



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

**“DISEÑO, INSTALACIÓN Y CALIBRACIÓN DE BLOQUE DE
SIETE LISIMETROS DE DRENAJE PARA AJUSTE DE
COEFICIENTE DE CULTIVOS (K_c).”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

Presentada como requisito parcial para obtener el título de
INGENIERO AGRÓNOMO

SALAZAR BADILLO FRANCISCO GABRIEL

Riobamba - Ecuador

2020

CERTIFICACIÓN**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO****FACULTAD DE RECURSOS NATURALES****ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

Riobamba, 17 de febrero del 2020

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

El suscrito TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN, Certifica: Que, el Sr. Francisco Gabriel Salazar Badillo, en virtud que el estudiante ha concluido su trabajo de investigación denominado “DISEÑO, INSTALACIÓN Y CALIBRACIÓN DE BLOQUE DE SIETE LISIMETROS DE DRENAJE PARA AJUSTE DE COEFICIENTE DE CULTIVOS (Kc)”, y ha sido prolijamente revisado y aprobado, quedando autorizada para su presentación y defensa.

ING. JUAN LEÓN R. PHD

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

ING. ROBINSON PEÑA M. MSc

ASESOR DEL TRIBUNAL

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, **FRANCISCO GABRIEL SALAZAR BADILLO**, declaro que el presente trabajo de titulación es mi autoría y que los resultados del mismo, son auténticos y originales. Los textos constantes y los documentos que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación

Riobamba, 17 de febrero del 2020



Francisco Gabriel Salazar Badillo

DEDICATORIA

A mis padres Iván Salazar y Mayra Badillo que me han apoyado en todo este proceso académico de inicio a fin.

A mis hermanos Sebastián y Diego que han estado pendientes de mí y brindándome su apoyo desde lejos.

A toda mi familia que siempre me extendió la mano en los momentos que la necesitaba.

Especialmente a mis abuelos que desde el otro lado me han cuidado y en especial a mi abuelo Subastan que fue el que me indujo al amor y respeto al campo.

Francisco Gabriel Salazar Badillo

AGRADECIMIENTO

A mis padres Iván Salazar y Mayra Badillo por todo su apoyo incondicional.

A mis familiares paternos y maternos por todo el apoyo brindado.

A mis hermanos Sebastián y Diego por su aportación.

A mi familia en general que me ha brindado su apoyo incondicional.

Al Doctor Juan León por su apoyo durante el trabajo de titulación.

Al Master Robinson Peña por hacer posible que este trabajo se realice.

A la Empresa de Transformación Agraria S.A. (TRAGSA) el financiamiento y su interés en el desarrollo de la investigación.

Al grupo de investigación – Centro Experimental del Riego (CER) y la Escuela Nacional de Irrigación Parcelaria (ENIP) por la enseñanza y guía en todo el trabajo realizado.

Francisco Gabriel Salazar Badillo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. “DISEÑO, INSTALACIÓN Y CALIBRACIÓN DE BLOQUE DE SIETE LISÍMETROS DE DRENAJE PARA AJUSTE DE COEFICIENTE DE CULTIVOS (Kc)”	1
II. INTRODUCCIÓN	1
III. OBJETIVOS	1
IV. HIPÓTESIS	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA	6
a. Compactación	8
b. Velocidad de infiltración	8
c. Densidad aparente	10
d. Textura	11
e. Parámetros hídricos	12
1) Capacidad de campo (CC)	12
2) Punto de marchitez permanente (PMP)	13
f. Formas de medir el agua en el suelo	13
1) Método gravimétrico	13
2) Potencial mátrico	14
a) Tensiómetro	14
a. Macro elementos y micro elementos	15
b. Materia orgánica	16
c. Potencial hídrico	17
d. Conductividad eléctrica (CE)	18
VI. MATERIALES Y METODOS	20
a. Construcción	21
b. Calibración	21
a. Diseño de bloque de siete lisímetros de drenaje	21
1) Lisímetro Tipo A	21
2) Lisímetro Tipo B	22
a. Construcción de bloque de siete lisímetros de drenaje	24
b. Caracterización de parámetros físico – químicos del suelo	26

1) Identificación de horizontes.....	26
2) Compactación	27
3) Velocidad de infiltración	27
4) Densidad aparente.....	28
5) Textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente	28
6) Macro elementos, micro elementos, pH, Conductividad eléctrica y materia orgánica	28
c. Instalación de bloque de siete lisímetros de drenaje	29
d. Calibración de bloque de siete lisímetros de drenaje	30
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
a. Identificación de horizontes	38
b. Compactación.....	40
c. Infiltración.....	41
d. Densidad aparente	43
e. Textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....	44
VIII. CONCLUSIONES	54
IX. RECOMENDACIONES	55
X. RESUMEN.....	56
XI. SUMARY	57
XII. BIBLIOGRAFÍA	58
XIII. ANEXOS	64 Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de permeabilidad.....	10
Tabla 2. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.	11
Tabla 3. Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos.....	14
Tabla 4. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros.	15
Tabla 5. Tabla de interpretación de análisis de nitrógeno total (%)	16
Tabla 6. Tabla de interpretación de análisis de fósforo y potasio.....	16
Tabla 7. Interpretación de materia orgánica	17
Tabla 8. Clasificación de suelos según valores de ph.....	18
Tabla 9. Coeficiente de drenaje en lisímetro de drenaje.....	31
Tabla 10. Horizontes de las capas de lisímetros	39
Tabla 11. Velocidad de infiltración básica (mm/h) y categorización de las tres capas de los siete lisímetros.....	42
Tabla 12. Densidad aparente de capas del bloque de lisímetros.....	43
Tabla 13. Clase textural, capacidad de campo y punto de marchitez permanente de las capas del bloque de lisímetros.	45
Tabla 14. Parámetros químicos de las capas del bloque de lisímetros	46
Tabla 15. Concentración química de macro y micro elementos las capas del bloque de lisímetros.....	48
Tabla 16. Humedad del suelo en el bloque de siete lisímetros de drenaje	49
Tabla 17. Calibración del bloque de siete lisímetros de drenaje	50
Tabla 18. Variables de calibración para análisis estadístico.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipo infiltrómetro doble anillo	9
Figura 2. Clasificación según las clases texturales.	12
Figura 3. Diseño de lisímetro Tipo A	22
Figura 4. Diseño de lisímetro Tipo B	23
Figura 5. Diseño 3d bloque de 7 lisímetros de drenaje.....	24
Figura 6. Extracción de capas de suelo en el bloque de lisímetros.....	25
Figura 7. Estructura metálica de rhizotron.....	25
Figura 8. (a) Construcción de la base y pared externa de lisímetros, (b) Construcción de pared interna del bloque de lisímetros, (c) Aplicación de impermeabilizante en lisímetros.....	26
Figura 9. Bloque de lisímetros contruidos	26
Figura 10. Lectura de compactación de capas de suelo.	27
Figura 11. Prueba de infiltración en capas de suelo.	27
Figura 12. Prueba de densidad aparente.	28
Figura 13. (a) Incorporación de malla metálica, (b) Incorporación de canto rodado, (c) Incorporación de malla plástica.	29
Figura 14. (a) Incorporación y compactación de capas de suelo, (b) Verificación de compactación con penetrómetro, (c) Instalación de sistema de riego y tensiómetros y bloques de yeso.....	30
Figura 15. Evaporación, precipitación y humedad relativa en tunshi, provincia de chimborazo.....	32
Figura 16. Planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje	34
Figura 17. Corte a - a - Planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje	35
Figura 18. Corte b -b - Planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje	35
Figura 19. Corte c - c - Planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje	36
Figura 20. Corte d - d - Planimetría del del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje.....	36
Figura 21. Corte e - e - Planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje	37

Figura 22. Corte e - e - Planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje	37
Figura 23. Detalle - e - Planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje	38
Figura 24. Compactación de capas del bloque del lisímetro	40
Figura 25. Volumen aplicado de riego y sobre riego en el bloque de siete lisímetros de drenaje.....	51
Figura 26. Dendograma del análisis de conglomerados de la calibración del bloque de siete lisímetros de drenaje.....	52
Figura 27. Análisis de componentes principales de variables para calibración del bloque de siete lisímetros de drenaje	53

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Datos compactación.
- Anexo 2.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 1 capa 1.
- Anexo 3.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 1 capa 2.
- Anexo 4.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 2 capa 1.
- Anexo 5.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 2 capa 2.
- Anexo 6.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 3 capa 1.
- Anexo 7.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 3 capa 2.
- Anexo 8.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 4 capa 1.
- Anexo 9.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 4 capa 2.
- Anexo 10.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 5 capa 1.
- Anexo 11.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 5 capa 2.
- Anexo 12.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 6 capa 1.
- Anexo 13.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 6 capa 2.
- Anexo 14.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 7 capa 1.
- Anexo 15.** Datos velocidad de infiltración lisímetro 7 capa 2.
- Anexo 16.** Datos densidad aparente.
- Anexo 17.** Reporte curva de retención de humedad.
- Anexo 18.** Reporte análisis de suelo 1.
- Anexo 19.** Reporte análisis de suelo 2.
- Anexo 20.** Reporte análisis de suelo 1.

I. “DISEÑO, INSTALACIÓN Y CALIBRACIÓN DE BLOQUE DE SIETE LISÍMETROS DE DRENAJE PARA AJUSTE DE COEFICIENTE DE CULTIVOS (Kc)”

II. INTRODUCCIÓN

A. IMPORTANCIA

La producción alimentaria en los últimos diez años ha sufrido una expansión en referencia al riego para lo cual se estima que el 20% de las tierras agrícolas del mundo se encuentran bajo riego, lo que representa un 40 % de la producción agrícola mundial (Ambast, *et al.*, 2002).

Según Paguay (2017), la agricultura es el consumidor mayor de agua en el mundo, con un 70% de consumo para el uso agrícola en cultivos, mientras que en países en vías de desarrollo simboliza el 95%, por ello es inevitable estudiar la demanda, suministro y uso y consumo del agua para riego dentro de la unidad territorial para poder evaluar el uso de agua.

El manejo eficiente del recurso hídrico a través de técnicas que aumenten el aprovechamiento ayudará la problemática de la escasez de agua en algunas zonas del mundo. El conocimiento de la evapotranspiración se constituye en información relevante en el manejo de cultivos agrícolas (FAO, 2008).

El agua es uno de los recursos fundamentales para la producción agrícola para lo cual existen técnicas que permiten determinar la evapotranspiración de los cultivos (González *et al.*, 2012).

El conocer la evapotranspiración de los cultivos es de alta relevancia ya que nos permite conocer la demanda exacta que estos requieren siendo unos de los estudios la determinación de la evapotranspiración de los cultivos a través de los métodos del balance de energía basado en la razón de Bowen (León, 2016).

Para la estimación de la evapotranspiración existen diferentes métodos, tantos directos como indirectos, la facilidad de los métodos directos es que proporciona información real

del cultivo a evaluación, siendo estos lisímetro, gravimétrico y evapotranspiración, además existen métodos empíricos o métodos indirectos los cuales nos dan una estimación de la demanda hídrica (Aguilera, & Martínez, 1996), por lo tanto la investigación se centra en determinar los requerimientos hídricos exactos con un método directo siendo en este caso el diseño, construcción y calibración de un bloque de siete lisímetros de drenaje.

B. PROBLEMA

Uno de los problemas más importantes que se denota en la producción agrícola de la sierra ecuatoriana es el manejo y al mal manejo del agua de riego debido al desconocimiento de la cantidad y el momento oportuno para realizar el uso del agua de riego en las diferentes etapas fenológicas del cultivo, esto en la economía campesina o del agricultor genera una disminución de rendimientos económicos.

El efecto del desconocimiento de la cantidad y la frecuencia del riego provoca que las dosis de riego aplicadas no sean las adecuadas lo que conlleva a problemas fito sanitarios, productos de baja calidad en el mercado, disminución del rendimiento del cultivo y bajos réditos económicos.

Con el conocimiento de los requerimientos hídricos de los cultivos prioritarios de la sierra ecuatoriana se podría mermar esta evidente problemática, para ello se debe aplicar métodos que arrojen datos directos y reales del consumo de agua en cultivos.

En el Ecuador no existe un protocolo a seguir para poder definir los requerimientos hídricos de los cultivos

C. JUSTIFICACIÓN

El riego compone una de las actividades más significativas dentro del sector agrícola donde las precipitaciones no pueden suplir las demandas hídricas de los cultivos, especialmente en lo que se refiere fundamentalmente a la producción, a la dinámica del sector relacionado con la misma y al empleo promovido (Lamelas, 2015).

En los últimos tiempos la disponibilidad del agua y en sí de los recursos hídricos ha disminuido, produciendo serios problemas para satisfacer las varias demandas que cada

vez son mayores, siendo forzoso el perfeccionamiento de estrategias de riego de ahorro de agua que se adapten a los diferentes efectos del cambio climático, con el fin de mejorar la eficiencia de uso del agua de riego (Peña, 2018)

Por lo mencionado anteriormente el Centro Experimental de Riego (CER) de la Facultad de Recursos Naturales - ESPOCH considera necesario buscar técnicas que permitan el uso eficiente del agua para lo cual considera necesario desarrollar el diseño, construcción, instalación y calibración de lisímetros de drenaje y así poder obtener información real que merme las problemáticas del cantón Riobamba, Provincia Chimborazo y Ecuador.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, instalar y calibrar un bloque de siete lisímetros de drenaje para ajuste del coeficiente de cultivo (K_c).

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Calibrar los lisímetros mediante la determinación de pruebas físicas del suelo.
2. Calibrar los lisímetros mediante la determinación de pruebas químicas del suelo.
3. Determinar el comportamiento hidráulico del agua en el suelo.
4. Definir un protocolo de diseño, construcción, instalación y calibración de lisímetros de drenaje

IV. HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS NULA

El diseño, instalación y calibración de lisímetros de drenaje no incide en el ajuste del coeficiente cultivo (K_c).

B. HIPÓTESIS ALTERNA

El diseño, instalación y calibración de lisímetros de drenaje incide en el ajuste del coeficiente cultivo (K_c).

C. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1. Variable dependiente

- a. Lámina de riego
- b. Frecuencia de riego
- c. Volumen de drenaje

2. Variable independiente

- a. Agua.
- b. Suelo.
- c. Atmósfera.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

A. LISIMETRIA

Es una forma directa y exacta para medir la evapotranspiración del cultivo a partir de una estructura llamada lisímetro durante un determinado periodo (Chávez, 2018).

Los lisímetros son principalmente el instrumento que ayuda a ajustar la confiabilidad de los procedimientos empíricos, dichos lisímetros son depósitos grandes, completamente llenos de suelo, ubicados en el campo para simbolizar sus características naturales, en las cuales las condiciones agua-suelo-planta pueden ser reguladas y controlada (León, 2016)

Para la determinación de evapotranspiración por lisimetría se puede emplear dos tipos de lisímetros, el lisímetro de pesada en el cual se calcula el peso del agua consumida mediante la pérdida de peso entre aplicaciones de agua de riego, y el lisímetro de drenaje en el cual el consumo de agua se determina mediante la diferencia entre el agua aplicada y el agua drenada (Chávez, 2018).

1. Diseño

Para el diseño de lisímetros de drenaje se puede establecer dos tipos de diseño, con succión o sin succión, la diferencia entre estos es que el lisímetro de drenaje sin succión recolectan el agua del suelo que se filtra naturalmente, es decir, el agua que se mueve por efecto de la gravedad y en los lisímetros de drenaje con succión se aplica una succión para extraer el agua del suelo despacio a través de un material poroso (Vladilo, 2010).

Según Garcia (2017) un lisímetro puede ser rectangular o circular, las paredes deben tener un mínimo 0.2 m de grosor y la profundidad dependerá del tipo de cultivo y suelo.

Para la obtención de aguas percolantes, de lluvia y de riego, se debe generar una pendiente en la parte más baja de un 5% (Garcia, 2017).

2. Construcción

El cuerpo del lisímetro puede ser un fabricado de hormigón, tubo o hecho de ladrillos (Garcia, 2017). En la parte más profunda del tanque se debe colocar una capa de grava de 15 cm, para mejorar el rendimiento del sistema de drenaje (Olmedo & Vallone, 2011).

Según Garcia (2017) en el punto final de recogida del agua, se tiene que instalar un tubo de PVC que permita la extracción y muestreo del agua.

B. SUELO

1. Horizontes

Acevedo (2014) menciona que el horizonte es una capa es una capa aproximadamente paralela a la superficie del suelo en los mismos que se distinguen por las características observadas o medidas en el campo por ejemplo, color, estructura, textura, consistencia y la presencia o ausencia de carbonatos.

El horizonte A presenta una tonalidad oscura debido a la abundancia de materia orgánica, el horizonte B se caracteriza por tener mayor cantidad de arcilla y un color más claro que el anterior, al horizonte C lo conforman fragmentos de la roca madre rodeados de una matriz de naturaleza arenoso - arcillosa integrada por minerales heredados y de alteración (Barrios, 2018).

2. Características físicas del suelo

Las principales propiedades físicas influyen en el desarrollo de los cultivos, siendo el resultado de la interacción que se origina entre el suelo, agua, aire y la proporción en la que se encuentran cada una de estas. El comportamiento físico de un suelo se refiere a la capacidad de sostenimiento, penetración de raíces con facilidad, circulación de gases, posibilidad de retención de agua, drenaje de líquidos, almacenamiento de nutrientes, entre otros (Castellanos, 2017).

a. Compactación

Se define como la compactación edáfica o del suelo como la disminución volumétrica de una masa edáfica determinada, por la exposición de fuerzas ajenas que actúan sobre la parte edáfica. Sin la intervención del hombre se encuentra al suelo con sus horizontes con distinto grado de compactación, esto explica las condiciones presentes en su formación (Carvajal, 2019).

b. Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración es la velocidad de entrada vertical del agua en el perfil del suelo cuando la superficie del terreno se cubre con una lámina delgada de agua. (Vasquez, 2017). Representa la facilidad de circulación del agua en el suelo condicionada fundamentalmente por la textura y la estructura (Alvarado & Barahona, 2017)

El uso del infiltrómetro doble anillo método de campo más empleado, que permite medir la disminución de la altura de agua almacenada en un recipiente cilíndrico el cual se introduce al suelo, se llena los cilindros interior y exterior con agua y se procede a contabilizar el tiempo para realizar las lecturas del nivel del agua a los tiempos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 y 60 minutos (Figura 1). Se determina la velocidad de infiltración aplicando la ecuación (1). (Pizarro, Flores, & Sangüesa, 2017)

$$I = (Dh \times 600) * t^{-1} \quad (1)$$

Donde:

I: Velocidad de infiltración (mm/hr)

Dh: Diferencia entre altura de agua (cm)

t: Diferencial de tiempo (min)



Figura 1. Equipo infiltrómetro doble anillo
Fuente: Ibañez, Moreno & Gisbert (2010)

La velocidad de infiltración básica (I_b) se considera cuando la velocidad de infiltración es constante respecto al tiempo, para el cálculo de esta se aplica la ecuación (2) (Génova *et al.*, 2017).

$$I_b = k(-600n)^n \quad (2)$$

Donde:

I_b : Velocidad de infiltración básica

k : Factor numérico adimensional, pero que representa la velocidad de infiltración en cm/h durante el intervalo inicial, se obtiene analítica o gráficamente y es el parámetro del ajuste de los datos de campo al modelo.

n : exponente que varía entre 0 y -1 .

Los valores de infiltración básica se pueden clasificar utilizando la Tabla 1 propuesta por la USDA.

Tabla 1. Clasificación de permeabilidad

CLASE	DENOMNACION	RANGO (mm/h)
1	Muy Lenta	< 1.5
2	Lenta	1.5 a 5
3	Moderadamente Rápida	5 a 20
4	Moderada	20 a 65
5	Moderadamente Rápida	65 a 150
6	Rápida	150 a 250
7	Muy Rápida	>250

Fuente: USDA (2006)

c. Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre la masa del suelo seco m mismo que es colocado a 105°C por 24 horas y el volumen total ocupado. Tomado tal como aparece en el perfil del terreno; cabe recalcar que en el volumen mencionado se acoge los espacios de aire y materia orgánica, valor que depende de la textura, estructura y el grado de compactación presente en el suelo (Calvache, 2010).

Para el cálculo de la densidad aparente se utiliza se aplica la siguiente fórmula: (Gabriels & Lobo, 2011)

$$DA = (Pss) * Vol^{-1} \quad (2)$$

Donde:

DA: Densidad aparente

Pss: Peso del suelo en gramos

Vol: Volumen del suelo en cm^3

La densidad aparente del suelo es un indicador para el desarrollo radicular interpretando la Tabla 2.

Tabla 2. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g/cm³)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm³)	Densidades aparentes que pueden restringen el crecimiento radicular (g/cm³)
Arena, areno-franco	< 1.60	1.69	>1.80
Franco-arenosa, franco	< 1.40	1.63	>1.80
franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	< 1.40	1.60	>1.75
Limosa, franco-limosa	< 1.30	1.60	>1.75
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	< 1.40	1.55	>1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45% de arcilla)	< 1.10	1.39	>1.58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1.10	1.39	>1.47

Fuente: USDA (1999)

d. Textura

La textura del suelo depende directamente del tamaño de las partículas de la cual está formada. Entre las partículas tenemos la arena, el limo y la arcilla. En los suelos arenosos predominan las arenas o partículas minerales mayores de 0,05mm de diámetro, en los suelos limosos predominan los limos o partículas entre 0,05 y 0,002mm la permeabilidad varía mucho en ellos, los suelos arcillosos predominan las arcillas o partículas menores de 0.002 mm son muy impermeables y mal aireados, pues en ellos predominan los microporos en los suelos francos predomina claramente ninguno de los tres tipos de partículas, en estos suelos presentan una mezcla de arenas, limos y arcillas en proporciones equilibradas (Orellana, 2010).

