.00	2.00	7.00	1.00	6.00	4.00
5	3.00	2.00	3.20	1.60	1.60	3.40	7.00	6.4	4.20	2.60	1.00	3.80	0.60	2.80	3.00
15	1.73	1.27	1.40	1.00	1.40	2.07	3.87	3.67	2.00	2.00	0.80	2.00	0.47	1.53	1.93
45	1.11	0.80	0.84	0.64	1.04	0.96	2.11	2.22	1.13	1.47	0.49	1.18	0.33	0.91	1.31
75	1.15	0.67	0.71	0.57	0.80	0.69	1.67	1.68	0.95	1.39	0.39	0.96	0.31	0.77	1.17
105	0.90	0.59	0.62	0.53	0.70	0.56	1.50	1.45	0.85	1.30	0.33	0.83	0.26	0.68	0.94
135	0.79	0.60	0.56	0.50	0.61	0.49	1.50	1.27	0.78	1.24	0.32	0.76	0.22	0.57	0.82
195	0.69	0.55	0.48	0.44	0.49	0.41	1.22	1	0.67	1.05	0.33	0.74	0.21	0.47	0.73
255	0.57	0.52	0.42	0.40	0.45	0.36	1.01	0.85	0.58	0.93	0.31	0.71	0.18	0.40	0.69
315	0.54	0.48	0.37	0.35	0.40	0.32		0.74	0.50	0.84		0.61	0.17		0.64

# ANEXO XCIII. DATOS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DE LAS MELGAS MUESTREADAS Y LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO.

	Melgas (mm/hr)															Promedio
Tiempo (min)	16	17	18	19	20	21	22	27	28	29	30	31	32	33	34	
1	2.00	5.00	8.00	6.00	6.00	6.00	1.00	2	3.00	2.00	12.00	2.00	7.00	7.00	2.00	5.00
5	1.20	3.00	3.00	2.20	2.60	2.80	0.60	1	1.60	1.40	6.60	1.00	2.40	4.40	1.00	2.61
15	0.87	2.00	1.67	1.07	1.60	1.73	0.33	0.67	1.07	1.07	4.07	0.60	1.13	3.40	0.67	1.58
45	0.64	1.44	0.89	0.60	0.84	1.11	0.22	0.4	0.78	0.98	2.44	0.40	0.53	2.47	0.38	0.99
75	0.57	1.29	0.72	0.40	0.63	0.96	0.19	0.29	0.69	0.87	1.99	0.35	0.37	2.11	0.31	0.83
105	0.53	1.10	0.56	0.33	0.51	0.87	0.17	0.25	0.54	0.81	1.70	0.29	0.30	1.94	0.26	0.72
135	0.50	0.95	0.47	0.30	0.45	0.80	0.16	0.24	0.44	0.78	1.48	0.25	0.26	1.84	0.23	0.65
195	0.44	0.75	0.39	0.24	0.37	0.82	0.16	0.19	0.42	0.65	1.35	0.21	0.21	1.71	0.21	0.57
255	0.39	0.66	0.33	0.22	0.31	0.82	0.16	0.18	0.37	0.57	1.25	0.18	0.17	1.63	0.19	0.51
315		0.59	0.29	0.20	0.27	0.80	0.13	0.16	0.32	0.52		0.16	0.15	1.57	0.17	0.43

## ANEXO XCIV. GLOSARIO

**Aluvión / (Alluvium):** material detrítico transportado y depositado, transitoria o permanentemente, por una corriente de agua. puede estar compuesto por arena, grava, limo o arcilla y es un material no consolidado

**Arcilla / (Clay):** partícula mineral del suelo de tamaño inferior a 2 micrones (0,002 mm), de variada composición.

**Arena / (Sand):** partículas minerales del suelo de un diámetro superior a los 50 micrones (0,05 mm) y no mayor de 2 milímetros

**Barreno / (auger):** es un dispositivo o herramienta utilizada para realizar agujeros o pozos cilíndricos extrayendo el material sólido perforado

**Calicata:** pozo o perforación realizada en el suelo para estudiar su morfología. sus dimensiones son en general de 1 m de ancho, 2 m de largo y 1-2 m de profundidad.

**Coeficiente de marchitamiento / (Withering coefficient):** contenido de humedad por el cual las hojas se marchitan y no recobran su turgescencia después de expuestas 24 horas a una atmósfera saturada de vapor de agua y propiedades coloidales.

**Erosión:** remoción y transporte del material de la superficie del suelo. si es causada por el escurrimiento del agua se denomina erosión hídrica, y si es causada por la acción del viento, erosión eólica.

**Escurrecimiento / (Drainage):** parte del agua de lluvia o riego que no se infiltra y escurre en los terrenos en pendiente. existen 3 escurrimientos. superficial, subsuperficial y subterráneo.

**Horizontes del suelo / (Soil horizons):** capas naturales del perfil del suelo, aproximadamente paralelas a la superficie, con rasgos distintivos en cuanto a la composición y propiedades. cada horizonte exhibe determinadas características, desarrolladas por la acción de procesos de formación del suelo.

**Infiltración acumulada / (Accumulated infiltration):** volumen total de agua infiltrada por unidad de área superficial de suelo en un tiempo definido.

**Limo / (Silt):** partículas minerales del suelo cuyo diámetro es de 2 a 50 micrones (0,002-0,05 mm) o de 2 a 20 micrones (0,002-0,02 mm) según la escala que se adopta. la primera corresponde al sistema usado en EE.UU. y la segunda al Sistema internacional de las ciencias del suelo.

**Melga:** Parcela de tierra preparada y señalada para la siembra.

**Saturación / (Saturation):** se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. en los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire.

**Suelos francos / (loam soil):** es un suelo caracterizado por cantidades aproximadamente iguales de arcilla, limo y arena.