



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

Seréis mis testigos

MANABÍ

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TEMA:

“CRECIMIENTO DEL BULBO HÚMEDO HORIZONTAL Y VERTICAL
EN CUATRO DIFERENTES CAUDALES DE SALIDA DE UN SISTEMA DE
SIMULACIÓN DE GOTEROS”.

PREVIO AL TÍTULO DE:

INGENIERO HIDRÁULICO.

AUTOR:

ROMMEL ANTONIO MOREIRA VERA.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. JOHN ENRIQUE FÉLIX MERA, MG

DICIEMBRE, 2022

PORTOVIEJO, ECUADOR

CERTIFICACIÓN.

Ing. John Enrique Félix Mera, Mg.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

En mi calidad de director de tesis certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la carrera Ingeniería Hidráulica de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí, cumpliendo los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Ing. John Enrique Félix Mera, Mg.

C.I: 131363436-0

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.

El jurado examinador aprueba el presente manuscrito de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Manabí.

(f) _____

Ing. John Enrique Félix Mera, Mg.

Primer lector

(f) _____

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga, M.Sc

Segundo Lector

(f) _____

Ing. Juan Fernando Quiroz Alonzo, Mg.

Tercer Lector

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de sustento que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de esta tesis infringe los derechos de autor de nadie.

Rommel Antonio Moreira Vera

Dirección: Portoviejo, Av. Del Ejercito, Urb. Ribera Colonial

Teléfono: 2358-713

Celular: 0998609577

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general.

Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Rommel Antonio Moreira Vera

C.I: 131328355-6

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico en primer lugar a Dios por ser mi guía durante el proceso y por haberme permitido lograr una meta más en mi vida.

A mi madre NOREYA ROSALIA VERA MENDOZA por ser mi bastón fundamental en mi vida y por haber creído en mí, apoyándome desde el inicio de este proceso que ahora ya está llegando a su etapa final con la bendición de Dios. Por siempre guiarme por el camino del bien, por hacerme ver que las cosas buenas nunca llegan sin esfuerzo, constancia y dedicación, por sus sacrificios y trabajo diario para sacarme adelante y motivarme a ser un gran profesional.

A mi padre ROMMEL NIXON MOREIRA CEDEÑO por ser un gran apoyo en toda mi trayectoria de vida, por apoyarme en cada una de mis decisiones y enseñarme que a pesar de cualquier obstáculo siempre existe la forma de seguir adelante. Por su esfuerzo y sacrificio constate que hizo para que nunca me faltara nada, por ser un ejemplo a seguir como persona.

A mi hermana QUINCHE LISSETH MOREIRA VERA quien ha estado presente en cada una de mis etapas y por tener su apoyo incondicional.

Rommel Antonio Moreira Vera

AGRADECIMIENTO

Inicialmente quiero agradecer a Dios, por brindarme salud y vida y ser mi guía en todo este proceso, a mis queridos padres por su apoyo incondicional en todo momento, a mi hermana, a mis amigos que durante estos años me brindaron su apoyo, al Sr. Heráclito Cedeño y a la Sra. Dolores Jaramillo quienes me apoyaron desde el primer momento y a todas las personas que han confiado en mí y que formaron parte de este proceso. A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Manabí por recibirme con las puertas abiertas a esta bella institución y brindarme de conocimiento y de valores para poder culminar mi carrera universitaria. Agradezco a aquellos docentes que fueron parte fundamental de este proceso, que desde el primer semestre me brindaron de su conocimiento el cual me ayudara para mi vida profesional, al Ing. John Enrique Félix Mera y al Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga por compartirme de sus conocimientos y por todo su apoyo brindado durante este proceso de titulación.

Rommel Antonio Moreira Vera

Resumen

En la presente investigación cuantitativa se analizó el crecimiento del bulbo húmedo horizontal y vertical, con cuatro caudales de salida del suelo en riego por goteo en el campus Lodana de la Universidad Técnica de Manabí, provincia de Manabí, dada su utilidad en la agricultura para determinar cuánto tiempo se puede regar con un sistema de goteo, y cuál es el área de humedad a formarse alrededor de la planta. Por tanto, este estudio correlacional, experimental de campo se desarrolló de julio a septiembre de 2022. Las ecuaciones fueron obtenidas mediante un modelo lineal, utilizando los datos de longitud y crecimiento de humedad y trabajando con un suelo franco arcilloso. La práctica del crecimiento del bulbo húmedo requirió un tanque de almacenamiento, una bomba, mangueras de 16 mm y los respectivos goteros autocompensados con caudales de 2, 4, 6 y 8 L/h. Los resultados determinan que la longitud corresponde a 65 cm, mientras que el crecimiento de la humedad del suelo corresponde a 49,5 cm, obteniendo también las ecuaciones para cada uno de los caudales a partir del modelo de regresión lineal donde el coeficiente de humedecimiento es $y=35,161$ y el exponente de humedecimiento es 0,2665, lo que indica que el gotero de 8 L/h es el que cumple con las condiciones óptimas para el estudio del bulbo húmedo. Se recomienda conocer el tipo de suelo en el estudio del bulbo húmedo porque éste puede afectar su crecimiento.