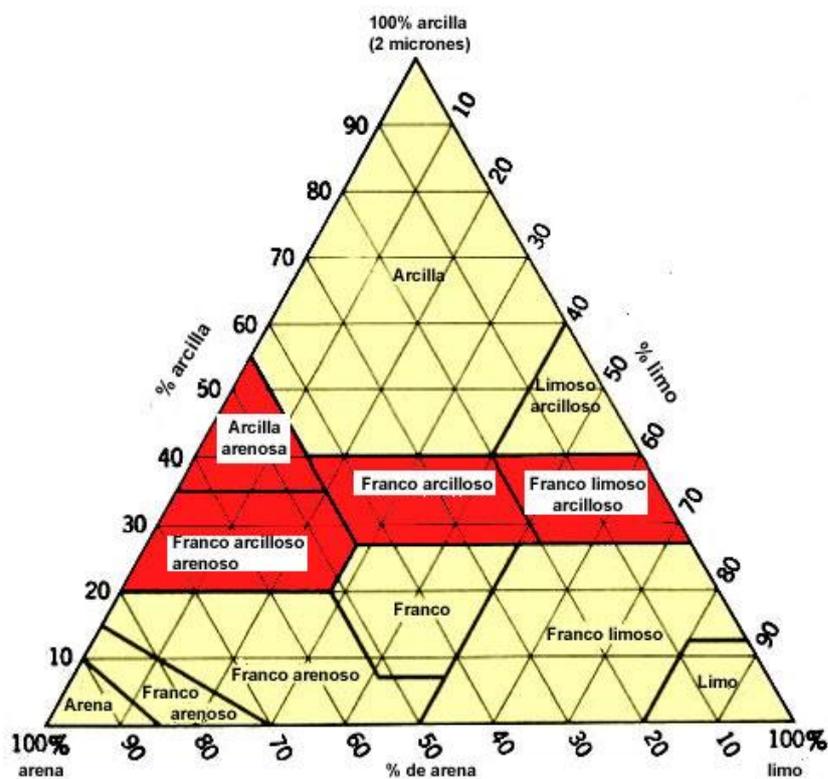


Figura 2. Clasificación según las clases texturales.

Fuente: SSDS (1993).

e. Parámetros hídricos

El suelo es un “reservorio” que contiene cierta cantidad de agua, de la cual sólo una parte está disponible para las plantas (Hurtado, 2002).

El comportamiento del suelo está controlado por el contenido de humedad, el cual influye en las propiedades edáficas y energéticas del mismo (Hernández, 2015).

1) Capacidad de campo (CC)

Hurtado. (2002), manifiesta que CC es la máxima cantidad de agua retenida por un suelo con buen drenaje, los poros pequeños (micro poros) retienen el agua contra la fuerza de gravedad, pero con una energía que es fácilmente superada por la fuerza de succión de las raíces.

La capacidad de campo se alcanza cuando la tensión del agua en el suelo es de aproximadamente 0.3 bars en suelos arcillosos o de 0.1 bares en suelos de textura media (Leon, 2016).

2) Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de humedad en el suelo en el cual la planta ya no tiene la capacidad de absorber agua, haciendo que la planta se marchite y si continua expuesta a este parámetro la planta puede llegar al estrés hídrico, el mismo que provoca reducciones significativas en el rendimiento (Zotarelli, Dukes , & Morgan 2013).

Este punto se logra cuando el estado energético (tensión del agua en el suelo) alcanza entre 10 y 20 bares (Leon, 2016).

f. Formas de medir el agua en el suelo

Para poder determinar el contenido de agua en un suelo se emplea los métodos con más exactitud, siendo estos el método gravimétrico, el uso de tensiómetros y bloques de yeso (Chávez, 2018).

1) Método gravimétrico

El contenido de humedad en el suelo se determina extrayendo con un barreno una muestra del suelo de 100g - 200g aproximadamente, se determina el peso húmedo con el uso de una balanza y posteriormente trasladamos a la estufa a una temperatura permanente de 105 °C por 24 horas, posterior a ello se determina el peso seco usando una balanza. (Chávez, 2018) y finalmente aplicamos la ecuación (3) propuesta por Ekanayake, (1994) citada por (Leon, 2016):

$$CAS = [(PF - PS) * 100] * PS^{-1} \quad (3)$$

Donde:

CAS: Contenido de agua en el suelo (%)

PF: Peso fresco de la muestra (g)

PS: Peso seco de la muestra (g)

Para su interpretación se utiliza el cuadro 2.

Tabla 3. Porcentajes de humedad para los diferentes tipos de suelos

HUMEDAD DEL SUELO			
TEXTURA	CC	PMP	HD
Arenoso	9 %	2 %	7 %
Franco arenoso	14 %	4 %	10 %
Franco	34 %	12 %	22 %
Arcilloso	38 %	34 %	14 %

Fuente: Castellanos (2017).

2) Potencial mátrico

a) Tensiómetro

El tensiómetro mide la tensión o la succión del agua del suelo. El agua se mueve desde el tubo del tensiómetro a través de la cápsula de cerámica hacia el suelo en respuesta a la succión del agua del suelo y conforme el suelo se seca, la lectura en el medidor aumenta (Enciso, Porter & Péries, 2005).

Tabla 4. Interpretación de las lecturas de los tensiómetros.

Lectura centibares	Estado	Explicación / Acción
0	Saturado	Estado de saturación para cualquier tipo de suelo, si la lectura persiste indica problemas de drenaje fuerte y aireación pobre.
5-10	Exceso	Exceso de humedad para el desarrollo de la planta, es indicador de que el drenaje continúa.
10-20	Capacidad de Campo	Indica capacidad de campo para la mayoría de los suelos, aportaciones extra de agua se perderán por percolación con el consiguiente lavado de nutrientes.
20-30	Rango de inicio del riego	Buen nivel de agua disponible y aireación en suelos de textura fina y media, no se requiere riego.
30-40		Indica el riego para suelos de arena fina, y para la mayoría de los suelos bajo régimen de riego por goteo.
40-60		Indica el inicio del riego para la mayoría de los suelos. Suelos francos inician entre 40-50 cbars.
70	Seco	Inicia el rango de estrés, pero es probable que aún no sufra daño el cultivo.
80		Lecturas mayores son posibles pero la columna de agua del aparato puede romper entre los 80-85 cbars, dependiendo de la altura del instrumento con respecto al nivel del mar.

Fuente: Fuente (2006).

3. Características químicas

a. Macro elementos y micro elementos

Los macronutrientes son requeridos por las plantas en grandes cantidades inclusive sobre los 500 pm, otros nutrientes son requeridos en cantidades menores usualmente de 50 ppm o menos, estos son llamados micronutrientes (COSUDE, 2006). Para la interpretación del

contenido de nitrógeno en el suelo se utiliza la Tabla 4, para el contenido de fósforo y potasio se utiliza la Tabla 5.

Tabla 5. Tabla de interpretación de análisis de nitrógeno total (%)

Nitrógeno (%)	Clasificación
< 0.032	Extremadamente pobre
0.032 – 0.063	Pobre
0.064 – 0.095	Medianamente pobre
0.096 – 0.126	Medio
0.127 – 0.158	Moderadamente rico
0.159 – 0.221	Rico
> 0.221	Extremadamente rico

Fuente: Fernández, *et al.*, (2006)

Tabla 6. Tabla de interpretación de análisis de Fósforo y Potasio

Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)	Clasificación
< 7	Menor a 100	Bajo
7 – 14	100 – 200	Medio
> 14	Mayor a 200	Alto

Fuente: Huiza & Quispe (2017)

b. Materia orgánica

La materia orgánica se compone de una combinación de derivados de plantas y animales y con sus respectivos productos de transformación biológica siendo así la fracción orgánica del suelo (Quiroga, Galantini & Studdert, 2017).

Tabla 7. Interpretación de materia orgánica

Contenido de Materia Orgánica	Categoría
< 0.9	Muy bajo
1.0 – 1.9	Bajo
2.0 – 2.5	Normal
2.6 – 3.5	Alto
> 3.6	Muy alto

Fuente: Rioja (2002)

c. Potencial hídrico

El pH es un valor variable entre 0 y 14 que indica la acidez o la alcalinidad de una solución. Se conoce que un valor de pH alto puede causar dificultades en los diferentes dispositivos de un sistema de riego debidas a la formación de precipitados, que un adecuado pH asegura una mejor absorción de los diferentes nutrientes, en especial el fósforo y micronutrientes, etc (Morgan, 2017).

El pH es una de las variables más importantes en los suelos agrícolas, pues afecta directamente a la absorción de los nutrientes del suelo por las plantas, así como a la resolución de muchos procesos químicos que en él se producen. En general, el pH óptimo de estos suelos debe variar entre 6,5 y 7,0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad, ya que se trata del rango donde los nutrientes son más fácilmente asimilables, y, por tanto, donde mejor se aportarán la mayoría de los cultivos. En cambio, también hay nutrientes (generalmente microelementos) y cultivos que se adaptan mejor a pH más bien ácidos o básicos (Catalan, 2016). Para la interpretación de los valores resultantes se puede aplicar la Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación de suelos según valores de pH

Categoría	pH
Extremadamente ácido	3.5 - 4.4
Muy fuerte ácido	4.5 - 5.0
Fuertemente ácido	5.1 - 5.5
Moderadamente ácido	5.6 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 - 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
fuertemente alcalino	8.5 - 9.0

Fuente: USDA (1998)

d. Conductividad eléctrica (CE)

La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que a mayor CE, mayor es la concentración de sales (Barbaro, 2017).

C. CLIMA

1. Precipitación

Se considera a cualquier producto del resultado de la condensación del vapor de agua atmosférico que es depositado en la superficie terrestre, este ocurre cuando la atmósfera se satura con vapor de agua, tendiendo a que el agua se condense y caiga o precipite (Arroyo, 2007).

El equipo con el que se determina la precipitación es un pluviómetro de balancín de vaciado, el cual dispone de una red que se abre cada que el calancin hace bascular por el peso del agua acumulada, lo que produce un pulso que es registrado mediante un datalogger (Sensorvital, 2019).

2. Evaporación

Es el proceso en el que el agua que se encuentra en estado líquido pasa a estado gaseoso y se retira de la superficie de la tierra (Ekanayake, 1994). Los factores climatológicos que influyen en la evaporación son la radiación, temperatura ambiental o del aire, la humedad atmosférica y velocidad del viento (Allen *et al.*, 2006).

Empleando el tanque de evapotranspiración clase “A” se puede determinar la evaporación, la cual es con el uso de un tornillo micrométrico se puede notar la disminución de altura en el agua en un día, este dato viene a ser la cantidad de agua evaporada (mm/día) (León, 2016).

3. Temperatura

Las temperaturas del aire y suelo se miden con varios tipos de termómetros como termógrafos, termómetros de líquido en vidrio, y termistores (Ekanayake, 1994)

4. Humedad relativa

Es la cantidad de humedad en el aire comparando con la que el aire puede mantener a la temperatura de momento (Olmo, 2015).

5. Velocidad del viento

Es el componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto en un instante determinado, el instrumento de medición es un anemómetro dando un resultado con una unidad de medida de metros por segundo (m/s) (Rodríguez, Benito & Portela, 2004).

VI. MATERIALES Y METODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Ubicación

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental Tunshi en el Centro Experimental del Riego (CER) de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Parroquia Licto, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

2. Ubicación geográfica

Altitud: 2727 m.s.n.m.

Latitud: 1°45'1.52"S

Longitudes: 78°37'36.25"W

Fuente: Datos registrados con GPS

3. Condiciones climáticas

Temperatura promedio: 12.94°C

Humedad relativa: 81.76%

Precipitación anual: 738.07 mm/año

Fuente: Estación Meteorológica Tunshi - ESPOCH 2019

4. Clasificación ecológica

Según Holdrige (1982) la localidad se encuentra en el rango de estepa espinosa Montano Bajo (ee-MB).

B. MATERIALES Y EQUIPOS

1. Materiales de campo

a. Construcción

Retroexcavadora, malla electrosoldada (10 x 10 cm, \varnothing 5 mm), hormigón simple ($f^{\circ}C=210$ kg/cm²), malla armada (20 x 20 cm, \varnothing 10 mm), acero de refuerzo ($f_y=42.00$ kg/cm²), manguera negra (\varnothing 1/2’’), cajetines plásticos, impermeabilizante líquido, estructura metálica (1.10 m x 0.55 m), vidrio templado (1.10 m x 0.55 m, espesor 10 mm) y geomembrana (1000 micras).

b. Calibración

Penetrómetro manual, infiltrómetro de doble anillo, pala de desfonde, balanza digital, canto rodado, compactador manual de suelo, barreno, tensiómetros (0.15, 0.30 y 0.50 m), bloques de yeso, barreno, capsulas metálicas, balanza de precisión, estufa, humidímetro, depósito de drenaje, probeta y sistema de riego a goteo (caudalímetro, tuberías, válvulas y accesorios de varios diámetros).

2. Materiales de gabinete

Libreta, lápiz, borrador, calculadora, reglas, laptop, Software Autocad, flash memory, impresora, hojas de impresión.

C. METODOLOGÍA

1. Fase de pre campo

a. Diseño de bloque de siete lisímetros de drenaje

La primera fase de la investigación fue el desarrollo del plano del bloque de lisímetros para lo cual se utilizó el software Autocad en el que se diseñó dos tipos, lisímetro Tipo A y lisímetro Tipo B bajo el nivel del suelo con las siguientes características.

1) Lisímetro Tipo A

El lisímetro tipo A tiene forma prisma pentagonal con las siguientes dimensiones:

Ancho: 1.97 m

Largo: 2.49 m

Profundidad inicial: 0.60 m

Profundidad de zonas de drenaje: 1.10 m

El desnivel de profundidades tiene como objetivo de provocar el drenaje correspondiente, en la profundidad de zona de drenaje se coloca una tubería de 50 mm de material PVC acompañado de una válvula de bola de 50 mm de material PVC.

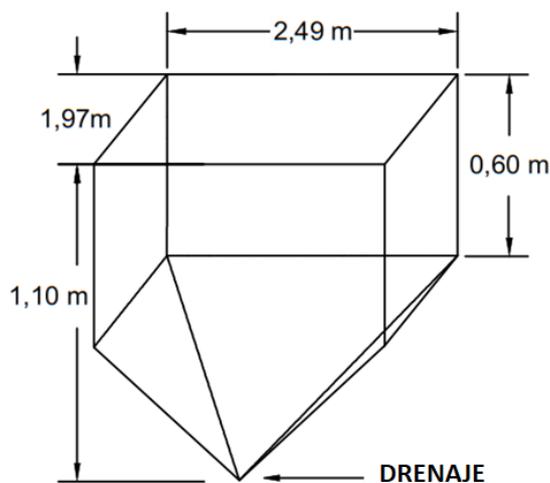


Figura 3. Diseño de lisímetro tipo A

Fuente: (Salazar, F. 2019)

2) Lisímetro Tipo B

El lisímetro tipo B tiene forma prisma trapezoidal con las siguientes dimensiones:

Ancho: 1.97 m

Largo: 2.49 m

Profundidad inicial: 0.60 m

Profundidad de zonas de drenaje: 1.10 m

El desnivel de profundidades tiene como objetivo de provocar el drenaje correspondiente, en la profundidad de zona de drenaje se coloca una tubería de 50 mm de material PVC acompañado de una válvula de bola de 50 mm de material PVC.

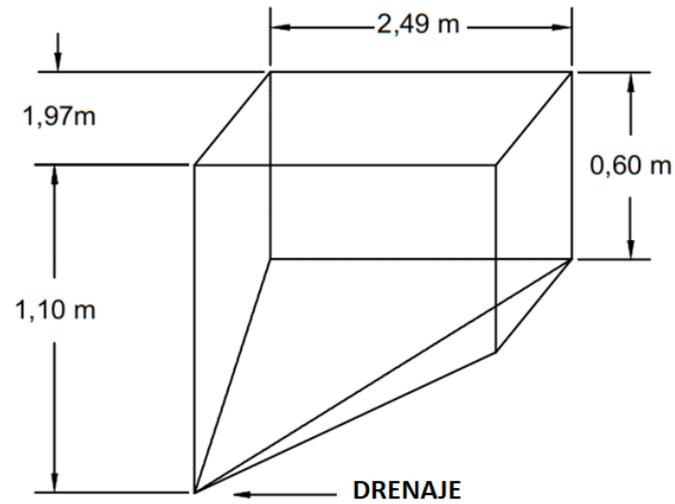


Figura 4. Diseño de lisímetro tipo B

Fuente: (Salazar, F. 2019)

Con el diseño de los dos tipos de lisímetros se procedió a formar el bloque de siete lisímetros con las siguientes características:

Lisímetro 1: Tipo B

Lisímetro 2: Tipo A

Lisímetro 3: Tipo B

Lisímetro 4: Tipo B

Lisímetro 5: Tipo A

Lisímetro 6: Tipo B

Lisímetro 7: Tipo A

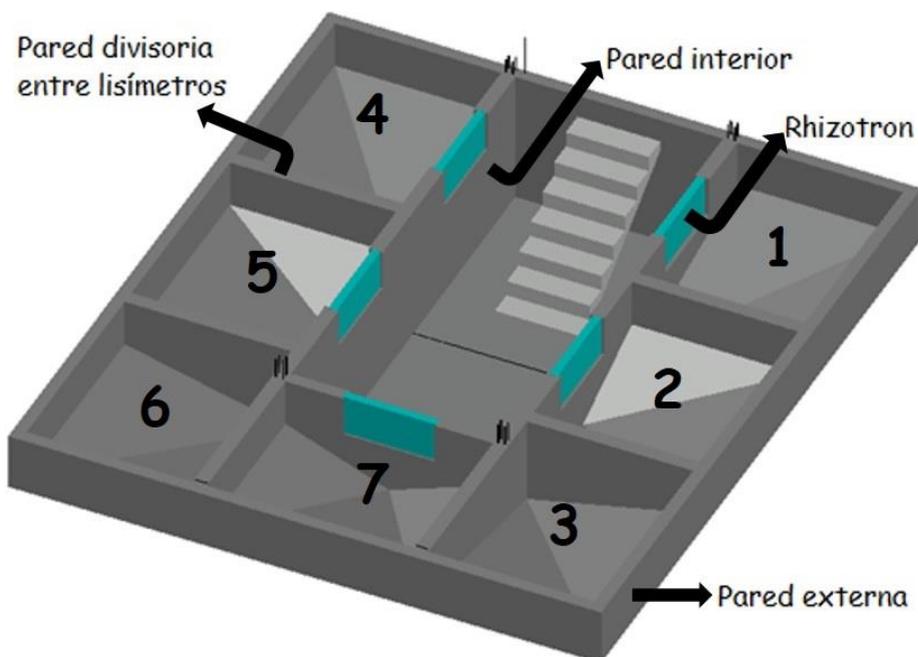


Figura 5. Diseño 3D bloque de siete lisímetros de drenaje.

Fuente: (Salazar, F. 2019).

La división entre cada lisímetro y la pared interna del bloque con un espesor de 0.17 m y la pared externa del bloque con un espesor de 0.15 m.

Se diseñó un marco metálico de dimensiones 1.1 m por 0.5 m con doble entrada, en entrada interior se colocará vidrio templado de 10 mm, en la entrada exterior se colocará geomembrana de 1000 micras de espesor con dimensiones de 1.1 m por 0.5 m, estos marcos se ubicarán en la parte frontal interna de los lisímetros 1, 2, 4, 5 y 7.

Para ingresar al cuarto de observación se diseñaron gradas con dimensiones de 0.3 m por 1 m con una altura de 0.2 m.

Se diseñó 7 depósitos de drenaje de vidrio cubierto con estructura metálica con dimensiones de 0.5 m por 0.5 m por 0.4 m, acompañada en el lado derecho con una regleta metálica para determinar la altura o la lámina de agua drenada.

2. Fase de campo

a. Construcción de bloque de siete lisímetros de drenaje

Definida la ubicación del bloque de lisímetros de drenaje se delimitó con cal el borde externo de cada uno de los siete lisímetros, posteriormente con ayuda de la maquinaria retroexcavador se extrajo 4 capas de suelo a diferentes profundidades de cada lisímetro:

Capa 1: 0 m – 0.2 m de profundidad

Capa 2: 0.2 m – 0.4 m de profundidad

Capa 3: 0.4 m – 0.6 m de profundidad

Capa 4: 0.6 m – 0.8 m de profundidad



Figura 6. Extracción de capas de suelo en el bloque de lisímetros.

Fuente: (Salazar, F. 2019)

Para la construcción de la base de los lisímetros se utilizó malla electrosoldada y hormigón simple, las paredes externas e internas de los lisímetros se utilizó malla armada, acero de refuerzo, y hormigón simple. En la construcción de la pared interna del bloque se implementó la estructura metálica correspondiente al rhizotron el cual consta de 2 entradas como se observa en el Figura 7, en la entrada interna se colocó vidrio templado de 10 mm de espesor recubierto en su borde con silicona, en la entrada exterior se colocó geomembrana de 1000 micras de espesor.



Figura 7. Estructura metálica de rhizotron

Fuente: (Salazar, F. 2019)

En toda la estructura interna del bloque de lisímetros se instalaron 2 guías de electricidad para puntos eléctricos usando manguera negra, cajetines y posteriormente el interior de cada lisímetro fue impermeabilizado con impermeabilizante líquido.

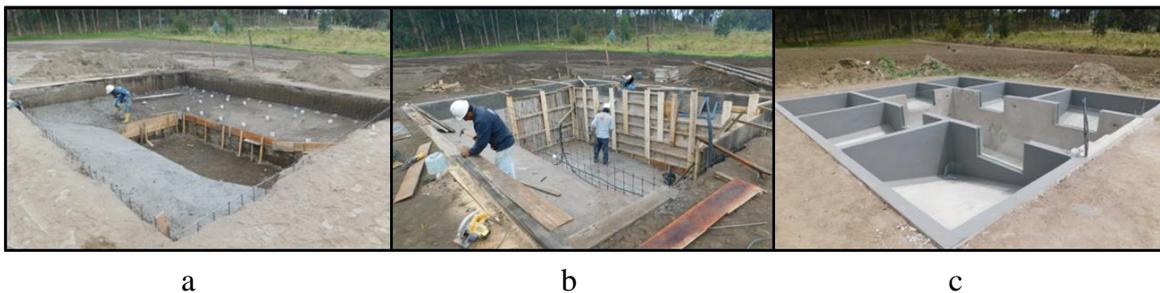


Figura 8. (a) Construcción de la base y pared externa de lisímetros, (b) Construcción de pared interna del bloque de lisímetros, (c) Aplicación de impermeabilizante en lisímetros.

Fuente: (Salazar, F. 2019)

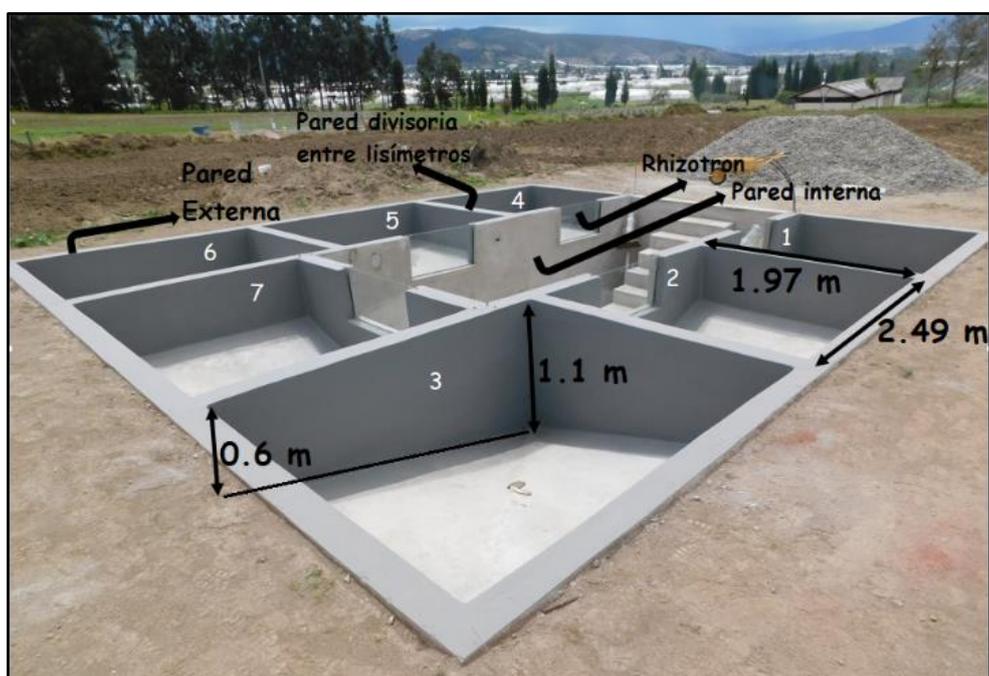


Figura 9. Bloque de lisímetros construidos

Fuente: (Salazar, F. 2019)

b. Caracterización de parámetros físico – químicos del suelo

A una distancia paralelo a cada lisímetro, se determinó los parámetros hídricos del suelo con la respectiva metodología:

1) Identificación de horizontes

Para la identificación de horizontes se tomó en consideración variables de color, estructura, consistencia y la presencia o ausencia de carbonatos.

2) Compactación

Para determinar el grado de dureza del suelo se utilizó un penetrómetro manual, el mismo que se introdujo en 4 puntos equidistantes de la capa de estudio obteniendo al culminar un promedio de los datos, los mismo que están dados en unidades de Kgf/cm^2



Figura 10. Lectura de compactación de capas de suelo.

Fuente: (Salazar, F. 2019)

3) Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración fue obtenida mediante el infiltrómetro Turf Tec, el mismo que se colocó a nivel de la superficie y se procedió a introducir 0.05 m y posteriormente se aplicó agua en el anillo exterior e interior.



Figura 11. Prueba de infiltración en capas de suelo.

Fuente: (Salazar, F. 2019)

Para la determinación de Velocidad de Infiltración Instantánea y la Velocidad de Infiltración Básica se aplicó la ecuación (1) y (2) respectivamente.

4) Densidad aparente

Para la determinación de la densidad aparente se aplicó el método del hoyo el mismo que consistió en realizar una excavación de un hoyo en el suelo (0.25 m por 0.25 m por 0.20 m), extrayendo y pesando la cantidad de suelo que ocupaba el hoyo para obtener la masa de suelo en estado húmedo. Se determinó el volumen del hoyo colocando un plástico en el hoyo y aplicando agua previamente medido con el uso de una probeta (Gabriels & Lobo, 2006). Del suelo extraído se toma una muestra de suelo de 200 gr la cual se la somete a una temperatura de 105°C por 24 horas y se determina el porcentaje de humedad el cual se hace una relación para el total del suelo extraído obteniendo así el dato real de la masa del suelo. Con los datos obtenidos se aplicó la ecuación (3).



Figura 12. Prueba de densidad aparente.

Fuente: (Salazar, F. 2019)

5) Textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente

La textura fue determinada mediante el método Boyocus, referente a capacidad de campo y punto de marchitez permanente se realizó la metodología ollas de presión de Richards (INIAP, 2019).

6) Macro elementos, micro elementos, pH, Conductividad eléctrica y materia orgánica

La metodología empleada Olsen modificado, Curcumina y Fosfato de calcio para macro elementos y micro elementos y para la determinación de pH se usó la metodología de Suelo:agua (1:2,5), para conductividad eléctrica Pasta Saturadas y para materia orgánica Dicromato de potasio (INIAP, 2019).

c. Instalación de bloque de siete lisímetros de drenaje

En la zona de drenaje de cada lisímetro se colocó una malla metálica (0.5 m por 0.5 m) con el objetivo de evitar el paso de partículas gruesas, posterior a ello se colocó capas de suelo con la particularidad que la capa 4 se reemplazó con canto rodado para permitir el drenaje y esta fue cubierta en la parte superior con una malla plástica.

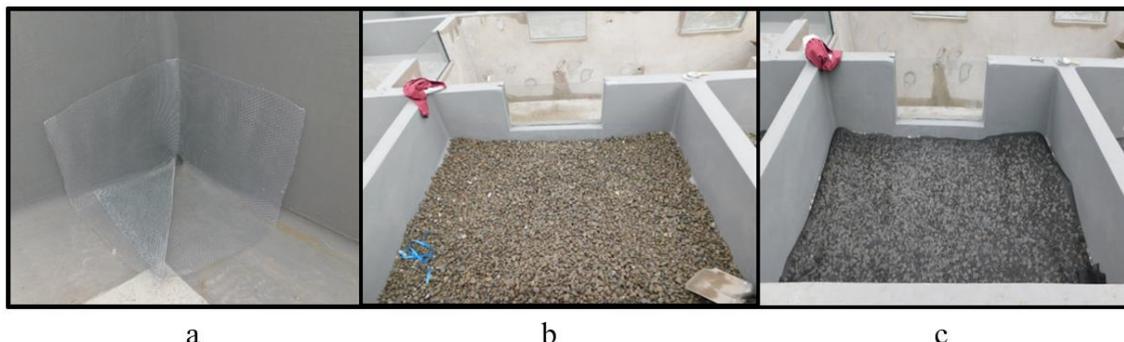


Figura 13. (a) Incorporación de malla metálica, (b) Incorporación de canto rodado, (c) Incorporación de malla plástica.

Fuente: (Salazar, F. 2019)

En referencia a la capa 3, 2 y 1 fueron colocadas en función al grado de compactación que se obtuvo inicialmente ayudados con un compactador manual, mencionar que en la capa 1 se formó 3 camellones 0.6 m de ancho por 0.3 m con la excepción del lisímetro 7 el cual estaba destinado para la determinación de evapotranspiración del cultivo de referencia siendo este el Ray grass (*Lolium multiflorum*).

Para obtener el nivel ideal de humedad en los lisímetros se instaló un sistema de riego, con tuberías PVC de 32 mm y válvulas de esfera de paso en la cual presenta caudalímetros en cada uno de los lisímetros.

En cada camellón se instaló una línea de riego con una cinta de goteo con goteros cada 0.3 m y con un caudal de gotero de 1.6 L/h. Para determinar el comportamiento de la humedad del suelo se utilizaron tensiómetros y bloques de yeso a profundidades de 0.10 m, 0.30 m y 0.50.

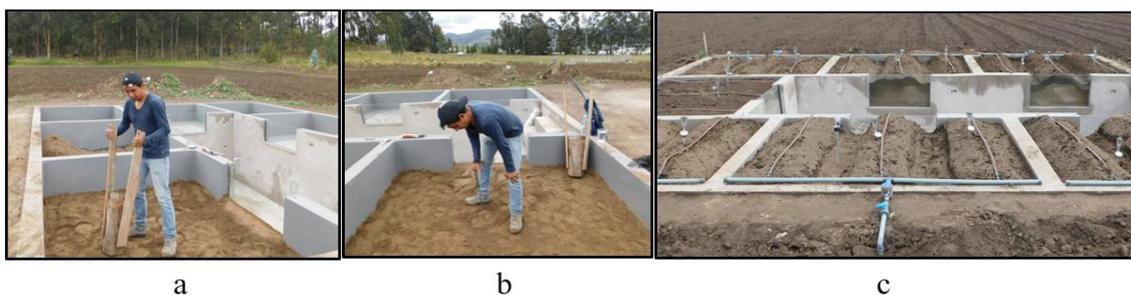


Figura 14. (a) Incorporación y compactación de capas de suelo, (b) verificación de compactación con penetrómetro, (c) Instalación de sistema de riego y tensiómetros y bloques de yeso

Fuente: (Salazar, F. 2019)

d. Calibración de bloque de siete lisímetros de drenaje

En cada lisímetro se procedió a realizar el siguiente proceso para cada capa de suelo colocada previamente:

1) Contenido de humedad por capa

Se determinó el contenido de humedad de cada capa de suelo realizando una calibración con los datos registrados de tensiómetros, bloques de yeso y método gravimétrico, para el este último método se utilizó de la ecuación (3).

2) Volumen de agua a capacidad de campo

Para conocer el volumen de agua para llegar a capacidad de campo en cada capa se aplicó la ecuación (4) propuesta por CER (2019).

$$VCC = [(CC - CAS) * 100^{-1}] * Z * Dap * AL \quad (4)$$

Donde:

VCC: Volumen de agua a capacidad de campo (m³)

CC: Valor de capacidad de campo (%)

CAS: Contenido de agua en el suelo (%)

Z: Profundidad de la capa (m)

Dap: Densidad aparente de la capa de suelo (g/cm³)

ρw: Densidad del agua (g/cm³)

Al: Área de lisímetro (m²)

El volumen de agua para llegar a capacidad de campo del lisímetro está en función de los valores de las 3 capas, las mismas que fueron realizadas una sumatoria y de esta forma determinar la cantidad de agua total que necesita el lisímetro para llegar al nivel deseado.

3) Volumen de agua a capacidad de campo

Llegado al volumen a capacidad de campo es importante obligar a generar un drenaje a cada lisímetro, para lo cual se debe aplicar un sobre riego adicional, el mismo que puede ir desde el 25% de capacidad de campo hasta el 100 % de capacidad de campo, dependiendo las características hídricas del suelo como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Coeficiente de drenaje en lisímetro de drenaje

VCC (l)	Sobre riego adicional para exigir drenaje	Coeficiente de drenaje (Cd)
Volumen de agua a capacidad de campo.	25 %	VCC + 0.25 del VCC
	50 %	VCC + 0.50 del VCC
	75 %	VCC + 0.75 del VCC
	100 %	VCC + 1.0 del VCC

Fuente: (CER. 2019)

Para calcular la cantidad de agua a regar en cada lisímetro a partir del segundo riego, se puede emplear la ecuación (5) utilizada en (León *et al*, 2016) permitiendo así determinar los requerimientos hídricos de la especie a cultivar.

$$Va = Etp \times ND \times Al \times Cd \quad (5)$$

Donde:

Va: Volumen aplicado (L)

Etp: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm)

ND: Número de días que hay de a riego a otro, en el momento que deja de drenar el lisímetro

Al: Área del lisímetro (m²)

Cd: Coeficiente de drenaje

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. CONDICIONES CLIMÁTICAS.

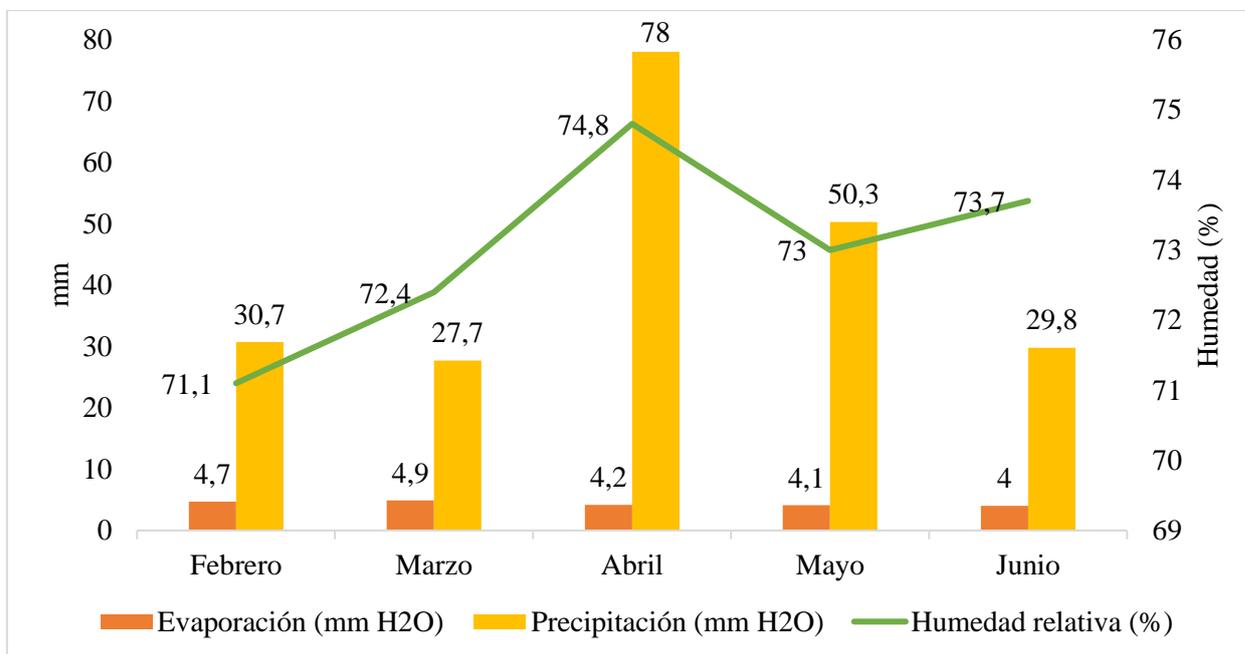


Figura 15. Comportamiento climático en el área de estudio.
Fuente: (Estación meteorológica Tunshi)

En la Figura 15 se presenta una los valores climáticos durante el período de la investigación, en los cuales se nota que los datos de evaporación no varían significativamente siendo el valor máximo 4.9 mm en el mes de marzo, para los datos de precipitación se puede notar una variación de datos en los cuales para el mes de abril se obtuvo el máximo valor de precipitación con 78 mm, así mismo en el mes de abril se obtuvo el máximo valor de humedad relativa siendo este 74.8 %.

B. DISEÑO DE BLOQUE DE SIETE LISÍMETROS DE DRENAJE

Para el diseño del bloque de lisímetros de drenaje se necesitó un área de 57.34 m², con dimensiones de 8.11 m por 7.07 m, el bloque de lisímetro lo conforman siete lisímetros, 3 lisímetros Tipo A con forma prisma pentagonal y 4 lisímetros Tipo B con forma prisma trapezoidal, todos los lisímetros tienen un área de 4.9 m² con dimensiones de 2.49 m por 1.97 m los cuales tienen una profundidad inicial de 0.6 m y una profundidad en la zona

de drenaje de 1.1 m obteniendo un desnivel de 0.5 m. Los rhizotrones de los lisímetros están ubicados en la pared interna del bloque de lisímetros de drenaje, los cuales servirán para la determinación de profundidad radicular de la especie en estudio.

Para el ingreso al bloque se diseñaron gradas de ingreso con dimensiones de 1 m por 0.3 m por 0.2 m. Es importante destacar que el lisímetro 7 se designó para la determinación de la evapotranspiración de referencia, para los lisímetros 1, 2 y 3 se designó para la determinación de la evapotranspiración del cultivo de una especie en estudio, de igual manera para los lisímetros 4, 5 y 6.

Al diseño efectuado según Lopez (1970) manifiesta que existen algunas limitantes para su diseño: el efecto oasis que es eliminar el aumento de disipación del vapor por calor latente, el efecto de pared que es el flujo lateral térmico entre el lisímetro y las zonas aledañas, la alteración del suelo que es la modificación de humedad, densidad y horizontes debido al desorden de capas, el equilibrio de humedad y drenaje el cual es la presencia de irregularidades en la presión y flujos de agua, cultivo en el cual se debe tomar en cuenta la profundidad radicular de la especie a evaluar y la sensibilidad a las mediciones en el que se debe utilizar instrumentos de alta precisión para una mejor confiabilidad en toma de datos. Las estrategias a tomarse en función a las limitantes mencionadas fueron:

Para el efecto oasis la estrategia a tomarse es tomar un área experimental de 3465 m², 120 veces mayor al área del bloque de lisímetros (57.34 m²) el cual está en una área despejada.

Para el efecto pared se diseña el grosor de los lisímetros entre 0.15 m y 0.17 m, no se pudo realizar de menor espesor debido a los requerimientos estructurales.

Para la alteración del suelo se replicó la metodología de la extracción y adición de suelo en lisímetros de la investigación de Silicani (2015) donde se separa el suelo en capas de 0.20 m.

Para el equilibrio de humedad y drenaje se reemplaza la capa 4 por material petro de 2" de diámetro, acompañado de una malla metálica en el punto de drenaje de cada lisímetro, en el mismo punto se instaló una tubería de material PVC de 50 mm la que está conectada a una válvula de bola de 50 mm en la parte exterior de cada lisímetro.

Para el efecto cultivo se diseñaron los lisímetros con una profundidad superior a la profundidad efectiva del grupo de cultivo a ensayar, por lo que se espera que esta limitación no afecte las mediciones a realizarse.

Par la sensibilidad a las mediciones se utilizará en cada capa equipos de alta precisión como penetrómetro y tensiómetros.

Como se puede notar, en la Figura 16, la planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje muestra diferentes cortes y un detalle, los cuales son expuestos a continuación para entender el diseño realizado.

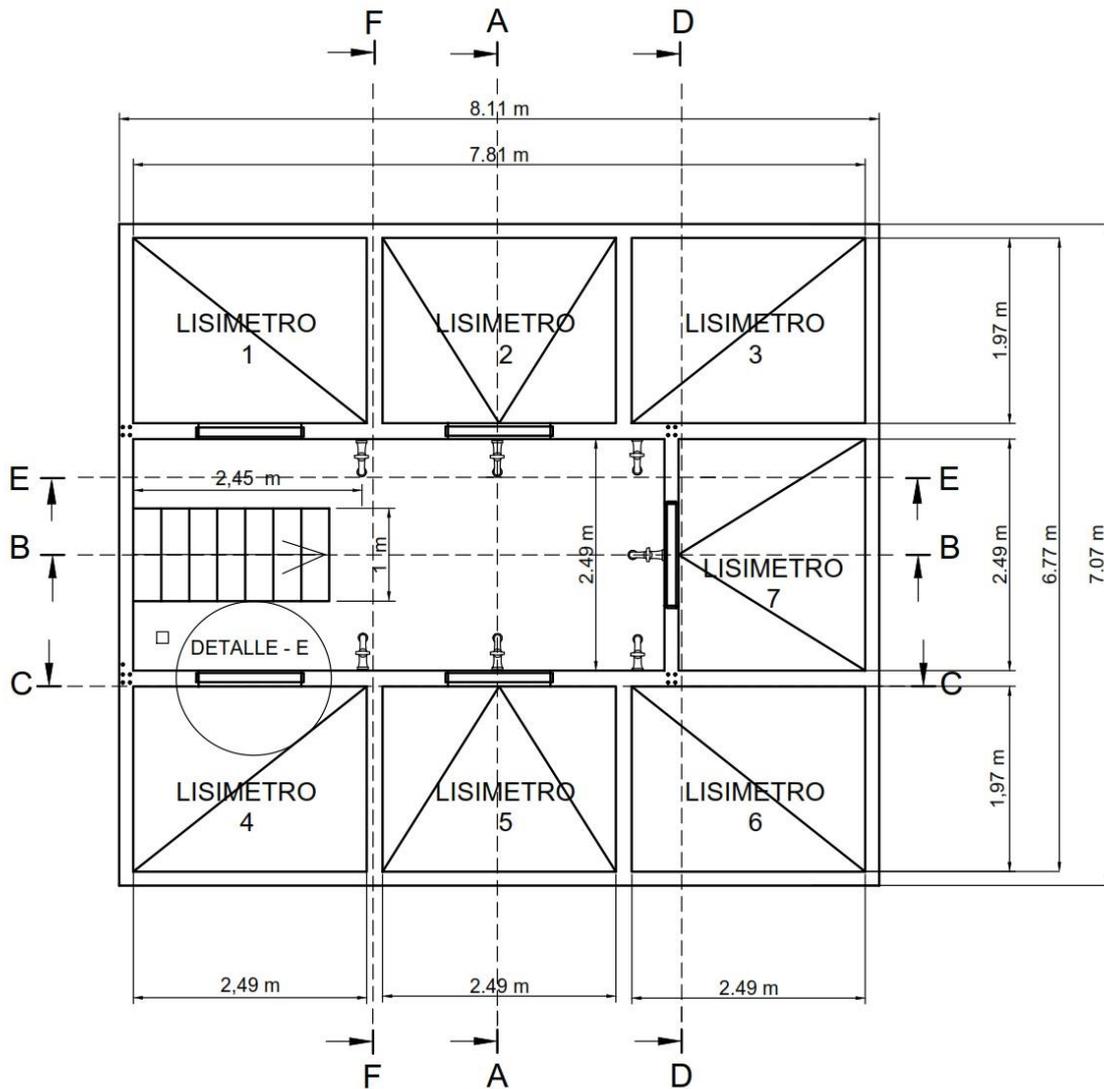


Figura 16. Planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje
Fuente: (Salazar, F. 2019)

En la Figura 17 se puede observar el corte A – A de la planimetría de bloque de siete lisímetros de drenaje en la cual se evidencia el tipo de malla electrosoldada implementada y la malla armada con varilla en cada una de las paredes y las bases, también se puede

observar el ancho del todo el bloque de los siete lisímetros de drenaje siendo este 7.07 m, adicional a esto también se puede observar las zonas de drenaje de los lisímetros 3, 6 y 7.

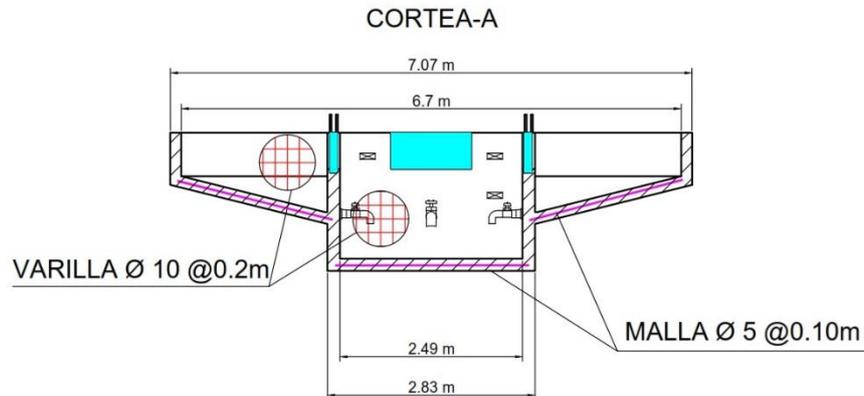


Figura 17. Corte A - A - planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje.
Fuente: (Salazar, F. 2019)

En la Figura 18 se puede observar el corte B – B de la planimetría de bloque de siete lisímetros de drenaje en la cual se evidencia las dimensiones de las gradas de ingreso, la zona de drenaje del lisímetro 1, 2, 3 y 7 así como la profundidad inicial de 0.6 m y profundidad de la zona de drenaje de 1.1 m del lisímetro 7. También se puede observar el grosor del piso siendo un 0.15 m así como el largo del mismo siendo un 5.65 m.

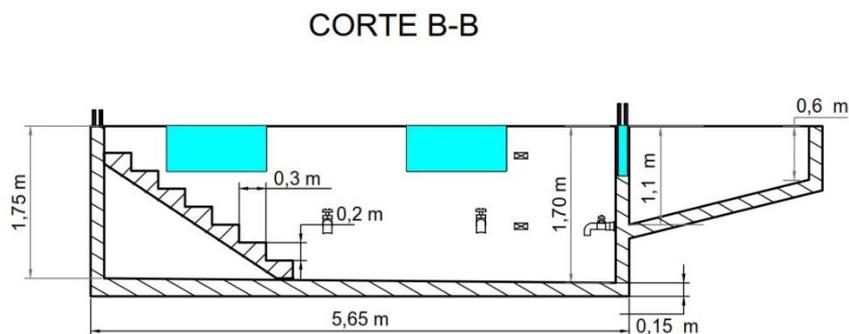


Figura 18. Corte B - B - planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje
Fuente: (Salazar, F. 2019)

En la Figura 19 se puede observar el corte C – C de la planimetría de bloque de siete lisímetros de drenaje en la cual se evidencia el largo de los lisímetros 6, 5 y 4 así como las profundidades iniciales y profundidades de la zona de drenaje de los lisímetros 6 y 4.

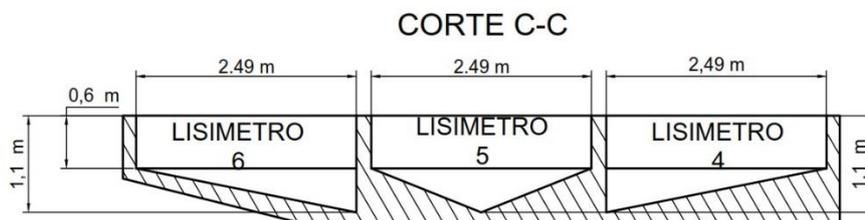


Figura 19. Corte C - C - planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje
Fuente: (Salazar, F. 2019)

En la Figura 20 se puede observar el corte D – D de la planimetría de bloque de siete lisímetros de drenaje en la cual se evidencia el grosor de las paredes conformantes de los lisímetros 3, 7 y 6, así como la profundidad de la zona de drenaje del lisímetro 7.

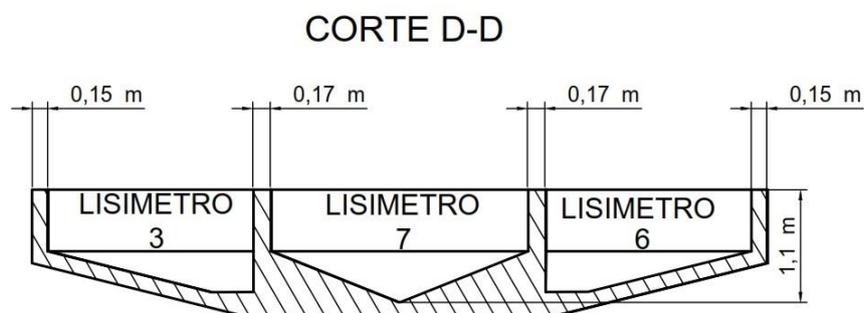


Figura 20. Corte D - D - planimetría del del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje
Fuente: (Salazar, F. 2019)

En la Figura 21 se puede observar el corte E – E de la planimetría de bloque de siete lisímetros de drenaje en la cual se evidencia la ubicación de los rhizotrones de los lisímetros 1 y 2, la malla armada con varilla de en la pared interna, externa y en la base de los lisímetros, también se evidencia la malla electrosoldada utilizada en el piso del bloque, la ubicación de las zonzas de drenaje de lisímetro 1 y 2, las varillas para

proyección a cubierta ubicadas en la pared interior y las dos guías de electricidad con sus respectivos cajetines los cuales están a una profundidad de 0.2 m y 0.5 m.

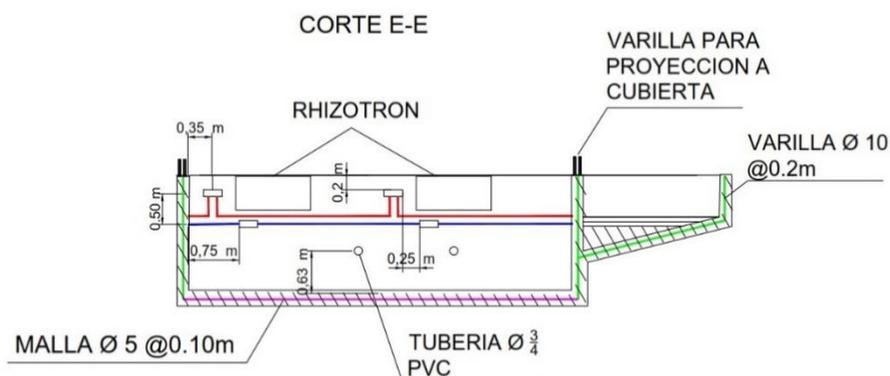


Figura 21. Corte E - E - planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje
Fuente: (Salazar, F. 2019)

En la Figura 22 se puede observar el corte F – F de la planimetría de bloque de siete lisímetros de drenaje en la cual se evidencia la ubicación de la malla electrosoldada y de la malla armada con varilla.

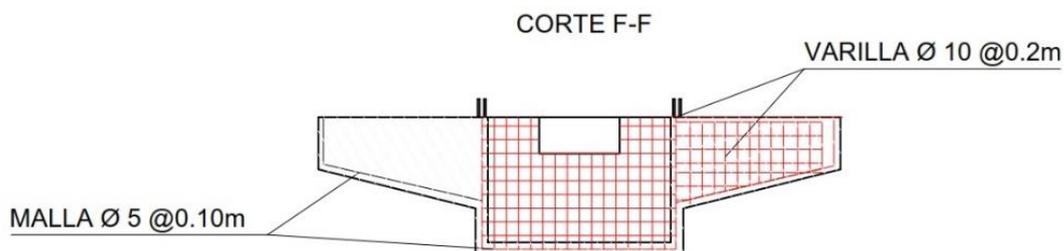


Figura 22. Corte E - E - planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje
Fuente: (Salazar, F. 2019)

En la Figura 23 se puede observar el Detalle - E de la planimetría de bloque de siete lisímetros de drenaje en la cual se evidencia las dimensiones de la base metálica de los rhizotrones y su doble entrada así como del vidrio templado y geomembrana, es relevante mencionar lo que indica Silicani (2015) que en la mayoría de especies hortícolas no supera una profundidad radicular de 0.5 m para lo cual estos rhizotrones permitirán observar la visibilidad neta del crecimiento radicular.

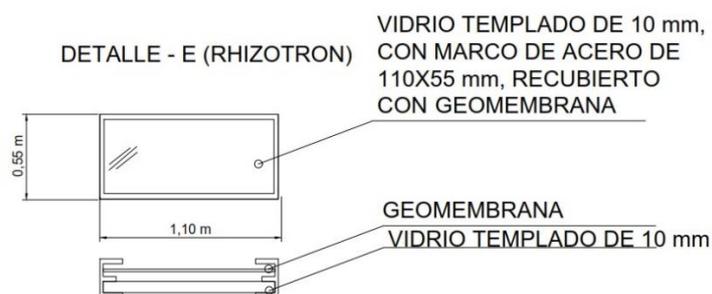


Figura 23. Detalle - E - planimetría del diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje
Fuente: (Salazar, F. 2019)

C. CONSTRUCCIÓN DE BLOQUE DE SIETE LISÍMETROS DE DRENAJE

El tipo de material utilizado fue hormigón con una resistencia de compresión de $f^c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ que permite garantizar la durabilidad en el tiempo, lo mismo que concuerda con Machaca (2011) y Garcia (2017) los cuales recomiendan que un lisímetro debe ser encofrado de hormigón con una resistencia de compresión de $f^c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ o de ladrillo.

Se realizó la aplicación de impermeabilizante líquido en la parte interior de los lisímetros para que no exista retención de agua en las paredes de los mismos, lo que concuerda con Allen *et al.*, (2006) y Machaca (2011) quienes corroboran que el uso del impermeabilizante tiene como objetivo que no exista infiltraciones de agua por los poros del concreto armado y así exista confiabilidad en los resultados de la investigación.

D. CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS DEL SUELO

1. Parámetros físicos del suelo

a. Identificación de horizontes

En la Tabla 10 se puede observar los 3 tipos de horizontes identificados en los siete lisímetros.

Tabla 10. Horizontes de las capas de lisímetros

Profundidad	Tipo de horizonte	Características	
0 – 0.2 m	A	Color 7.5 YR 3.5/4 (pardo oscuro) en húmedo; 7.5 YR 5/3 (pardo opaco) en seco, bloques subangulares y granular; consistencia ligeramente blando (seco); no posee carbonatos; presencia de raíces; límite de horizonte difuso.	
0.2 – 0.4 m	A/C	Color 7.5 YR 4/3 (pardo) en húmedo 7.5 YR 6/3.5 en seco; bloques subangulares y granular; blando (seco); no contiene carbonatos, presencia de raíces, límite de horizonte difuso.	
0.4 – 0.8 m	C/A	Color 7.5 YR 4/3.5 (pardo) en húmedo 7.5 YR 6/3 en seco; bloques subangulares y granular; ligeramente duro, presencia de carbonatos de calcio de 1 a 3% en concreciones puntuales, escasa presencia de raíces.	

Fuente: (Salazar, F. 2019)

En función a las características del horizonte A concuerda con lo manifestado por Figueroa *et al.*, (2012) quien manifiesta que el horizonte A es un horizonte superficial, de color oscuro debido a la presencia de material orgánico, además que en este horizonte se desarrollan de mejor manera las raíces de las plantas. Además Machado (2012) menciona que el horizonte mezclado A/C es un suelo joven con un horizonte A discontinuo y un horizonte C que presenta vestigios de una estructura sedimentaria con bloques subangulares siendo esta el horizonte de menor porcentaje en el horizonte mezclado así como en el horizonte de la capa 2 de la presente investigación.

RENARE (2014) menciona que el horizonte C/A es un horizonte entremezclado de material C y A, mayoritariamente el material de horizonte C como se puede apreciar en la imagen correspondiente a la profundidad de 0.4 m a 0.8 m de la Tabla 10 de en la que el material de horizonte C está encerrado en círculos para su mejor apreciación, en las cuales se puede observar material consolidado y bloques subangulares.

b. Compactación

La compactación obtenida en los bloques de lisímetro se observan en la Figura 24.

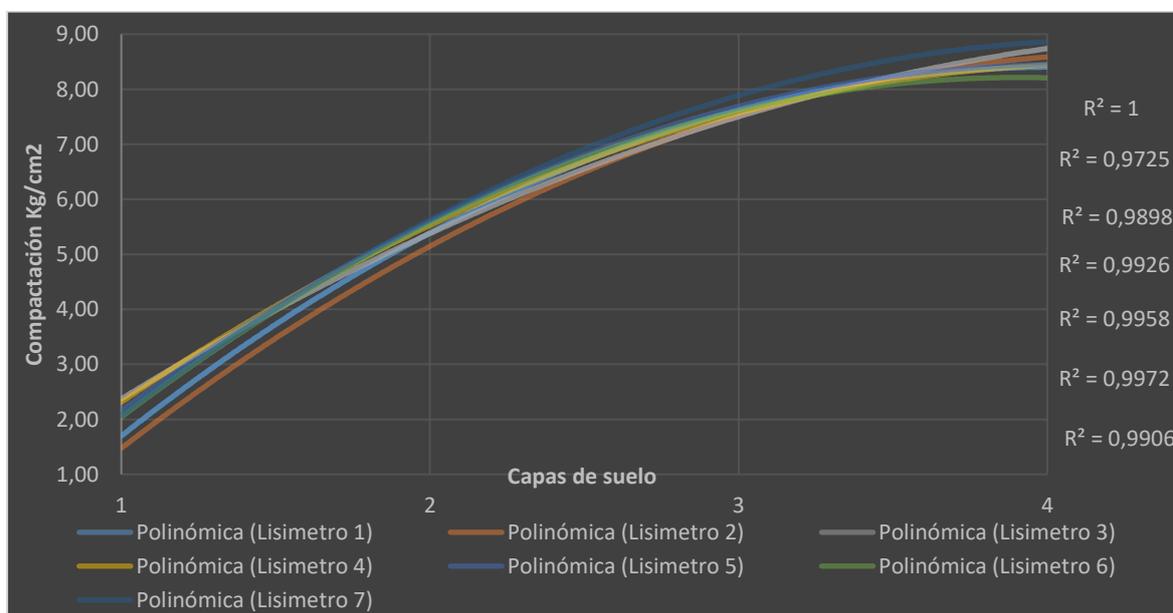


Figura 24. Compactación de capas del bloque del lisímetro

Fuente: (Salazar, F. 2019)

En la Figura 24 se puede observar la compactación de las diferentes capas del bloque de lisímetros, en la Capa 1 (0 – 0.2 m) se obtuvo que el lisímetro que obtuvo una mayor

compactación fue el lisímetro 3 con 2.48 Kg/cm^2 y el de menor compactación fue el lisímetro 2 con 1.68 Kg/cm^2 , dando un promedio en la capa 1 de 2.11 Kg/cm^2 , valores que concuerdan por lo mencionado por Soto (2012) en la que menciona que la compactación en suelos agrícolas con textura media se obtienen datos de compactación de suelos de 0.071 Kg/cm^2 a 2.14 Kg/cm^2 a profundidades de 0 m a 0.15 m.

En la capa 2 del suelo se puede observar que el lisímetro 1, 5 y 6 presentaron valores superiores siendo estos 5.18 Kg/cm^2 y el menor valor lo obtuvo el lisímetro 2 con 4.53 Kg/cm^2 , por lo tanto el promedio de la capa 2 fue de 5.18 Kg/cm^2 .

En la capa 3 de suelo el máximo valor de compactación lo obtuvo el lisímetro 7 con un valor de 8.23 Kg/cm^2 y el valor mínimo se notó en el lisímetro 1 con 7.63 Kg/cm^2 , dando un valor promedio para la capa 3 de 7.91 Kg/cm^2 . Según Da Silva, Kay & Perfect (1994) y Micucci & Toboada (1994) el desarrollo radicular se dificulta desde los 9.17 Kg/cm^2 por lo que se espera que en la presente investigación se presente un desarrollo radicular sin complicaciones.

La relación entre profundidad y compactación del suelo presenta una correlación de 0.9 a 1, lo que indica que a medida que se profundiza el suelo, el grado de compactación aumenta, esto correlacionado con lo que menciona Ibáñez (2017) que con el aumento de la compactación por diversos factores existe disminución de la velocidad de infiltración, así como la restricción del crecimiento radicular.

c. Infiltración

En la Tabla 11 se evidencia el comportamiento hidráulico del bloque de los siete lisímetros de drenaje con su respectiva denominación.

Para la capa 3 en todos los lisímetros se atribuyó el mismo dato de velocidad de infiltración básica de la capa 2 ya que el infiltrómetro no pudo ser introducido en la superficie de la capa debido a su compactación.

Tabla 11. Velocidad de infiltración básica (mm/h) y categorización de las tres capas de los siete lisímetros.

LISIMETRO	PROFUNDIDAD	*Ib (mm/h)	DENOMINACIÓN
1	0 m – 0.20 m	10	Moderadamente Lenta
	0.20 m – 0.40 m	8.5	Moderadamente Lenta
	0.40 m – 0.60 m	8.5	Moderadamente Lenta
2	0 m – 0.20 m	6	Moderadamente Lenta
	0.20 m – 0.40 m	5,4	Lenta
	0.40 m – 0.60 m	5,4	Lenta
3	0 m – 0.20 m	12	Moderadamente Lenta
	0.20 m – 0.40 m	8	Moderadamente Lenta
	0.40 m – 0.60 m	8	Moderadamente Lenta
4	0 m – 0.20 m	10	Moderadamente Lenta
	0.20 m – 0.40 m	8	Moderadamente Lenta
	0.40 m – 0.60 m	8	Moderadamente Lenta
5	0 m – 0.20 m	14	Moderadamente Lenta
	0.20 m – 0.40 m	8.3	Moderadamente Lenta
	0.40 m – 0.60 m	8.3	Moderadamente Lenta
6	0 m – 0.20 m	9,79	Moderadamente Lenta
	0.20 m – 0.40 m	8	Moderadamente Lenta
	0.40 m – 0.60 m	8	Moderadamente Lenta
7	0 m – 0.20 m	8	Moderadamente Lenta
	0.20 m – 0.40 m	6	Moderadamente Lenta
	0.40 m – 0.60 m	6	Moderadamente Lenta

*** Ib: Velocidad de infiltración básica**

Fuente: (Salazar, F. 2019)

Después del análisis de la velocidad de infiltración básica del bloque de los siete lisímetros de drenaje la velocidad de infiltración básica es moderadamente lenta en su gran proporción, esto se correlaciona con el grado de compactación que las capas del suelo presentan.

Se puede evidenciar en la capa 1 la máxima velocidad de infiltración básica ocurrió en el lisímetro 5 con un valor de 18 mm/h, para las capas 2 y 3 la máxima velocidad de

infiltración básica fue de 8.3 mm/h en el lisímetro 1, estos valores están correlacionados con el grado de compactación de sus respectivas capas.

La velocidad de infiltración básica va a disminuir en medida en que el grado de compactación del suelo aumenta. Además Denioa *et al* (2000) manifiestan que en suelos de textura media la velocidad de infiltración es menor en suelos compactados que en suelos no compactados. Un factor limitante también son las estructuras laminares las que generan que la infiltración sea baja (Álvarez *et al*, 2009).

d. Densidad aparente

Los resultados de la densidad aparente para las diferentes capas de los siete lisímetros se exponen en la Tabla 12

Tabla 12. Densidad aparente de capas del bloque de lisímetros.

LISÍMETRO	CAPA	Densidad Aparente (g/cm³)
LISÍMETRO 1	CAPA 1	1,43
	CAPA 2	1,47
	CAPA 3	1,53
LISÍMETRO 2	CAPA 1	1,39
	CAPA 2	1,41
	CAPA 3	1,41
LISÍMETRO 3	CAPA 1	1,49
	CAPA 2	1,48
	CAPA 3	1,52
LISÍMETRO 4	CAPA 1	1,38
	CAPA 2	1,40
	CAPA 3	1,50
LISÍMETRO 5	CAPA 1	1,34
	CAPA 2	1,38
	CAPA 3	1,41
LISÍMETRO 6	CAPA 1	1,35
	CAPA 2	1,47
	CAPA 3	1,51
LISÍMETRO 7	CAPA 1	1,37
	CAPA 2	1,42
	CAPA 3	1,48

Fuente: (Salazar, F. 2019)

Se observa que en la capa 1 la menor densidad aparente fue de 1.34 g/cm^3 correspondiente al lisímetro 5 así mismo obtuvo la máxima velocidad de infiltración básica de 14 mm/h de esta capa y por lo que se atribuye esta coincidencia a la mayor presencia de poros en el suelo en relación a los otros lisímetros.

En la capa 2 la menor densidad aparente fue de 1.38 g/cm^3 correspondiente al lisímetro 5 el mismo que obtuvo una velocidad de infiltración básica de 8.3 mm/h siendo una de los mayores valores en esta capa de todo el lisímetro, lo que indica que existe coherencia entre estas variables.

En la capa 3 la menor densidad aparente fue de 1.41 g/cm^3 correspondiente al lisímetro 2 y 5. Entre la capa 1 y la capa 3 existe una variación de densidad aparente en el rango de 1.34 g/cm^3 a 1.53 g/cm^3 , datos que concuerdan con lo mencionado por Álvarez *et al.* (2009) y Botta *et al.*, (2004) donde en los primeros 0.05 m de suelo se obtuvo varios resultados de densidad aparente en un suelo de textura media desde 1.12 g/cm^3 hasta 1.36 g/cm^3 y a los 0.20 m de profundidad de suelo se obtienen resultados desde 1.34 g/cm^3 a 1.52 g/cm^3 .

En base a la Tabla 2 los datos recabados concuerdan en la categoría de densidad aparente ideal en suelos de textura media.

e. Textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente

En la Tabla 13 se muestran los resultados de la clase textural, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Para el bloque de siete lisímetros de drenaje la clase textural ha variado de franco a franco limosa además el máximo valor de capacidad de campo en la capa 1 fue para los lisímetros 4, 5 y 6 con 29.72% , para la capa 2 el máximo valor fue para los lisímetros 1, 2 y 3 con 28.67% y para la capa 3 el máximo valor fue para el lisímetro 7 con 31.97% . Como se pudo observar el dato de capacidad de campo varía desde 25.77% hasta 31.97% lo que concuerda con Zúñiga (2004) que al aumentar 0.1 m de profundidad de suelo aumenta el dato de capacidad de campo en un rango de 1.9% a 22% .

Tabla 13. Clase textural, capacidad de campo y punto de marchitez permanente de las capas del bloque de lisímetros.

LISÍMETRO	CAPAS	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CLASE TEXTURAL	CC (%H)	PMP (%H)
LISÍMETRO 1, 2 y 3	CAPA 1	37	50	13	FRANCO LIMOSO	26,8	10,19
	CAPA 2	33	54	13	FRANCO LIMOSO	28,67	10,34
	CAPA 3	33	56	11	FRANCO LIMOSO	29,54	9,8
LISÍMETRO 4, 5 y 6	CAPA 1	35	52	13	FRANCO LIMOSO	29,72	9,72
	CAPA 2	39	48	13	FRANCO	26,85	9,66
	CAPA 3	35	54	11	FRANCO LIMOSO	25,77	9,65
LISÍMETRO 7	CAPA 1	39	48	13	FRANCO	25,9	9,75
	CAPA 2	37	50	13	FRANCO LIMOSO	28,44	9,62
	CAPA 3	39	50	11	FRANCO LIMOSO	31,97	10,63

CC: Capacidad de campo

PMP: Punto de marchitez permanente

Fuente: (INIAP. 2019)

2. Parámetros químicos del suelo

En la Tabla 14 se muestran los resultados de los parámetros químicos del suelo de cada lisímetro.

Tabla 14. Parámetros químicos de las capas del bloque de lisímetros

LISÍMETRO	CAPA	MO	CE	pH
LISÍMETRO 1, 2 y 3	CAPA 1	1,4	0,26	7,33
	CAPA 2	1	0,14	7,59
	CAPA 3	0,9	0,11	7,81
LISÍMETRO 4, 5 y 6	CAPA 1	1,8	0,57	7,45
	CAPA 2	1,2	0,28	7,48
	CAPA 3	0,9	0,17	7,78
LISÍMETRO 7	CAPA 1	1,5	0,33	7,39
	CAPA 2	1,3	0,32	7,31
	CAPA 3	0,9	0,14	7,69

MO: Materia Orgánica (%); CE: Conductividad Eléctrica (dS/m)

Fuente: (INIAP. 2019)

El contenido de materia orgánica en el bloque lisímetros varía desde 0.9 % a 1.8 % los cuales según Rioja (2002) considera que se encuentra en un rango de muy bajo a bajo.

Se obtuvo un resultado decreciente en relación a la profundidad, en todos los lisímetros se observa que a medida que la capa aumenta la cantidad de materia orgánica disminuye. Según Rioja (2002) consideran que el porcentaje de materia orgánica existente en la capa 1 es catalogado como bajo ya que esta categoría va desde 1.0 % a 1.9 %, esto coincide con la investigación de Bustamante (2016) en la que menciona que en un suelo con textura Franco limoso a una profundidad de 0.10 m a 0.20 m existe un rango de materia orgánica desde 1.52 hasta 2.42 siendo 1.52 categorizado como bajo.

En los lisímetros 1, 2 y 3 la variabilidad de materia orgánica en la capa 1 a la capa 2 es de 0.6 %, en los lisímetros 4, 5 y 6 dicha variabilidad es de 0.4% y en el lisímetro 7 la variabilidad de materia orgánica en las dos capas iniciales es de 0.2 %. Esta variabilidad existente se asume que es debido al aumento de densidad y de resistencia a la penetración del suelo ya que Leiva, Baldoquín, & Reyes (2009) menciona que debido al aumento de compactación se restringe el desarrollo radicular y se limita el aumento de materia orgánica en un 0.84 % así también (Pulgar, Garcia y Gonzales, 2014) asumen que el aumento de materia orgánica en horizontes superficiales es debido a la exposición a hojarasca parcialmente descompuesta.

El contenido de materia orgánica en la capa 2 y de la capa 3 en todo el bloque de lisímetros va desde 1.0 a 1.3 en la capa 2 y 0.9 en la capa 3 los cuales según Rioja (2002) considera que este contenido debe ser categorizado como un contenido bajo y muy bajo respectivamente. Si comparamos la variación del contenido de materia orgánica con los horizontes respectivos de cada capa se puede notar que a medida que las características del horizonte A disminuyen y aumentan las características del horizonte C el contenido de materia orgánica disminuye hasta obtener 0.9 %, resultados similares es lo manifestado por Lorenz (1995) quien indica que un suelo con una horizonte inicial A seguido de un horizonte A/C y finalizando con un horizonte C la variación de materia orgánica va desde 3.3 % y llega a su capa final con 0.4 %.

Los valores de pH para los lisímetros 1, 2 y 3 varían desde la capa inicial con un valor de 7.33, pasando a la capa secundaria con un valor de 7.59 y finalizando con un valor de 7.81 para su tercera capa. Para los lisímetros 4, 5 y 6 el valor de pH en de 7.45 para la capa uno, 7.48 para la capa dos y 7.78 para la capa tres. Se puede notar que el pH es directamente proporcional a la profundidad del suelo.

Los valores de pH no muestran una variabilidad notable en la cual para los lisímetros 1, 2 y 3 en la capa 1 se obtiene un valor de 7.33 este valor es neutro, de igual manera para la capa 2 y 3 el valor de 7.59 y 7.81 respectivamente es ligeramente alcalino. Para los lisímetros 4, 5 y 6 los valores de pH de las capas 1, 2 y 3 entran en el rango de ligeramente alcalino, para el lisímetro 7 las capa 1 y 2 son valores neutros y para la capa 3 el valor es ligeramente alcalino según USDA (1998).

Se puede notar en la Tabla 15 que a medida que aumenta la profundidad la concentración de elementos va disminuyendo, se asume que es porque no existe un lixiviado de minerales debido a la dureza de la compactación de las capas y a que en el lote no existieron aplicaciones de fertilización. También se notó la presencia de material semi consolidado comúnmente llamada cangagua los 0.8 m, según Custode *et al.*, (1992) al ser este material de escasos nutrientes se presume que en su entorno la carga mineralógica es escasa.

Tabla 15. Concentración química de macro y micro elementos las capas del bloque de lisímetros

LISÍMETRO	CAPA	NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	SB
LISÍMETRO 1, 2 y 3	CAPA 1	48	10	3,9	0,24	9,8	4,6	0,4	13,3	43	21	0,6	14,64
	CAPA 2	41	7,2	2,5	0,11	9,4	4,2	0,3	13,3	35	1,5	0,5	13,71
	CAPA 3	34	10	1,8	0,07	9,7	4,1	0,4	12,5	31	0,8	0,3	13,87
LISÍMETRO 4, 5 y 6	CAPA 1	40	14	10	0,33	9,5	4,3	0,3	11,3	51	2,9	0,5	14,13
	CAPA 2	39	8	6,6	0,16	8,9	4,3	0,3	12,1	36	1,4	0,3	13,36
	CAPA 3	43	7,2	4,1	0,06	9	4,1	0,4	12	33	0,7	0,4	13,16
LISÍMETRO 7	CAPA 1	57	11	2,1	0,26	9,8	4,5	0,4	12,2	48	2,9	0,5	14,56
	CAPA 2	41	10	1,9	0,22	9,9	4,4	0,4	12,7	43	1,8	0,5	14,52
	CAPA 3	32	15	1,7	0,07	9,8	4	0,3	11,4	33	1,2	0,6	13,87

SB: Sumatoria de Bases

NH4, P, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B: ppm

K, Ca, Mg, SB: meq/100 ml

Fuente: (INIAP. 2019)

D. CALIBRACIÓN DE BLOQUE DE LISÍMETROS

1. Humedad del suelo

En la Tabla 16 se observa que en la capa 1 el máximo valor de contenido de agua en el suelo es de 23.35 % siendo su valor de 10 Cb correspondiente al lisímetro 3 y el mínimo valor es de 18.75 % con 14.5 Cb.

En la capa 2 el máximo valor de contenido de humedad es de 10.03 % siendo 27 Cb correspondiente al lisímetro 6, y el mínimo valor es de 6.25 % con un valor de 36 Cb correspondiente al lisímetro 1.

Para la capa 3 el máximo valor de contenido de agua es de 10.64 % siendo un valor de 27 Cb correspondiente al lisímetro 6 y el valor mínimo es de 6.12 % con un valor de 35 Cb correspondiente al lisímetro 3.

Tabla 16. Humedad del suelo en el bloque de siete lisímetros de drenaje

LISÍMETRO	CAPAS	Gravimétrico	Tensiómetro
		(%)	(Cb)
1	CAPA 1	21.74	11.5
	CAPA 2	6.25	36
	CAPA 3	8.33	34
2	CAPA 1	18.75	14.5
	CAPA 2	9.68	28
	CAPA 3	8.79	29
3	CAPA 1	23.35	10
	CAPA 2	4.94	36
	CAPA 3	6.12	35
4	CAPA 1	19.66	13
	CAPA 2	8.97	30
	CAPA 3	8.33	31
5	CAPA 1	18.95	14
	CAPA 2	9.68	28
	CAPA 3	7.88	34
6	CAPA 1	22.27	10.5
	CAPA 2	10.03	27
	CAPA 3	10.64	27
7	CAPA 1	19.91	13
	CAPA 2	10	27
	CAPA 3	9.76	28

Fuente: (Salazar, F. 2019)

2. Obtención de coeficiente de drenaje

En la Tabla 17 se presenta el coeficiente de drenaje en función al contenido de agua en el suelo y al sobre riego porcentual en los diferentes lisímetros.

En el lisímetro 1 se determinó el contenido de humedad del suelo en las 3 capas obteniéndose estos valores, capa 1 (21.74 %), capa 2 (6.25 %) y capa 3 (8.33 %), posterior a eso se calculó el volumen necesario para llegar a capacidad de campo en cada una de ellas siendo estas 0.07 m³, 0.32 m³ y 0.32 m³ respectivamente, dando un volumen total en todo el lisímetro de 0.71 m³, además de esto, para lograr un drenaje se partió del 25 %

del volumen de capacidad de campo adicional siendo este valor de 0.18 m^3 volumen con el cual se obtuvo drenaje. Con los datos obtenidos se determina que el coeficiente de drenaje es 0.25.

En caso de los demás lisímetros se realizó el mismo proceso obteniendo un coeficiente de drenaje para el lisímetro 1 de 0.25, para el lisímetro 2 de 0.25, para el lisímetro 3 de 0.25, para el lisímetro 4 de 0.25, para el lisímetro 5 de 0.25, para el lisímetro 6 de 0.50 y para el lisímetro 7 de 0.50

Tabla 17. Calibración del bloque de siete lisímetros de drenaje

LISÍMETRO	CAPA	CAS (%)	VCC CAPAS (m^3)	VCC (m^3)	SOBRE RIEGO (%)	SOBRE RIEGO (m^3)	COEFICIENTE DE DRENAJE
LISÍMETRO 1	CAPA 1	21,74	0,07	0,71	25,00	0,18	0,25
	CAPA 2	6 ,25	0,32				
	CAPA 3	8,33	0,32				
LISÍMETRO 2	CAPA 1	18,75	0,11	0,66	25,00	0,16	0,25
	CAPA 2	9,68	0,26				
	CAPA 3	8,79	0,29				
LISÍMETRO 3	CAPA 1	23,35	0,05	0,74	25,00	0,19	0,25
	CAPA 2	4,94	0,34				
	CAPA 3	6,12	0,35				
LISÍMETRO 4	CAPA 1	19,66	0,14	0,64	25,00	0,16	0,25
	CAPA 2	8,97	0,25				
	CAPA 3	8,33	0,26				
LISÍMETRO 5	CAPA 1	18,95	0,14	0,62	25,00	0,16	0,25
	CAPA 2	9,68	0,23				
	CAPA 3	7,88	0,25				
LISÍMETRO 6	CAPA 1	22,27	0,10	0,57	50,00	0,28	0,50
	CAPA 2	10,03	0,24				
	CAPA 3	10,64	0,22				
LISÍMETRO 7	CAPA 1	19,91	0,08	0,65	50,00	0,33	0,50
	CAPA 2	10,00	0,25				
	CAPA 3	9,76	0,32				

CAS: Contenido de agua en el suelo (%)

VCC: Volumen de agua a capacidad de campo (m^3)

Fuente: (Salazar, F. 2019)

Se puede observar en el Figura 25 que el valor máximo aplicado en el bloque de lisímetros lo obtuvo el lisímetro 7 con 0.33 m^3 de sobre riego en comparación del lisímetro 2, 4 y 5 que obtuvieron menores cantidades de sobre riego siendo 0.16 .

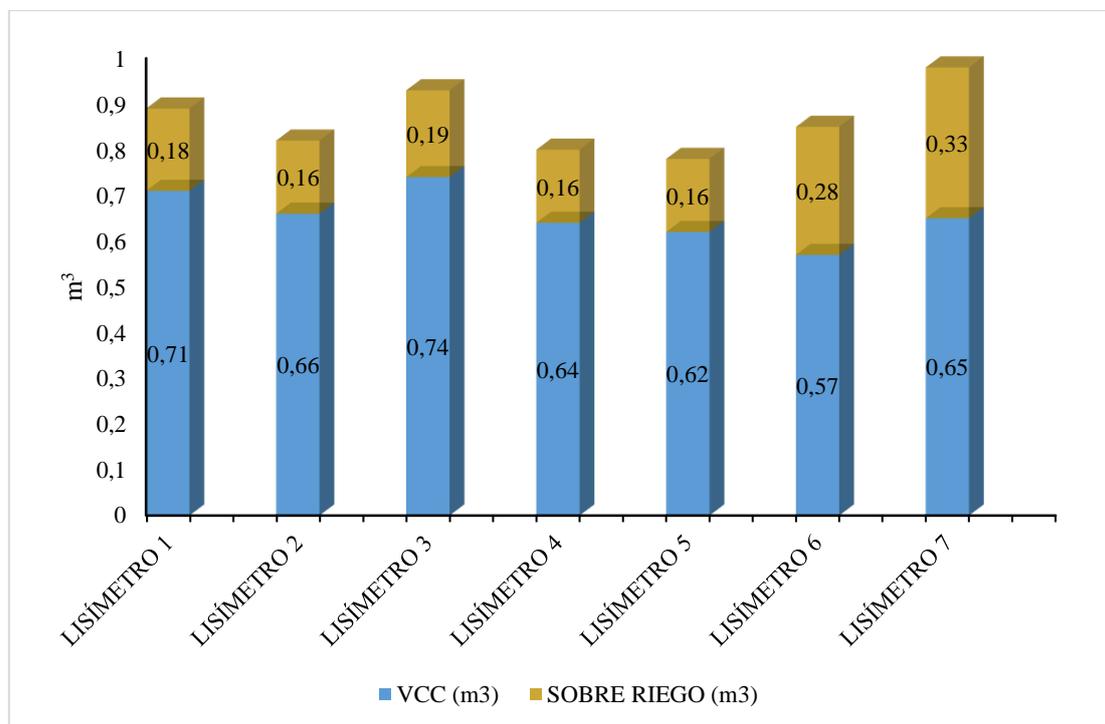


Figura 25. Volumen aplicado de riego y sobre riego en el bloque de siete lisímetros de drenaje
Fuente: (Salazar, F. 2019)

E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1. Análisis de conglomerados

Mediante el dendograma del análisis de conglomerados se pudo evidenciar que existe una relación entre el lisímetro 6 y el lisímetro 7 principalmente en las variables de dureza, infiltración básica y densidad aparente del suelo detalladas en la Tabla 18. Las variables mencionadas son las variables que pueden atribuirse a que el sobre riego en el lisímetro 6 y en el lisímetro 7 necesiten un sobre riego de un 25 % adicional de los demás.

Tabla 18. Variables de calibración para análisis estadístico

LISÍMETRO	*COMPACTACIÓN	*TASA DE INFILTRACIÓN	*DENSIDAD APARENTE	VCC
LISÍMETRO 1	4,92	8,67	1,48	0,71
LISÍMETRO 2	4,78	6,33	1,40	0,66
LISÍMETRO 3	5,12	6,67	1,50	0,74
LISÍMETRO 4	5,16	7,00	1,43	0,64
LISÍMETRO 5	5,17	8,67	1,38	0,62
LISÍMETRO 6	5,09	7,33	1,44	0,57
LISÍMETRO 7	5,23	7,33	1,42	0,65

VCC: Volumen de agua a capacidad de campo (m³)

* Datos promedio de las 3 capas

Fuente: (Salazar, F. 2019)

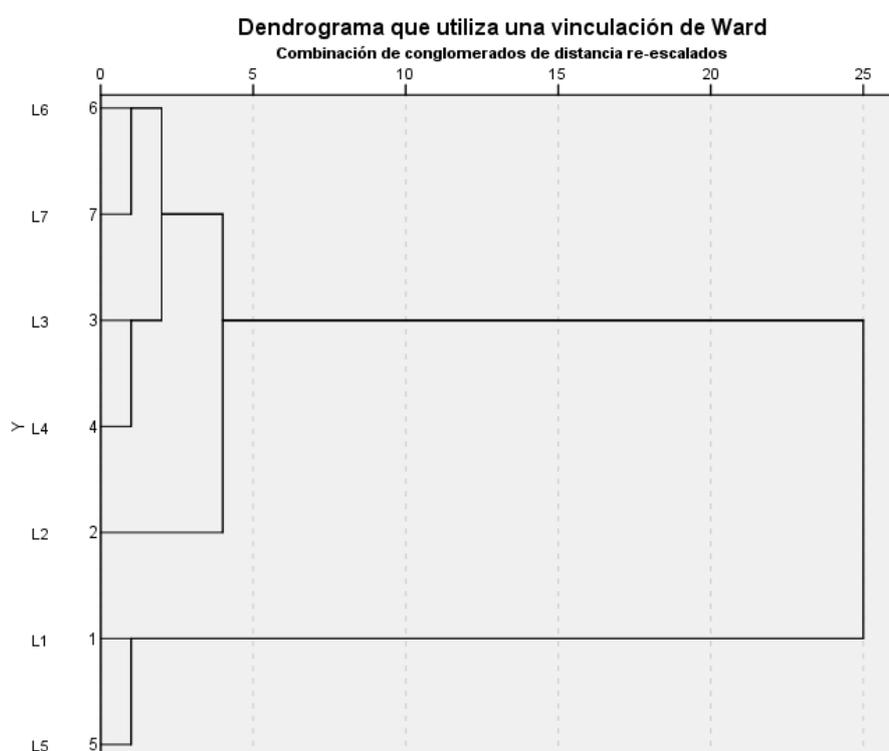


Figura 26. Dendrograma del análisis de conglomerados de la calibración del bloque de siete lisímetros de drenaje

Fuente: (Salazar, F. 2019)

2. Análisis por componentes principales

No se puede evidenciar cuáles son las variables que directamente influyen para determinar si el porcentaje de sobre riego es de 25%, 50%, 75%, etc, por lo que se recomienda que debe hacerse la calibración mediante la experimentación, en este caso no se puede concluir de forma adecuada mediante a estos análisis debido al número de variables y unidades a evaluar que se tiene. Al tener cada capa sus respectivas características dificulta el análisis, ya que se debe tomar un solo dato por variable, es decir el promedio de las tres capas, el cual no es un dato representativo por la variabilidad que puede existir, se logró hacer un acercamiento para identificar cuáles son las características que distingue a un lisímetro de otro para poder determinar una variable en la que se pueda agrupar los lisímetros con igual porcentaje de sobre riego.

En Figura 27 se evidencia la agrupación de las variables para caracterizar los lisímetros en el cual no se logra una diferenciación clara de cuales variables influyen en la calibración para que el lisímetro 6 y lisímetro 7 necesiten un 25 % de sobre riego adicional para su calibración.

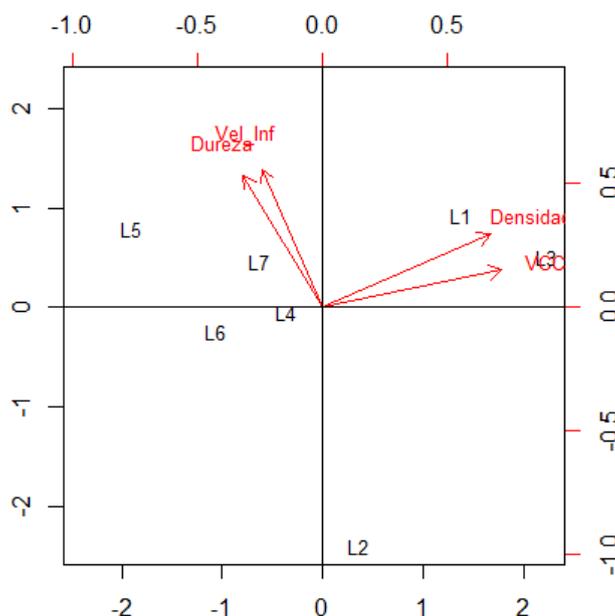


Figura 27. Análisis de componentes principales de variables para calibración del bloque de siete lisímetros de drenaje

Fuente: (Salazar, F. 2019)

VIII. CONCLUSIONES

- Se cuenta con el diseño de lisímetros de drenaje debidamente calibrados y funcionando los cuales se utiliza para ajustar el Kc de los cultivos.
- Las pruebas físicas del suelo se determinaron en compactación, densidad aparente, textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente teniendo como resultados promedios de compactación fueron para la capa 1 de suelo de 2.11 Kg/cm², para la capa 2 de suelo un valor de 5.18 Kg/cm² y para la capa 3 de suelo un valor de 7.91 Kg/cm². En la capa 1 la máxima densidad aparente fue de 1.49 g/cm³ para el lisímetro 3 y la menor densidad aparente en esta capa fue de 1.34 g/cm³ correspondiente al lisímetro 5, para la capa 2 la máxima densidad aparente la obtuvo el lisímetro 3 con un valor de 1.49 g/cm³ y el lisímetro 5 obtuvo la mínima densidad aparente con un valor de 1.38 g/cm³ y para la capa 3 el lisímetro 1 obtuvo la máxima densidad aparente con un valor de 1.53 g/cm³ y el lisímetro 5 obtuvo la mínima densidad aparente con un valor de 1.41 g/cm³. Todo el bloque de lisímetros presentó una textura Franco limosa a excepción de la capa 2 de los lisímetros 4, 5 y 6 y de la capa 1 del lisímetro 7 dando una textura Franco. Los valores promedios de capacidad de campo de todo el bloque de lisímetros es de 28.18 % y el valor promedio del bloque de punto de marchitez permanente es de 9.92 %.
- Todo el bloque de lisímetros se encuentra en el rango de contenido de materia orgánica de 0.9 % a 1.8 % obteniendo un máximo valor en la capa 1 de los lisímetros 4, 5 y 6 así mismo un mínimo valor en la capa 3 correspondiente todos los lisímetros del bloque.
- El valor del comportamiento hidráulico de la capa 1 lo obtuvo el lisímetro 5 con un valor de 18 mm/h y para las capas 2 y 3 fue de 8.3 mm/h en el lisímetro 1.
- Se cuenta con un protocolo de diseño, construcción, instalación y calibración de siete lisímetros de drenaje.

IX. RECOMENDACIONES

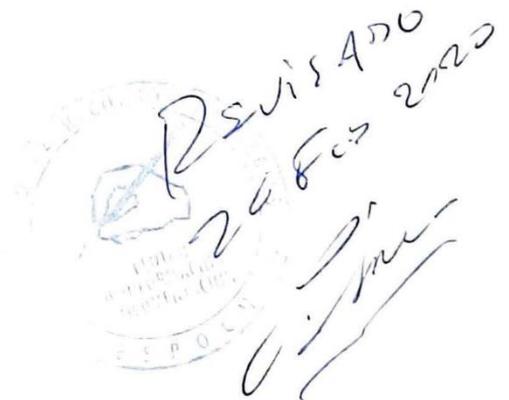
- Se recomienda obtener valores de pruebas químicas individuales por cada lisímetro.
- Se recomienda colocar malla plástica en la zona de drenaje para aumentar la durabilidad en el tiempo.
- Se recomienda realizar un lavado del material petro una vez colocado en cada lisímetro.
- Se recomienda realizar labores de mantenimiento a los lisímetros antes de cada campaña.

X. RESUMEN

La presente investigación propone: diseñar, instalar y calibrar un bloque de siete lisímetros de drenaje para ajuste del coeficiente de cultivo (K_c); se utilizó software autocad, hormigón de $f'c=210\text{Kg/cm}^2$ y se calibró mediante dotación de sobre riego porcentual a cada lisímetro dando como resultado un bloque de lisímetros de 8.11m por 7.07m, en la calibración se obtuvo un 25% de sobre riego para los lisímetros 1, 2, 3, 4 y 5 y de 50% para los lisímetros 6 y 7. Posteriormente determinaron pruebas físicas de tres capas de suelo de cada lisímetro mediante la caracterización de compactación, densidad aparente, textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente obteniendo una compactación promedio de la capa 1 de 2.11Kg/cm^2 , para la capa 2 de 5.18Kg/cm^2 y para la capa 3 de 7.91Kg/cm^2 ; para densidad aparente en la capa 1 el máximo valor fue de 1.49g/cm^3 en el lisímetro 3, para la capa 2 el máxima valor fue de 1.49g/cm^3 en el lisímetro 3 y para la capa 3 el máximo valor fue de 1.53g/cm^3 en el lisímetro 1; se obtuvo mayoritariamente una textura franco limoso; el valor promedio de capacidad de campo es de 28.18% y de punto de marchitez permanente es de 9.92%. Así también se determinaron pruebas químicas entre ellas materia orgánica obteniendo un rango de 0.9% a 1.8%. Posteriormente se determinó el comportamiento hidráulico del agua en las 3 capas de suelo mediante un infiltrómetro doble anillo obteniendo un máximo valor de 18mm/h en capa 1. Se concluye que el diseño del bloque de siete lisímetros de drenaje, su instalación y calibración se pudo realizar correctamente para determinar las necesidades hídricas de los cultivos.

Palabras clave: LISIMETRÍA - LISÍMETRO DE DRENAJE – REQUERIMIENTO HIDRICO.

Por: Francisco Salazar

REVISADO
26 Feb 2020


XI. SUMARY

The present investigation proposes to design, install, and calibrate a block of seven drainage lysimeters to adjust the crop coefficient (Kc). An Autocad software was used, concrete of $f'c = 210\text{Kg} / \text{cm}^2$ and it was calibrated by providing a percentage overflow to each lysimeter, resulting in a block of lysimeters of 8.11 m by 7.07m, in the calibration a 25% envelope was obtained irrigation for lysimeters 1, 2, 3, 4 and 5 and 50% for lysimeters 6 and 7. Subsequently, physical tests of three layers of the soil of each lysimeter were made by compacting characterization, bulk density, texture, field capacity, and permanent wilting point, obtaining an average compaction layer 1 of $2.11 \text{ Kg} / \text{cm}^2$, for layer 2 of $5.18\text{Kg} / \text{cm}^2$ and layer 3 of $7.91 \text{ Kg} / \text{cm}^2$. For apparent density in layer 1, the maximum value was $1.49\text{g} / \text{cm}^3$ in lysimeter 3, for layer 2 the maximum amount was $1.49\text{g} / \text{cm}^3$ in lysimeter 3 and for layer 3 the maximum value was $1.53\text{g} / \text{cm}^3$ in lysimeter 1. a silt loam texture was mostly obtained; The average cost of field capacity is 28.18%, and permanent wilting point is 9.92%. Thus also, chemical tests were determined among them organic matter obtaining a range of 0.9% to 1.8%. Subsequently, the hydraulic behavior of the water in the 3 layers of soil was determined to employ a double-ring infiltrometer obtaining a maximum value of $18\text{mm} / \text{h}$ in layer 1. It is concluded that the design of the seven drainage lysimeter block, its installation, and calibration could be performed correctly to determine the water needs of the crops.

Keywords: LYSIMETRY - DRAINAGE LYSIMETER - WATER REQUIREMENT.

By Francisco Salazar



XII. BIBLIOGRAFÍA

Carvajal, A. (2019). La compactación de los suelos agrícolas. Recuperado el 12/10/2019, de www.abcAgro.com. Chile

Acevedo Amaya, O. J. (2014). Identificación de las principales variables de los suelos asociadas a condiciones de humedad: Discriminación taxonómica de suelos hidromórficos. Perú.

Aguilera, C. M., & Martínez, R. (1996) Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera. Universidad Autónoma de Chapingo. México. p. 256

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Roma: FAO*. p. 298.

Alvarado Batres, C., & Barahona-Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 23-33.

Álvarez, C. R., Duggan, M. T., Chamorro, E. R., D'Ambrosio, D., & Taboada, M. A. (2009). Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ciencia del suelo*, 27(2).

Ambast, S. K., Keshari, A. K., & Gosain, A. K. (2002). Satellite remote sensing to support management of irrigation systems: concepts and approaches. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, 51(1), 25-39.

Arroyo, A. (2007). El agua en la atmósfera. Ciencia. México.

Atencio-Pulgar, J., García, B., & González-Pedraza, A. F. (2014). Comparación de métodos analíticos para determinar materia orgánica en suelos cultivados con cacao, pasto y palma aceitera en el Sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Producción Agropecuaria*, 4(1), 53-58.

Barrios, I. (2018). La Edafología: origen, desarrollo y conceptos. *Vasconia*, (5).

Botta, G. F., Jorajuria, D., Balbuena, R., & Rosatto, H. (2004). Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max L.*) yields. *Soil and Tillage Research*, 78(1), 53-58.

- Bustamante, M. M. (2016). *Efecto de mejoradores físico y químico de la compactación en suelos bananeros bajo sistema de riegos presurizados*. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Universidad Técnica de Machala. Machala
- Calvache, M. (2010). Física de suelos y su relación con los problemas ambientales. In *XIV Congreso Ecuatoriano de la Ciencias del Suelo*. Quito, Ecuador.
- Calvache, M. (2013). *Riego andino tecnificado*. Quito, Ecuador.: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Castellanos, D. (2017). Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas. *INTAGRI S.C.* Recuperado el 10 de Abril de 2019, de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>
- Catalan, G. (2016). El pH del suelo en la agricultura. *Agropal*. Recuperado el 14 de 04 de 2019, de <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>
- Chávez, S., & Mesías, D. (2018). *Evaluación de tres métodos para determinar el requerimiento hídrico, del cultivo de maíz (Zea mays. L.) var INIAP 102, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación. (2006). Módulo 3: Manejo de la fertilidad del suelo. Desarrollando habilidades de los productores de la Sierra para articularse con los mercados. Lima: Programa PYMAGROS.
- D., Noni, G., Trujillo, G., & Viennot, M. (1992). La cangahua en el Ecuador: caracterización morfo-edafológica y comportamiento frente a la erosión= The cangahua in Ecuador: morpho-edaphologic characterization and susceptibility to erosion. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. *Terra*, 10(spécial), 332-346.
- Da Silva, A. P., Kay, B. D., & Perfect, E. (1994). Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(6), 1775-1781.
- Denoia, J., Sosa, O., Zerpa, G., & Martín, B. (2011). Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Pastos*, 30(1), 129-141.
- Ekanayake, I. (1994). CIP Research 30, studying drought stress and irrigation requirements of potatoes. Lima.

Enciso, J., Porter, D., & Peries, X. (2007). Irrigation Monitoring with Soil Water Sensors (Spanish). *Texas FARMER Collection*. Texas, Estados Unidos.

Food and Agriculture Organization. (2008). El cambio climático y la producción de alimentos. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0112s/i0112S03.pdf>.

Food and Agriculture Organization. (2008a). El mundo de la papa. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de <http://www.potato2008.org>

Fernández, L., Rojas, N., Roldán, T., Ramirez, M., Zegarra, H., Uribe, R., Reyes, R., Flores, D., Arce, J. (2006). Análisis físicos y químicos en suelo. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Nacional de Ecología. México D.F., pp. 18 – 88.

Figuroa , M., Tiberio, O., Camacaro , F., Romero, M., & Sansonety, V. (2012). *El Suelo*. Recuperado el 20 de Julio de 2019, de <http://elsuelo-m-o-f-m-s.blogspot.com/2012/06/horizontes-del-suelo.html>

Fuente, A. (2006). Programación de riego con tensiómetros. Recuperado el 22 de Mayo de 2019, de <http://www.tensiometrosuelo/agua.html>. Culiacan México. p. 22–28.

Gabriels, D., & Lobo, D. (2011). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, 14(1), 37-48.

Garcia, M. (2017). Lisímetros. In *Agencia Catalana del Agua. Barcelona, España*. p. 4.

Génova, A. L. J., Andreau, A. R., Etcheverry, A. M., Ordinario, J. D. T. P., Etchevers, A. P., Chale, A. W., & Ramos, A. F. (2017) Unidad N 2 Hidrología aplicada al estudio y manejo de cuencas y de sistemas de riego y drenaje: Aplicación de metodologías para la medición y estimación del escurrimiento y la infiltración. Argentina.

González, G., Chávez, E., González, J. L., Dzul, A., Sánchez, I., & Potisek, M. C. (2012). Comparación de métodos para determinar la evapotranspiración y oportunidad de riego en nogal. México.

Hernández, J. (2015). Agua en el suelo. UNER, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Argentina.

- Huiza, W., & Quispe, J. C. (2017). Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo de los tipos de pastizal del Centro de Investigación de Camélidos sudamericanos-Lachocc. Perú.
- Hurtado, L. 2002. Fundamentos del riego: documento electrónico. Recuperado el 28 de Junio de 2019, de http://agricola-unl.com/pdf/Fundamentos_Riego.pdf.
- Ibañez A, S., Moreno, H., & Gisbert, J. M. (2010). Características del infiltrómetro de doble anillo. España.
- Ibañez, J. (2006). La Compactación del suelo: Exploración del suelo por las raíces II. Madrid.
- Lamelas, C., Roque, R., Ferrer, M., & Soltura, K. (2015). La adecuada selección de las técnicas de riego. Una contribución al manejo sostenible de tierras. Cuba.
- León Ruíz, J. E. (2016). Modelación matemática para estimar los requerimientos hídricos del cultivo de papa (*Solanum spp.*) en Riobamba-Ecuador. (Tesis de posgrado. Doctoris Philosophie en Recursos Hídricos). Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Lopez, J. (1970). Lisímetros. Mérida: CIDIAT - Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Colombia.
- Machaca Cari, L. (2011). Determinación de las necesidades de agua del cultivo haba baby mediante lisímetros de drenaje en la irrigación Majes–Arequipa. Perú.
- Morgan, J. (2017). Importancia de pH para los cultivos. *Mexico InfoAgro*. Recuperado el 14 de 04 de 2019, de <http://mexico.infoagro.com/importancia-del-ph-para-los-cultivos/>
- Murillo, P., & Fabricio, R. (2018). Riego parcial por goteo a niveles de humedad del suelo, en la papa (*Solanum spp.*) variedad Victoria, Riobamba, Ecuador. (Tesis de posgrado. Maestro Magister Scientiae en Recursos Hídricos). Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Olmedo, G., & Vallone, R. (2011). Diseño y construcción de un lisímetro de pesada para la medición de evapotranspiración real en vid en Mendoza, Argentina. In *Simposio Argentino de Viticultura y Enología. 1. SAVE 2011. 2011 11 09-11, 9-11 noviembre 2011. Mendoza. AR.*
- Olmo Prieto, M. (2015). Efecto del biocarbón sobre el crecimiento y producción de un cultivo de trigo en condiciones de campo. Argentina.

Orellana, T. (2010). Validación de los métodos de laboratorio para la determinación de la capacidad de retención de agua en suelos. Cuenca, Ecuador.

Paguay Cuji, S. C. (2017). *Determinación de los requerimientos hídricos para el cultivo de la cebolla colorada (Allium cepa l.) Var. Burguesa en base al contenido de agua en el suelo, en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo* (Tesis de grado. Ingeniero Agrónomo). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador

Pizarro, R., Flores, J. P., Sangüesa, C., Martínez, E., & León, L. (2008). Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el seco costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 29(2), 136-145.

Quiroga, A. R., Galantini, J., & Studdert, G. (2017). La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo. Argentina.

Renare, M. . (2014). Manual de descripción, muestreo de suelos y análisis de laboratorio. Montevideo, Uruguay.

Rioja, A. (2002). Apuntes de fitotecnia general. *Ciudad Real*.

Rodríguez, R., Benito, A., & Portela, A. (2004). Meteorología y climatología. *Fundación española para la ciencia y la tecnología. Villena Artes Gráficas. España*. pp. 12-16.

Ruiz, J. L., Arquíñigo, N. M., & Alarcón, P. P. (2016). Determinación del coeficiente del cultivo y parámetros biométricos basados en imágenes captadas con drone, lisímetros de drenaje y métodos indirectos para el cultivo de papa solanum spp. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19(37).

Santa Laura Leyva, R., Baldoquín, A., & Reyes, M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 36-47.

Sensorvital. (2019). Pluviómetro de balancín. SensorVital. Recuperado el 20 de Julio de 2019, de <https://sensorvital.com/>

Silicani, M. R. (2015). *Diseño, construcción y operación de un lisímetro de bajo costo* (Tesis de posgrado. Doctoral dissertation). Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina

Soto, L. D. P. (2012). *Influencia de la maquinaria agrícola sobre la variabilidad espacial de la compactación del suelo. Aplicación de la metodología geoestadística-fractal* (Tesis de posgrado. Doctoris Philosophie). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Soil Survey Staff, United States Department of Agriculture. (1993). *Tiangulo textural de suelos*. Estados Unidos: USDA.

Soil Survey Staff, United States Department of Agriculture. (2006). *Claves para la Taxonomía de Suelos (Keys to Soil Taxonomy traducida en español)*. Washington, DC., United States of America.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (1998). *Soil Quality Indicators: pH. Soil Quality Information Sheet*. Estados Unidos.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Estados Unidos.

Vladilo, M. J. B. (2010). *Análisis comparativo de la evapotranspiración obtenida mediante distintas ecuaciones empíricas aplicadas a la zona agrícola de Chillán* (Tesis de posgrado. Doctoral dissertation). Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción, Chile.

Zotarelli, L., Dukes, Y., & Morgan, T. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. *The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS)*. pp. 2-5.

Zúñiga Espinoza, C. (2004). *Manejo de riego mediante un monitoreo hídrico en tiempo real determinado con la técnica Frequency Domain Reflectometry*. Chile.

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Datos compactación.

HOJA DE REGISTRO - Compactación

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 13 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH

LISÍMETRO	PUNTOS	PROFUNDIDAD			
		CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4
Lisímetro 1	Promedio	1.70	5.38	7.63	8.40
Lisímetro 2	Promedio	1.68	4.53	8.13	8.38
Lisímetro 3	Promedio	2.48	5.05	7.83	8.63
Lisímetro 4	Promedio	2.40	5.25	7.84	8.35
Lisímetro 5	Promedio	2.23	5.38	7.90	8.38
Lisímetro 6	Promedio	2.10	5.38	7.78	8.15
Lisímetro 7	Promedio	2.18	5.28	8.23	8.75
	\bar{x} Kgf	2.11	5.18	7.91	8.43

Anexo 2. Datos velocidad de infiltración lisímetro 1 capa 1.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 1
Capa 0 - 20 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LÁMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO (min)	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperación del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LÁMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		15,80		0,00	0,00		
2,00	2	11,50		43,00	43,00	21,500	1290,0
5,00	3	11,10		4,00	47,00	1,333	80,0
10,00	5	10,50		6,00	53,00	1,200	72,0
15,00	5	10,10		4,00	57,00	0,800	48,0
20,00	5	9,50		6,00	63,00	1,200	72,0
30,00	10	8,50		10,00	73,00	1,000	60,0
40,00	10	7,70		8,00	81,00	0,800	48,0
50,00	10	7,10		6,00	87,00	0,600	36,0
60,00	10	6,70		4,00	91,00	0,400	24,0
80,00	20	6,30		4,00	95,00	0,200	12,0
100,00	20	5,80		5,00	100,00	0,250	15,0
120,00	20	5,00		8,00	108,00	0,400	24,0
140,00	20	4,20		8,00	116,00	0,400	24,0
160,00	20	3,60		6,00	122,00	0,300	18,0
190,00	30	3,10		5,00	127,00	0,167	10,0
220,00	30	2,40		7,00	134,00	0,233	14,0
250,00	30	1,50		9,00	143,00	0,300	18,0
280,00	30	1,00		5,00	148,00	0,167	10,0

Anexo 3. Datos velocidad de infiltración lisímetro 1 capa 2.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 1
Capa 20 - 40 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LÁMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO (min)	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LÁMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		23,00		0,00	0,00		
2,00	2	22,40		6,00	6,00	3,000	180,0
5,00	3	21,70		7,00	13,00	2,333	140,0
10,00	5	20,70		10,00	23,00	2,000	120,0
15,00	5	20,11		5,90	28,90	1,180	70,8
20,00	5	19,60		5,10	34,00	1,020	61,2
30,00	10	19,00		6,00	40,00	0,600	36,0
40,00	10	18,60		4,00	44,00	0,400	24,0
50,00	10	18,10		5,00	49,00	0,500	30,0
60,00	10	17,70		4,00	53,00	0,400	24,0
80,00	20	17,30		4,00	57,00	0,200	12,0
100,00	20	16,80		5,00	62,00	0,250	15,0
120,00	20	16,20		6,00	68,00	0,300	18,0
140,00	20	15,70		5,00	73,00	0,250	15,0
160,00	20	15,30		4,00	77,00	0,200	12,0
190,00	30	14,90		4,00	81,00	0,133	8,0
220,00	30	14,30		6,00	87,00	0,200	12,0
250,00	30	13,70		6,00	93,00	0,200	12,0
280,00	30	13,20		5,00	98,00	0,167	10,0
310,00	30	12,70		5,00	103,00	0,167	10,0

Anexo 4. Datos velocidad de infiltración lisímetro 2 capa 1.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 2
Capa 0 - 20 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LÁMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO (min)	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LÁMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		26,0		0,00	0,00		
2,00	2	22,6		34,00	34,00	17,000	1020,0
5,00	3	20,3		23,00	57,00	7,667	460,0
10,00	5	20,1		2,00	59,00	0,400	24,0
15,00	5	19,7		4,00	63,00	0,800	48,0
20,00	5	19,5		2,00	65,00	0,400	24,0
30,00	10	18,4		11,00	76,00	1,100	66,0
40,00	10	17,6		8,00	84,00	0,800	48,0
50,00	10	16,8		8,00	92,00	0,800	48,0
60,00	10	16,0		8,00	100,00	0,800	48,0
80,00	20	14,9		11,00	111,00	0,550	33,0
100,00	20	14,1		8,00	119,00	0,400	24,0
120,00	20	13,4		7,00	126,00	0,350	21,0
140,00	20	12,8		6,00	132,00	0,300	18,0
160,00	20	12,0		8,00	140,00	0,400	24,0
190,00	30	11,2		8,00	148,00	0,267	16,0
220,00	30	10,3		9,00	157,00	0,300	18,0
250,00	30	10,1		2,00	159,00	0,067	4,0
280,00	30	9,8		3,00	162,00	0,100	6,0
310,00	30	9,6		2,00	164,00	0,067	4,0

Anexo 5. Datos velocidad de infiltración lisímetro 2 capa 2.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 2
Capa 20 - 40 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LAMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO minutos	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua. (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LAMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACION INSTANTANEA	
A	$B = (A_{i+1} - A_i)$	C	D	$E = (C_{i+1} - C_i)$ ó $(C_{i+1} - D_i)$	$F = F_{i-1} + E_i$	G = E_i/B_i	H = $G * 60$
0		5,00		0,00	0,00		
2,00	2	4,10		9,00	9,00	4,500	270,0
5,00	3	3,90		2,00	11,00	0,667	40,0
10,00	5	3,65		2,50	13,50	0,500	30,0
15,00	5	3,30		3,50	17,00	0,700	42,0
20,00	5	3,00		3,00	20,00	0,600	36,0
30,00	10	2,60		4,00	24,00	0,400	24,0
40,00	10	2,20		4,00	28,00	0,400	24,0
50,00	10	1,90		3,00	31,00	0,300	18,0
60,00	10	1,65		2,50	33,50	0,250	15,0
80,00	20	1,40		2,50	36,00	0,125	7,5
100,00	20	1,22		1,80	37,80	0,090	5,4
120,00	20	1,04		1,80	39,60	0,090	5,4

Anexo 6. Datos velocidad de infiltración lisímetro 3 capa 1.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 3
Capa 0 - 20 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LÁMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO (min)	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LÁMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		25,3		0,00	0,00		
2,00	2	20,9		44,00	44,00	22,000	1320,0
5,00	3	20,6		3,00	47,00	1,000	60,0
10,00	5	19,7		9,00	56,00	1,800	108,0
15,00	5	19,3		4,00	60,00	0,800	48,0
20,00	5	19,1		2,00	62,00	0,400	24,0
30,00	10	18,3		8,00	70,00	0,800	48,0
40,00	10	17,9		4,00	74,00	0,400	24,0
50,00	10	17,2		7,00	81,00	0,700	42,0
60,00	10	16,9		3,00	84,00	0,300	18,0
80,00	20	16,4		5,00	89,00	0,250	15,0
100,00	20	15,9		5,50	94,50	0,275	16,5
120,00	20	15,3		5,50	100,00	0,275	16,5
140,00	20	14,6		7,00	107,00	0,350	21,0
160,00	20	13,9		7,00	114,00	0,350	21,0
190,00	30	13,3		6,00	120,00	0,200	12,0
220,00	30	12,2		11,00	131,00	0,367	22,0
250,00	30	11,5		7,00	138,00	0,233	14,0
280,00	30	11,1		4,00	142,00	0,133	8,0
310,00	30	10,6		5,00	147,00	0,167	10,0

Anexo 7. Datos velocidad de infiltración lisímetro 3 capa 2.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 3
Capa 20 - 40 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LAMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO minutos	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua. (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LAMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACION INSTANTANEA	
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		28,00		0,00	0,00		
2,00	2	26,90		11,00	11,00	5,500	330,0
5,00	3	26,00		9,00	20,00	3,000	180,0
10,00	5	25,20		8,00	28,00	1,600	96,0
15,00	5	24,70		5,00	33,00	1,000	60,0
20,00	5	24,20		5,00	38,00	1,000	60,0
30,00	10	23,80		4,00	42,00	0,400	24,0
40,00	10	23,40		4,00	46,00	0,400	24,0
50,00	10	23,10		3,00	49,00	0,300	18,0
60,00	10	22,80		3,00	52,00	0,300	18,0
80,00	20	22,40		4,00	56,00	0,200	12,0
100,00	20	22,00		4,00	60,00	0,200	12,0
120,00	20	21,50		5,00	65,00	0,250	15,0
140,00	20	20,90		6,00	71,00	0,300	18,0
160,00	20	20,40		5,00	76,00	0,250	15,0
190,00	30	19,90		5,00	81,00	0,167	10,0
220,00	30	19,60		3,00	84,00	0,100	6,0
250,00	30	19,20		4,00	88,00	0,133	8,0
280,00	30	18,80		4,00	92,00	0,133	8,0
310,00	30	18,50		3,00	95,00	0,100	6,0

Anexo 8. Datos velocidad de infiltración lisímetro 4 capa 1.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 4
Capa 0 - 20 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LÁMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO (min)	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LÁMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		26,0		0,00	0,00		
2,00	2	21,2		48,00	48,00	24,000	1440,0
5,00	3	20,6		6,00	54,00	2,000	120,0
10,00	5	20,1		5,00	59,00	1,000	60,0
15,00	5	19,4		7,00	66,00	1,400	84,0
20,00	5	18,9		5,00	71,00	1,000	60,0
30,00	10	17,8		11,00	82,00	1,100	66,0
40,00	10	16,9		9,00	91,00	0,900	54,0
50,00	10	16,1		8,00	99,00	0,800	48,0
60,00	10	15,9		2,00	101,00	0,200	12,0
80,00	20	15,6		3,00	104,00	0,150	9,0
100,00	20	15,2		4,00	108,00	0,200	12,0
120,00	20	14,1		11,00	119,00	0,550	33,0
140,00	20	13,3		8,00	127,00	0,400	24,0
160,00	20	12,4		9,00	136,00	0,450	27,0
190,00	30	11,9		5,00	141,00	0,167	10,0
220,00	30	11,3		6,00	147,00	0,200	12,0
250,00	30	10,9		4,00	151,00	0,133	8,0
280,00	30	10,8		1,00	152,00	0,033	2,0
310,00	30	10,7		1,00	153,00	0,033	2,0

Anexo 9. Datos velocidad de infiltración lisímetro 4 capa 2.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 4
Capa 20 - 40 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LAMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO minutos	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua. (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LAMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACION INSTANTANEA	
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		25,00		0,00	0,00		
2,00	2	23,80		12,00	12,00	6,000	360,0
5,00	3	23,10		7,00	19,00	2,333	140,0
10,00	5	22,40		7,00	26,00	1,400	84,0
15,00	5	21,80		6,00	32,00	1,200	72,0
20,00	5	21,20		6,00	38,00	1,200	72,0
30,00	10	20,60		6,00	44,00	0,600	36,0
40,00	10	20,00		6,00	50,00	0,600	36,0
50,00	10	19,20		8,00	58,00	0,800	48,0
60,00	10	18,50		7,00	65,00	0,700	42,0
80,00	20	18,10		4,00	69,00	0,200	12,0
100,00	20	17,70		4,00	73,00	0,200	12,0
120,00	20	17,10		6,00	79,00	0,300	18,0
140,00	20	16,60		5,00	84,00	0,250	15,0
160,00	20	16,20		4,00	88,00	0,200	12,0
190,00	30	15,80		4,00	92,00	0,133	8,0
220,00	30	15,30		5,00	97,00	0,167	10,0
250,00	30	14,90		4,00	101,00	0,133	8,0
280,00	30	14,50		4,00	105,00	0,133	8,0
310,00	30	14,10		4,00	109,00	0,133	8,0

Anexo 10. Datos velocidad de infiltración lisímetro 5 capa 1.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 5
Capa 0 - 20 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LÁMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO (min)	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LÁMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		23,00		0,00	0,00		
2,00	2	22,40		6,00	6,00	3,000	180,0
5,00	3	21,70		7,00	13,00	2,333	140,0
10,00	5	20,67		10,30	23,30	2,060	123,6
15,00	5	20,11		5,60	28,90	1,120	67,2
20,00	5	19,60		5,10	34,00	1,020	61,2
30,00	10	19,00		6,00	40,00	0,600	36,0
40,00	10	18,60		4,00	44,00	0,400	24,0
50,00	10	18,16		4,40	48,40	0,440	26,4
60,00	10	17,70		4,60	53,00	0,460	27,6
80,00	20	17,30		4,00	57,00	0,200	12,0
100,00	20	16,80		5,00	62,00	0,250	15,0
120,00	20	16,20		6,00	68,00	0,300	18,0
140,00	20	15,70		5,00	73,00	0,250	15,0
160,00	20	15,30		4,00	77,00	0,200	12,0
190,00	30	14,90		4,00	81,00	0,133	8,0
220,00	30	14,30		6,00	87,00	0,200	12,0
250,00	30	13,70		6,00	93,00	0,200	12,0
280,00	30	13,20		5,00	98,00	0,167	10,0
310,00	30	12,70		5,00	103,00	0,167	10,0

Anexo 11. Datos velocidad de infiltración lisímetro 5 capa 2.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 5
Capa 20 - 40 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LAMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO minutos	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua. (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LAMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACION INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		22,00		0,00	0,00		
2,00	2	20,50		15,00	15,00	7,500	450,0
5,00	3	19,70		8,00	23,00	2,667	160,0
10,00	5	19,00		7,00	30,00	1,400	84,0
15,00	5	18,30		7,00	37,00	1,400	84,0
20,00	5	18,00		3,00	40,00	0,600	36,0
30,00	10	17,50		5,00	45,00	0,500	30,0
40,00	10	17,10		4,00	49,00	0,400	24,0
50,00	10	16,80		3,00	52,00	0,300	18,0
60,00	10	16,55		2,50	54,50	0,250	15,0
80,00	20	16,02		5,30	59,80	0,265	15,9
100,00	20	15,50		5,20	65,00	0,260	15,6

Anexo 12. Datos velocidad de infiltración lisímetro 6 capa 1.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 6
Capa 0 - 20 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LÁMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO (min)	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LÁMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		24,50		0,00	0,00		
2,00	2	21,80		27,00	27,00	13,500	810,0
5,00	3	21,15		6,50	33,50	2,167	130,0
10,00	5	20,39		7,60	41,10	1,520	91,2
15,00	5	19,76		6,30	47,40	1,260	75,6
20,00	5	19,25		5,10	52,50	1,020	61,2
30,00	10	18,40		8,50	61,00	0,850	51,0
40,00	10	17,75		6,50	67,50	0,650	39,0
50,00	10	17,13		6,20	73,70	0,620	37,2
60,00	10	16,80		3,30	77,00	0,330	19,8
80,00	20	16,45		3,50	80,50	0,175	10,5
100,00	20	16,00		4,50	85,00	0,225	13,5
120,00	20	15,15		8,50	93,50	0,425	25,5
140,00	20	14,50		6,50	100,00	0,325	19,5
160,00	20	13,85		6,50	106,50	0,325	19,5
190,00	30	13,40		4,50	111,00	0,150	9,0
220,00	30	12,80		6,00	117,00	0,200	12,0
250,00	30	12,30		5,00	122,00	0,167	10,0
280,00	30	12,05		2,50	124,50	0,083	5,0
310,00	30	11,70		3,50	128,00	0,117	7,0

Anexo 13. Datos velocidad de infiltración lisímetro 6 capa 2.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 6
Capa 20 - 40 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LAMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO minutos	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua. (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LAMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACION INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		27,00		0,00	0,00		
2,00	2	26,10		9,00	9,00	4,500	270,0
5,00	3	25,10		10,00	19,00	3,333	200,0
10,00	5	24,30		8,00	27,00	1,600	96,0
15,00	5	23,60		7,00	34,00	1,400	84,0
20,00	5	22,90		7,00	41,00	1,400	84,0
30,00	10	22,10		8,00	49,00	0,800	48,0
40,00	10	21,40		7,00	56,00	0,700	42,0
50,00	10	20,80		6,00	62,00	0,600	36,0
60,00	10	20,20		6,00	68,00	0,600	36,0
80,00	20	19,50		7,00	75,00	0,350	21,0
100,00	20	18,90		6,00	81,00	0,300	18,0
120,00	20	18,40		5,00	86,00	0,250	15,0
140,00	20	17,80		6,00	92,00	0,300	18,0
160,00	20	17,30		5,00	97,00	0,250	15,0
190,00	30	16,80		5,00	102,00	0,167	10,0
220,00	30	16,40		4,00	106,00	0,133	8,0
250,00	30	15,90		5,00	111,00	0,167	10,0
280,00	30	15,50		4,00	115,00	0,133	8,0
310,00	30	15,10		4,00	119,00	0,133	8,0

Anexo 14. Datos velocidad de infiltración lisímetro 7 capa 1.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 7
Capa 0 - 20 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LÁMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO (min)	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LÁMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA	
						(mm/min)	(mm/hr)
A	B= (A _{i+1} - A _i)	C	D	E= (C _{i+1} - C _i) ó (C _{i+1} - D _i)	F=F _{i-1} + E _i	G = E _i /B _i	H = G*60
0		25,60		0,00	0,00		
2,00	2	21,70		39,00	39,00	19,500	1170,0
5,00	3	20,40		13,00	52,00	4,333	260,0
10,00	5	19,90		5,00	57,00	1,000	60,0
15,00	5	19,50		4,00	61,00	0,800	48,0
20,00	5	19,30		2,00	63,00	0,400	24,0
30,00	10	18,30		10,00	73,00	1,000	60,0
40,00	10	17,70		6,00	79,00	0,600	36,0
50,00	10	17,00		7,00	86,00	0,700	42,0
60,00	10	16,50		5,00	91,00	0,500	30,0
80,00	20	15,60		9,00	100,00	0,450	27,0
100,00	20	14,80		8,00	108,00	0,400	24,0
120,00	20	14,30		5,00	113,00	0,250	15,0
140,00	20	13,70		6,00	119,00	0,300	18,0
160,00	20	13,00		7,00	126,00	0,350	21,0
190,00	30	12,20		8,00	134,00	0,267	16,0
220,00	30	11,20		10,00	144,00	0,333	20,0
250,00	30	10,80		4,00	148,00	0,133	8,0
280,00	30	10,40		4,00	152,00	0,133	8,0
310,00	30	10,10		3,00	155,00	0,100	6,0

Anexo 15. Datos velocidad de infiltración lisímetro 7 capa 2.

HOJA DE REGISTRO - Velocidad de Infiltración

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo
Fecha: 15 de marzo del 2019
Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH
Lisímetro N° 7
Capa 20 - 40 cm

TIEMPO		LECTURA DE ESCALA		LAMINA		INFILTRACION	
TIEMPO ACUMULADO minutos	INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LECTURA (min)	Nivel del agua. (cm)	Nivel de recuperacion del agua (cm)	Lamina infiltrada intervalo de tiempo (mm)	LAMINA ACUMULADA (mm)	VELOCIDAD DE INFILTRACION INSTANTANEA	
A	$B = (A_{i+1} - A_i)$	C	D	$E = (C_{i+1} - C_i)$ ó $(C_{i+1} - D_i)$	$F = F_{i-1} + E_i$	G = E_i/B_i	H = $G * 60$
0		5,00		0,00	0,00		
2,00	2	4,10		9,00	9,00	4,500	270,0
5,00	3	3,90		2,00	11,00	0,667	40,0
10,00	5	3,65		2,50	13,50	0,500	30,0
15,00	5	3,30		3,50	17,00	0,700	42,0
20,00	5	3,00		3,00	20,00	0,600	36,0
30,00	10	2,60		4,00	24,00	0,400	24,0
40,00	10	2,30		3,00	27,00	0,300	18,0
50,00	10	2,10		2,00	29,00	0,200	12,0
60,00	10	1,90		2,00	31,00	0,200	12,0
80,00	20	1,70		2,00	33,00	0,100	6,0
100,00	20	1,50		2,00	35,00	0,100	6,0

Anexo 16. Datos densidad aparente.

HOJA DE REGISTRO – DENSIDAD APARENTE

Nombre del técnico: Francisco Salazar Badillo

Fecha: 17 de abril del 2019

Lugar experimental: Estación Experimental Tunshi - ESPOCH

LISÍMETRO	CAPA	Peso Seco (g)	Volumen (cm ³)	Densidad Aparente (g/cm ³)
LISÍMETRO 1	CAPA 1	12100	8450	1.43
	CAPA 2	12110	8230	1.47
	CAPA 3	12780	8340	1.53
LISÍMETRO 2	CAPA 1	12360	8890	1.39
	CAPA 2	12170	8650	1.41
	CAPA 3	12360	8770	1.41
LISÍMETRO 3	CAPA 1	12280	8230	1.49
	CAPA 2	12220	8260	1.48
	CAPA 3	12500	8250	1.52
LISÍMETRO 4	CAPA 1	11200	8110	1.38
	CAPA 2	12310	8780	1.40
	CAPA 3	12680	8450	1.50
LISÍMETRO 5	CAPA 1	12230	9110	1.34
	CAPA 2	11250	8150	1.38
	CAPA 3	12170	8630	1.41
LISÍMETRO 6	CAPA 1	11100	8210	1.35
	CAPA 2	12320	8360	1.47
	CAPA 3	12540	8290	1.51
LISÍMETRO 7	CAPA 1	11980	8430	1.42
	CAPA 2	11810	8640	1.37
	CAPA 3	12650	8560	1.48

Anexo 17. Reporte curva de retención de humedad.

 <p>INIAP INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</p>	<p>ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340 Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec Quito - Ecuador</p>	 <p>DEPARTAMENTO DEL ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS</p>
---	--	--

REPORTE CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO

<p>DATOS DEL PROPIETARIO Nombre: ESPOCH Dirección: Ciudad: Teléfono: E-mail:</p>	<p>DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre: Tunshi Provincia: Chimborazo Cantón: Riobamba Parroquia: Licto Ubicación: Granja Tunshi de la ESPOCH</p>	<p>PARA USO DEL LABORATORIO No. Muestra Lab: 4989-4997 Fecha de Muestreo: 21/03/2019 Fecha de Ingreso: 27/03/2019 Fecha de Salida: 30/04/2019</p>
---	--	--

Laboratorio	No.	Identificación de la muestra	Unidades					
			0.33 bar (CC)	0.5 bar	1.0 bar	Humedad gravimétrica (% Hg)		
4989		L 1-2-3 0-20 cm	26.80	19.39	17.96	11.77	10.77	10.19
4990		L 1-2-3 20-40 cm	28.67	21.50	20.30	12.17	11.25	10.34
4991		L 1-2-3 40-60 cm	29.54	22.28	21.04	11.87	10.66	9.80
4992		L 4-5-6 0-20 cm	29.72	22.56	21.01	11.69	10.38	9.72
4993		L 4-5-6 20-40 cm	26.85	23.82	17.64	11.33	10.15	9.66
4994		L 4-5-6 40-60 cm	25.77	20.20	15.75	11.45	10.58	9.65
4995		L 7 0-20 cm	25.90	21.12	17.16	11.05	10.29	9.75
4996		L 7 20-40 cm	28.44	23.65	17.43	12.01	10.11	9.62
4997		L 7 40-60 cm	31.97	27.94	21.26	14.45	11.04	10.63

<p>%Hg= Porcentaje de humedad gravimétrica SS= Suelo Saturado CC= Capacidad de Campo PMP= Punto de Marchitez Permanente</p>	<p>Método SS: Pasta de saturación CC y PMP: Ollas de presión de Richards</p>
--	---

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

[Signature]

[Signature]
LABORATORISTA

Anexo 18. Reporte análisis de suelo 1.



ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
 Quito- Ecuador Telf: 690-691/92/93 Fax: 690-693



REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre :	Dr. Juan Leon	Nombre :	Tunshi	Cultivo Actual :	
Dirección :	Chimborazo	Provincia :	Pichincha	Fecha de Muestreo :	21/03/2019
Ciudad :		Cantón :	Riobamba	Fecha de Ingreso :	27/03/2019
Teléfono :		Parroquia :	Licto	Fecha de Salida :	26/04/2019
Fax :		Ubicación :	Tunshi		

Nº Muestr Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm				mcg/100ml				ppm			
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
004989	L.1-2-3 0-20 cm	7,33 PN	48,00 M	10,00 M	3,90 B	0,24 M	9,80 A	4,60 A	0,4 B	13,3 A	43,0 A	2,1 B	0,60 B	
004990	L.1-2-3 20-40 cm	7,59 LAI	41,00 M	7,20 B	2,50 B	0,11 B	9,40 A	4,20 A	0,3 B	13,3 A	35,0 M	1,5 B	0,50 B	
004991	L.1-2-3 40-60 cm	7,81 LAI	34,00 M	10,00 M	1,80 B	0,07 B	9,70 A	4,10 A	0,4 B	12,5 A	31,0 M	0,8 B	0,30 B	
004992	L.4-5-6 0-20 cm	7,45 PN	40,00 M	14,00 M	10,00 M	0,33 M	9,50 A	4,30 A	0,3 B	11,3 A	51,0 A	2,9 B	0,50 B	
004993	L.4-5-6 20-40 cm	7,48 PN	39,00 M	8,00 B	6,60 B	0,16 B	8,90 A	4,30 A	0,3 B	12,1 A	36,0 M	1,4 B	0,30 B	
004994	L.4-5-6 40-60 cm	7,78 LAI	43,00 M	7,20 B	4,10 B	0,06 B	9,00 A	4,10 A	0,4 B	12,0 A	33,0 M	0,7 B	0,40 B	
004995	L.7 0-20 cm	7,39 PN	57,00 M	11,00 M	2,10 B	0,26 M	9,80 A	4,50 A	0,4 B	12,2 A	48,0 A	2,9 B	0,50 B	
004996	L.7 20-40 cm	7,31 PN	41,00 M	10,00 M	1,90 B	0,22 M	9,90 A	4,40 A	0,4 B	12,7 A	43,0 A	1,8 B	0,50 B	
004997	L.7 40-60 cm	7,69 LAI	32,00 M	15,00 M	1,70 B	0,07 B	9,80 A	4,00 A	0,3 B	11,4 A	33,0 M	1,2 B	0,60 B	

INTERPRETACION			
pH		Elementos	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo	
LAc = Ligero Acido	LAI = Ligero Alcalino	M = Medio	
PN = Prec. Neutro	AI = Alcalino	A = Alto	
	RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Bono)	

METODOLOGIA USADA			
pH = Suelo agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olsen Modificado		
S, B = Forfajo de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Curcuminna		


RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Anexo 19. Reporte análisis de suelo 2.

 INMAP INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS		ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito-Ecuador Tel: 690-691/92/93 Fax: 690-693		 REPUBLICA DEL ECUADOR INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS																
REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS																				
DATOS DEL PROPIETARIO			DATOS DE LA PROPIEDAD																	
Nombre : Dr. Juan Leon Dirección : Chimborazo Ciudad : Teléfono : Fax :			Nombre : Tunshi Provincia : Pichincha Cantón : Riobamba Parroquia : Licto Ubicación : Tunshi																	
PARA USO DEL LABORATORIO			Cultivo Actual : Fecha de Muestreo : 21/03/2019 Fecha de Ingreso : 27/03/2019 Fecha de Salida : 26/04/2019																	
N° Muestr.	Laborat.	Al+H	Al	Na	dS/m	C.E.	M.O.	Ca	Mg	K	Ca+Mg	Σ Bases	NTot	%	ppm	CI	Arenal	Limo	Arcilla	Clase Textural
		meq/100ml															Textura (%)			
004989					0,26	NS	1,40	2,13	19,17	60,00	14,64	13,71				37	50	13	Franco-Limoso	
004990					0,14	NS	1,00	2,24	38,18	123,64	13,87	13,87				33	54	13	Franco-Limoso	
004991					0,11	NS	0,90	2,37	58,57	197,14	14,13	14,13				33	56	11	Franco-Limoso	
004992					0,57	NS	1,80	2,21	13,03	41,82	13,36	13,36				35	52	13	Franco-Limoso	
004993					0,28	NS	1,20	2,07	26,88	82,50	13,16	13,16				39	48	13	Franco	
004994					0,17	NS	0,90	2,20	68,33	218,33	14,56	14,56				35	54	11	Franco-Limoso	
004995					0,33	NS	1,50	2,18	17,31	55,00	14,52	14,52				39	48	13	Franco	
004996					0,32	NS	1,30	2,25	20,00	65,00	13,87	13,87				37	50	13	Franco-Limoso	
004997					0,14	NS	0,90	2,45	57,14	197,14	13,87	13,87				39	50	11	Franco-Limoso	

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

ABREVIATURAS	
C.E.	= Conductividad Eléctrica
M.O.	= Materia Orgánica
RAS	= Retención de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA	
C.E.	= Pasta Saturada
M.O.	= Dicitronato de Potasio
Al+H	= Titulación NaOH


RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

Anexo 20. Reporte análisis de suelo 1.

PROTOCOLO DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE BLOQUE DE SIETE LISÍMETROS DE DRENAJE Y RHIZOTRONES DE HORMIGÓN

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el aumento de la producción alimenticia se le atribuye principalmente al incremento de las zonas bajo riego. En el manejo de los cultivos agrícolas, la evapotranspiración es un dato muy relevante. Aguilera y Martínez (1996) citado por (Villaman Peña, et al., 2001) mencionan que existen métodos directos e indirectos para estimar la evapotranspiración, los directos dotan de información directa de un total de agua requerida en los cultivos utilizando instrumentos de determinación, y proporcionan valores muy cercanos a la realidad siendo estos el método gravimétrico, lisimétrico y el evapotranspirómetro de Thorthwaite. En los últimos años la accesibilidad a los recursos hídricos ha decrecido, provocando graves problemas para la satisfacción de varias demandas que cada día son mayores, por lo que se ve necesario el desarrollo de mecanismos para el ahorro de agua de riego que se puedan adaptar a los diferentes efectos adversos del cambio climático (Peña, 2018). Por lo mencionado anteriormente el CER (Centro Experimental de Riego) de la Facultad de Recursos Naturales – ESPOCH se ha planteado la investigación de determinar los requerimientos hídricos de los cultivos mediante la utilización de lisímetros de drenaje, cuyo objetivo principal es diseñar, construir y calibrar el bloque de siete lisímetros de drenaje con rhizotrones, y como objetivos específicos construir 6 lisímetros para definir la evapotranspiración de cultivo (Etc) y 1 lisímetro para definir la evapotraspiración de referencia (Eto).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en los predios de la Estación Experimental Tunshi en el Centro Experimental del Riego (CER) de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, Ecuador, ubicada a una altitud de 2 727 m.s.n.m. Latitud: 1°45'1.52"S Longitud: 78°37'36.25"W, coordenadas: UTM 17S Datum WGS84, X: 764032.8 Y: 9806358. La temperatura media es de 13.57°C (de febrero a agosto 2019), una precipitación media anual de 618.36 mm/año (de agosto 2018 a agosto 2019) y la humedad relativa de 75.31 % (de febrero a agosto 2019). Además según Holdrige (1982), la localidad se encuentra en el rango de bosque seco Montano Bajo (bcMB).

2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BLOQUE DE SIETE LISÍMETROS DE DRENAJE Y RHIZOTRON DE HORMIGÓN

- **Materiales de lisímetro:**

Software – AutoCad, retroexcavadora, malla electrosoldada (dimensiones 10x10 cm, \varnothing 5 mm), Hormigón simple ($f'c=210$ kg/cm²), malla armada (dimensiones 20x20 cm, \varnothing 10 mm), acero de refuerzo ($f_y=42.00$ kg/cm²), manguera negra (\varnothing 1/2") y cajetines plásticos, impermeabilizante líquido.

- **Materiales de rhizotrones:**

Estructura metálica (dimensiones de 1.10 m x 0.55 m), vidrio templado con dimensiones de 1.10 m x 0.55 m, espesor 10 mm, geomembrana (1000 micras).

- **Metodología:**

El bloque de lisímetros fue diseñado con el software Autocad, la base del lisímetro está construida de una forma cónica iniciando con una profundidad de 0.6 m y finalizando a una profundidad de 1.1 para obtener un desnivel y lograr el drenaje (Fig 1). A la profundidad de 1.10 m se coloca tubería de 50 mm con una válvula de esfera en su exterior que servirá para la

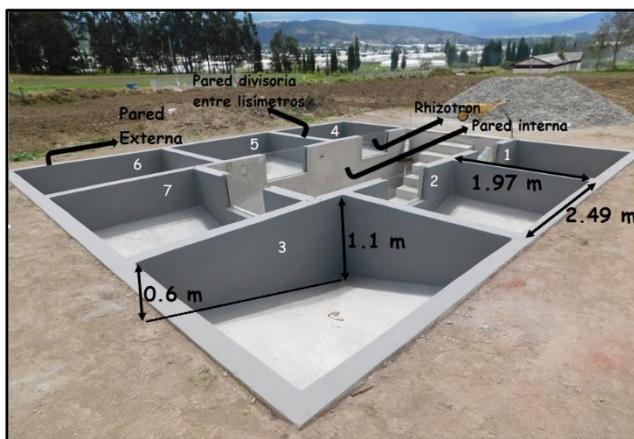


Fig 1. Bloque de lisímetros y rhizotrones

recolección del agua drenada. Cada lisímetro tiene un ancho de 1.97 m por 2.49 m, las paredes externas e internas del bloque de lisímetros tienen un espesor de 0.17 m.

En los lisímetros se instalaron rhizotrones que está ubicado en la pared interna, el vidrio insertado en la pared es templado de 10mm de dimensiones de 1.1 m y 0.5 m con cuadrículas a 0.05m que sirven como medios de observación del crecimiento radicular, los rhizotrones están apoyados en una estructura metálica, en la parte exterior del rhizotron se coloca una geomebrana de 1000 micras de espesor para impedir el paso

de la luz solar a las raíces.

Con retroexcavadora se extrajo 4 capas consecutivas de suelo de 0.20m de profundidad cada capa llegando hasta los 0.80m (Fig 2). La base de los lisímetros se construyó con malla electrosoldada y hormigón simple, la construcción de las paredes externas e internas de los lisímetros se utilizó malla armada, acero de refuerzo, y hormigón simple. En toda la pared interna de los lisímetros se instalaron guías de electricidad para puntos eléctricos distribuidos equitativamente usando manguera negra, cajetines (Fig 3) y posteriormente toda la estructura interna del bloque de lisímetros se impermeabilizó (Fig 4).



Fig 2. Extracción de capas de suelo



Fig 3. Instalación de Rhizotron y guías

2.2 INSTALACIÓN DEL BLOQUE DE LISÍMETROS

- **Materiales:**

Penetrómetro manual, infiltrómetro de doble anillo, pala de desfonde, simulador de lluvia, balanza digital, canto rodado, compactador manual de suelo y barreno.

- **Metodología:**

En la parte exterior al bloque de lisímetros a una distancia de 2 metros se determinó la velocidad de infiltración, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua útil, densidad aparente. Se determinó parámetros físicos y químicos, textura, dureza, pH, macro, micro elementos, materia orgánica y conductividad eléctrica.



Fig 4. Malla metálica



Fig 5. Lisímetro culminado

En la base interna de cada lisímetro para evitar el paso de partículas gruesas y evitar el taponamiento de la tubería y válvula se coloca una malla metálica, el suelo del lisímetro entre 0.6 m y 0.8 m se reemplazó por material petro, encima de este se colocó malla plástica como material filtrante, el lisímetro se rellena con el suelo extraído en el mismo orden de salida tomando en consideración la dureza de compactación hasta llegar al nivel del suelo. En cada lisímetro se realizó 3 camellones o lomos a una distancia de 0.60 m y 0.3 m de surco (Fig 5). Para la aplicación del riego se instaló tubería PVC de 32 mm con 1 válvula de esfera de paso seguido por 1 caudalímetro, en cada lomo se instaló 1 línea de riego con cinta de goteo con goteros cada 0.30 m con un caudal de gotero de 1.6 l/h, se instaló 3 tensiómetros a 0.10m, 0.30m y 0.50m de profundidad (Fig 5).

2.3 CALIBRACIÓN DEL BLOQUE DE LISÍMETROS

- **Materiales:**

Tensiómetros (0.15, 0.30 y 0.45 m), bloques de yeso, barreno, capsulas metálicas, balanza de precisión, estufa, humidímetro, depósito de drenaje, probeta, sistema de riego a goteo (caudalímetro, tuberías, válvulas y accesorios de varios diámetros).

- **Metodología:**

Para determinar el contenido de humedad en el suelo se utilizó tensiómetros, bloques de yeso a profundidades de 0.15, 0.30 y 0.45 m, determinando también con el método gravimétrico utilizando la ecuación (1) propuesta por Ekanayake, (1994) citada por (León, et al., 2016)

$$CAS = \frac{PF-PS}{PS} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

CAS: Contenido de agua en el suelo (%)

PF: Peso fresco de la muestra (g)

PS: Peso seco de la muestra (g)

Para conocer el volumen de agua para llegar a capacidad de campo en el primer riego se utiliza la ecuación (2) propuesta por (CER, 2019).

$$VCC = \frac{CC-CAS}{100} * Z * \frac{Dap}{\rho w} * Al \quad (2)$$

Donde:

VCC: Volumen de agua a capacidad de campo (m³)

CC: Valor de capacidad de campo (%)

CAS: Contenido de agua en el suelo (%)

Z: Profundidad de la capa (m)

Dap: Densidad aparente de la capa de suelo (g/cm³)

ρw : Densidad del agua (g/cm³)

Al: Área de lisímetro (m²)

Para el primer riego en los lisímetros se dota de agua el volumen de agua hasta llegar a capacidad de campo, ecuación (2) y para la obtención de drenaje se debe aplicar un sobre riego

adicional, el mismo que se aplicará el 25 % del VCC, si no hay drenaje se aumenta el porcentaje de agua adicional hasta lograr drenaje.

Cuadro 1. Coeficiente de drenaje

VCC (l)	Sobre riego adicional para exigir drenaje	Coeficiente de drenaje (Cd)
Volumen de agua a capacidad de campo.	25 %	VCC + 0.25 del VCC
	50 %	VCC + 0.50 del VCC
	75 %	VCC + 0.75 del VCC
	100 %	VCC + 1.0 del VCC

Fuente: CER, 2019

Para determinar la cantidad de agua a regar en cada lisímetro a partir del segundo riego se utiliza la ecuación (3) mencionada en (León, et al., 2016) citada por (Peña, 2018).

$$Va = Etp \times ND \times Al \times Cd \quad (3)$$

Donde:

Va: Volumen aplicado (l)

Etp: Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm)

ND: Número de días que hay de a riego a otro, en el momento que deja de drenar el lisímetro

Al: Área del lisímetro (m²)

Cd: Coeficiente de drenaje

2.4 MANEJO Y OPERACIÓN DEL BLOQUE DE LISÍMETROS Y RHIZOTRONES

- Metodología:

Determinación de la Evapotranspiración

Evapotranspiración de referencia (ETo): Para el cálculo de ETo se selecciona un lisímetro en el cual se debe sembrar a voleo semilla de pasto Ray grass (*Lolium multiflorum*) manteniendo el cultivo en condiciones ideales de humedad hasta que alcance una altura de 12 cm y posteriormente se aplica la fórmula lisimétrica mediante la ecuación propuesta por (CER, 2019).

$$ETo/Etc = \frac{R-D}{ND} \quad (4)$$

Donde:

ETo / Etc: Evapotranspiración (mm/día)

R: Agua agregada por riego o precipitaciones (mm)

D: Agua drenada durante el período de análisis (mm)

ND: Número de días que hay de un riego a otro

Evapotranspiración de cultivo (ETc): Para el cálculo de la Etc en los lisímetros se siembra el cultivo seleccionado a las densidad de siembra recomendadas se determina la evapotranspiración del cultivo aplicando la ecuación (4) mencionada en (Allen , et al., 2006) citada por (León, et al., 2016).

Cálculo del coeficiente de cultivo (Kc)

Para el cálculo del Kc se utiliza la ecuación mencionada en (Allen , et al., 2006) citada por (León, et al., 2016).

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (5)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de cultivo (adimensional)

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)
 ETo: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

3. RESULTADOS

3.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BLOQUE DE SIETE LISÍMETROS DE DRENAJE Y RHIZOTRON DE HORMIGÓN

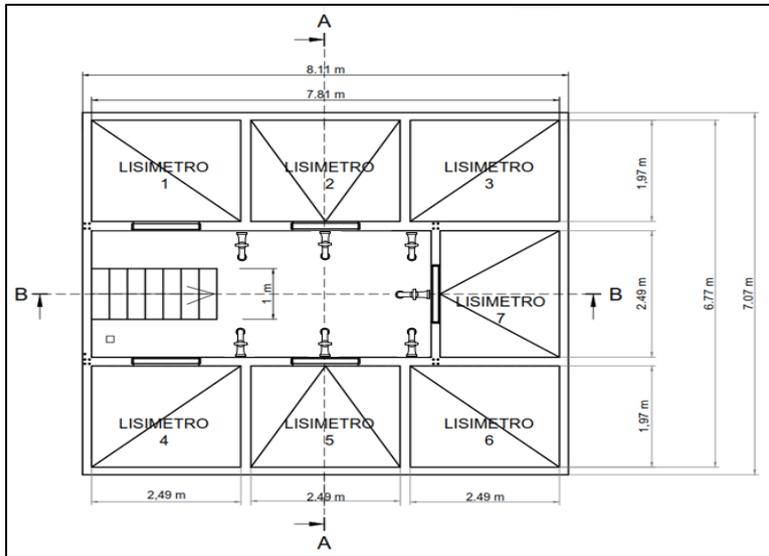


Fig 6. Vista planimétrica del diseño de bloque de lisímetros de drenaje

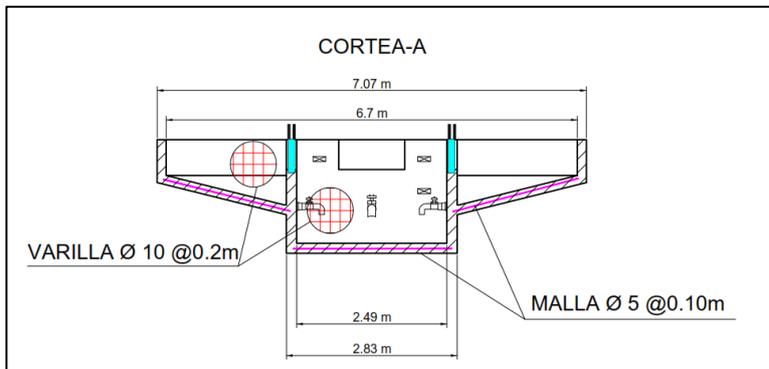


Fig 7. Corte A - A bloque de lisímetros de drenaje

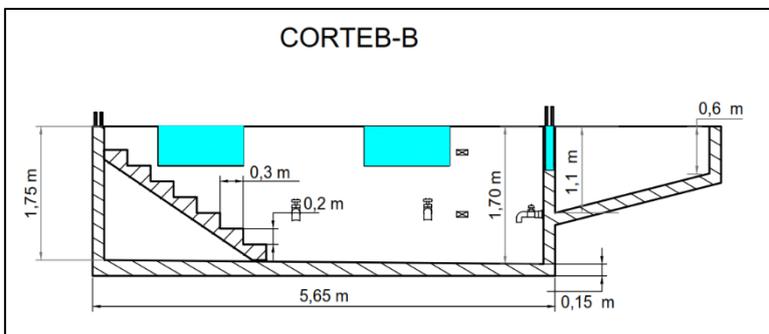


Fig 8. Corte B - B bloque de lisímetros de drenaje

El bloque de lisímetros de drenaje se conforman de 7 lisímetros de 2.49 m por 1.97 m, dando un área de 4.9 m², se designó al lisímetro 7 para la determinación de la evapotranspiración de referencia, para los lisímetros 1,2 y 3 se sembrará una especie, a su vez en los lisímetros 4, 5 y 6 se sembrará otra especie, teniendo 2 especies simultaneas a evaluar con 3 repeticiones lo que servirá para un análisis estadístico. Los rhizotrones están ubicados en los lisímetros en la pared interna del bloque de lisímetros de drenaje, los cuales servirán para la determinación de profundidad radicular. Las gradas de ingreso tienen un ancho de 1 m, todo el bloque de lisímetros de drenaje tiene unas dimensiones 8.11 m por 7.07 m. En la Fig 7 se observa que se utilizó malla electro soldada de 5 mm de diámetro en la base de los lisímetros como en la base del bloque de lisímetros. Se

utilizó malla armada de 10 mm de diámetro para la pared interna como para las divisiones ente

lisímetros. Todos los lisímetros fueron diseñados y construidos con un desnivel de 0.5 m lo cual provocará drenaje del volumen de agua ingresado al mismo.

3.2 INSTALACIÓN DEL BLOQUE DE LISÍMETROS

Se determina los parámetros físicos del suelo en campo como compactación y tasa de infiltración, en laboratorio se determinaron capacidad de campo punto de marchitez permanente, textura y estructura (Tabla 2).

Tabla 2.

Parámetros Físicos del Suelo del Bloque de Lisímetros

Lisímetro	Compactación (kgf/cm ²)	Tasa de infiltración (mm/h)	Densidad aparente (kg/l)	Capacidad de campo (%) *	Punto de marchitez permanente (%)*	Textura*
1	4,90	104,17	1,48	28,34	10,11	F. limoso
2	5,64	108,33	1,40	28,34	10,11	F. limoso
3	5,12	102,11	1,50	28,34	10,11	F. limoso
4	5,16	115,61	1,43	28,45	9,68	F. limoso
5	5,17	144,40	1,38	28,45	9,68	F. limoso
6	5,08	79,96	1,45	28,45	9,68	F. limoso
7	5,23	104,83	1,42	28,77	10,00	F. limoso
\bar{x}	5.19	108.49	1.44	28.02	9.91	

Fuente: CER, 2019

* Fuente: (INIAP, 2019)

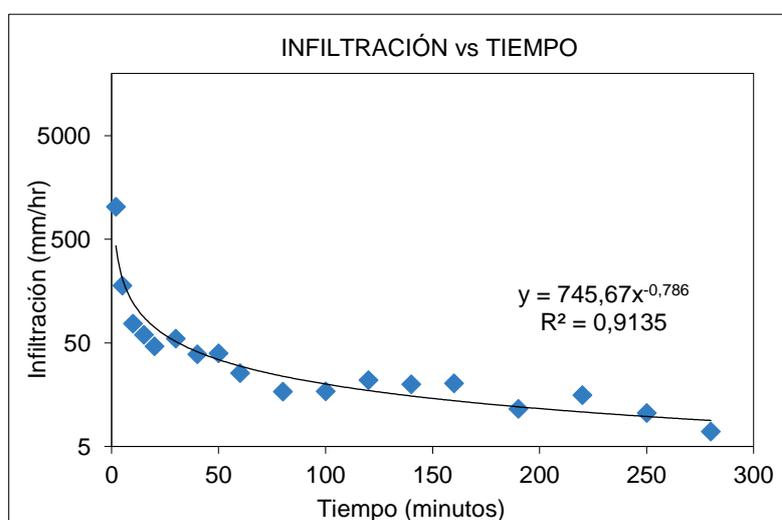


Fig. 9 Tasa de infiltración promedio en los siete lisímetros del bloque de lisímetros de drenaje

Se determinó un grado de correlación confiable ya que su valor de 0.9 el cual es una correlación positiva. La tasa de infiltración de todo el bloque de lisímetros, en la cual se puede observar que en los primeros minutos (2 a 10 minutos) la tasa de infiltración es alta empezando 1082.36 mm/hr y llegando al minuto 10 con 76.97 mm/hr desde la cual empieza a disminuir notablemente hasta llegar al minuto 280 con una velocidad de 7 mm/hr. Esta disminución se debe a que la compactación del suelo aumenta en función a la

profundidad como lo menciona (Villazón, et al., 2015) donde demuestra que existe un aumento de compactación a los 0.3 m lo que dificulta la infiltración del agua en el suelo. Resultados similares se obtuvieron en la investigación de (Denioa, et al., 2000) estudio en el cual la textura del suelo es Franco limosa, como la del presente estudio, en la que se define que la velocidad de infiltración disminuye en suelos compactados.

Tabla 3.
Análisis químico de suelo del bloque de lisímetros

Lisímetro	MO (%)	CE (dS/m)	pH	NH4 (ppm)	P (ppm)	S (ppm)	K (meq/100ml)	Ca (meq/100ml)	Mg (meq/100ml)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Sumatoria de bases (meq/100ml)
L 1-2-3 (0-0,20 m)	1,40	0,26	7,33	48,00	10,00	3,90	0,24	9,80	4,60	0,40	13,30	43,00	2,10	0,60	14,64
L 1-2-3 (0,20-0,40 m)	1,00	0,14	7,59	41,00	7,20	2,50	0,11	9,40	4,20	0,30	13,30	35,00	1,50	0,50	13,71
L 1-2-3 (0,40-0,60 m)	0,90	0,11	7,81	34,00	10,00	1,80	0,07	9,70	4,10	0,40	12,50	31,00	0,80	0,30	13,87
L 4-5-6 (0-0,20 m)	1,80	0,57	7,45	40,00	14,00	10,00	0,33	9,50	4,30	0,30	11,30	51,00	2,90	0,50	14,13
L 4-5-6 (0,20-0,40 m)	1,20	0,28	7,48	39,00	8,00	6,60	0,16	9,90	4,30	0,30	12,10	36,00	1,40	0,30	13,36
L 4-5-6 (0,40-0,60 m)	0,90	0,17	7,78	43,00	7,20	4,10	0,06	9,00	4,10	0,40	12,00	33,00	0,70	0,40	13,16
L 7 (0-0,20 m)	1,50	0,33	7,39	57,00	11,00	2,10	0,26	9,80	4,50	0,40	12,20	48,00	2,90	0,50	14,56
L 7 (0,20-0,40 m)	1,30	0,32	7,31	41,00	10,00	1,90	0,22	9,90	4,40	0,40	12,70	43,00	1,80	0,50	14,52
L 7 (0,40-0,60 m)	0,90	0,14	7,69	32,00	15,00	1,70	0,07	9,80	4,00	0,30	11,40	33,00	1,20	0,60	13,87
\bar{x}	1,21	0,26	7,54	41,67	10,27	3,84	0,17	9,64	4,28	0,36	12,31	39,22	1,70	0,47	13,98

MO: Materia orgánica

CE: Conductividad eléctrica

Datos obtenidos mediante promedio de las respectivas capas.

Fuente: (INIAP, 2019)

En la Tabla 3 se muestran valores promedio de todos los lisímetros los cuales si lo interpretamos con los valores de (Rioja Molina, 2002) tenemos para materia orgánica (MO) un nivel bajo, para conductividad eléctrica (CE) inapreciable, para potencial hidrógeno (pH) medianamente básico, para fósforo (P) un nivel bajo, para potasio (K) un nivel muy bajo, para calcio (Ca) un nivel bajo, para magnesio (Mg) un nivel muy alto y para nitrógeno (N)

3.3 CALIBRACIÓN DEL BLOQUE DE LISÍMETROS

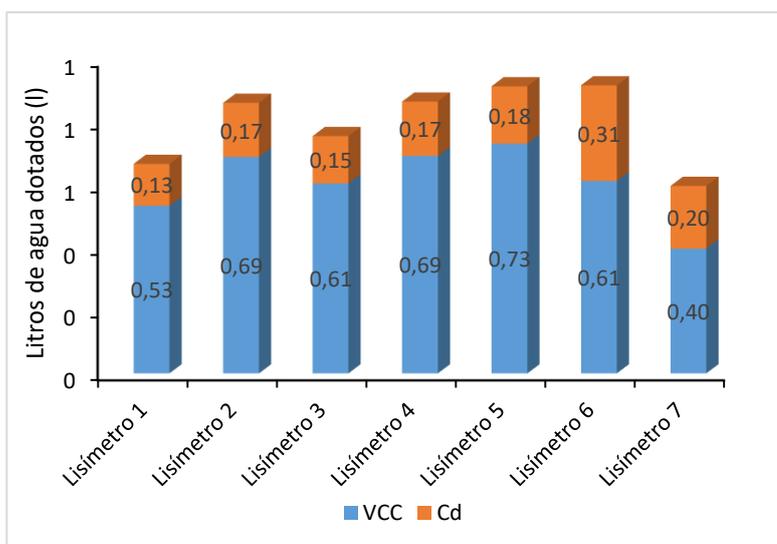
Luego de dar los riegos respectivos a todos los lisímetros para su llegada a capacidad de campo y el sobre riego adicional se determinó con que porcentual de riego se logró llegar a capacidad de campo en cada lisímetro dando los valores expuestos en la Tabla 4.

Tabla 4.

Calibración de bloque de lisímetros de drenaje

LISÍMETRO	CAS	VCC	Sobre riego adicional para exigir drenaje	Cd
U	Contenido de agua en el suelo (%) antes del primer riego	Volumen de agua a capacidad de campo (m ³)	(%)	(%)
1	16,04	0,53460	25	0,25
2	11,59	0,69020	25	0,25
3	13,68	0,60542	25	0,25
4	11,59	0,69347	25	0,25
5	10,03	0,73257	25	0,25
6	13,68	0,61375	50	0,50
7	19,25	0,39789	50	0,50

Fuente: CER, 2019



En la Fig 10 se aprecia el volumen aplicado en cada lisímetro y su respectivo sobre riego con su valor volumétrico, como resultado se obtuvo para el lisímetro 1: 0.13 m³, lisímetro 2: 0.17 m³, lisímetro 3: 0.15 m³, lisímetro 4: 0.17 m³, lisímetro 5: 0.18 m³, lisímetro 6: 0.31 m³, lisímetro 7: 0.20 m³. En los lisímetros 1, 2, 3, 4 y 5 se mantienen el mismo sobre riego en porcentual siendo el 25% y para los lisímetros 6 y 7 el sobre riego en porcentual de 50%.

Fig 10. Volumen de agua a capacidad de campo (VCC) y Coeficiente de drenaje (Cd)