Palabras clave: bulbo húmedo, coeficiente de humedecimiento, exponente de humedecimiento

Abstract

This quantitative research study estimated the dimensions of the wet bulb and the lateral and vertical advance with four outlet water fluxes under drip irrigation at *Lodana* Campus in *Universidad Técnica de Manabí*, *Manabí* Province, regarding its usefulness in agriculture to determine how long to water plants with drip irrigation, and what the wetted area around them is. Accordingly, this correlational, experimental field research study was carried out from July through September 2022. Equations were developed through a linear regression model using data on length and moisture growth of clay-loam soil. Soil wet bulb formation required a water storage tank, a water pressure pump, 16 mm water hoses, and self-compensating drippers flow rates of 2, 4, 6 and 8 L/h. The findings determine that the value of the length corresponds to 65 cm, while the growth of soil moisture corresponds to 49.5 cm, obtaining the respective equations for each of the drippers flow rates from the linear regression model, where the coefficient of wetting corresponds to $y = 35.161$ and the exponent of wetting corresponds to 0.2665, which means that the dripper flow rate of 8 L/h is the one that meets the conditions for estimating the wet bulb. Knowing the type of soil when estimating the wet bulb formation is recommended because it may affect its growth.

Keywords: wet bulb, coefficient of wetting, exponent of wetting

Tabla de contenido

CERTIFICACIÓN.....	I
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.	II
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.	III
DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Introducción	1
Materiales y Métodos.....	4
Área de Estudio	4
Localidad.....	4
Información Climatológica.....	5
Materiales	5
Materiales de Campo	5
Materiales de Oficina	5
Procedimiento.....	6
Resultados y discusión.....	9

Establecer las características hidráulicas del gotero	15
Identificar las propiedades hidrofísicas del suelo considerando el movimiento del agua en el suelo.	16
Analizar el mejor emisor que se adapte para el estudio del suelo.	18
Conclusiones	20
Bibliografía	21
Anexos	24

Tabla de Figura

Figura 1 Área de estudio-Campus UTM Lodana	4
Figura 2 Crecimiento de Bulbo Húmedo	10
Figura 3 Relación del diámetro de humedecimiento con los caudales	11
Figura 4 Relación de profundidad total con los caudales	12
Figura 5 Relación de la profundidad total con el diámetro de humedecimiento.....	13
Figura 6 Relación de Humedad con el tiempo	14
Figura 7 Conductividad Hidráulica	16
Figura 8 Infiltración acumulada	16
Figura 9 Infiltración acumulada corregida.....	17
Figura 10 Fase de estabilización.....	17
Figura 11 Crecimiento de Bulbo Húmedo	25
Figura 12 Relación del diámetro de humedecimiento con los caudales	25
Figura 13 Relación de profundidad total con los caudales	26
Figura 14 Relación de la profundidad total con el diámetro de humedecimiento.....	26
Figura 15 Relación de humedad con el tiempo	27
Figura 16 Crecimiento del bulbo húmedo.....	29
Figura 17 Relación del diámetro de humedecimiento con los caudales	29
Figura 18 Relación de profundidad total con los caudales	30
Figura 19 Relación de la profundidad total con el diámetro de humedecimiento.....	30
Figura 20 Relación de humedad con el tiempo	31

Tabla de Tablas

Tabla 1 Datos de crecimiento del bulbo húmedo en la primera investigación realizada9

Tabla 2 Datos de crecimiento del bulbo húmedo en la segunda investigación realizada..24

Tabla 3 Datos de crecimiento del bulbo húmedo en la tercera investigación realizada28

Tabla de Imagen

Imagen 1 Colocación de manguera de 16 mm	32
Imagen 2 Colocación de las válvulas.....	32
Imagen 3 Prueba de Infiltración	32
Imagen 4 Adaptación del suelo	32
Imagen 5 Reunión de reconocimiento de área	33
Imagen 6 Área de trabajo para investigación de bulbo húmedo	33
Imagen 7 Bulbo húmedo de 2 L/h	34
Imagen 8 Bulbo húmedo de 4 L/h	34
Imagen 9 Bulbo húmedo de 6 L/h	34
Imagen 10 Bulbo húmedo de 8L/h	34

Introducción

De acuerdo con Martínez, (2020) a la masa del suelo que se moja durante el riego se le llama bulbo húmedo, este movimiento que se da en el suelo determina la forma y el tamaño del bulbo húmedo, lo cual es importante porque es donde se llega a desarrollar el sistema radical de las plantas.

Según Rodas & Cisneros, (2000) nombran que el bulbo húmedo es el volumen de suelo que es mojado por el gotero. A medida que el agua cae al suelo gota a gota, se desplaza hacia los lados (horizontal) y hacia abajo (verticalmente) creando el bulbo húmedo, que es importante para el crecimiento de las raíces en ella.

La formación del bulbo húmedo esta influenciada por la humedad inicial del suelo, en función del emisor, la frecuencia, la duración del riego, actividad capilar del agua y capacidad de retención de agua en el suelo, lo que determina el tamaño y la forma de la zona húmeda(Arragan & Chipana, 2015).

Aunque el gotero aporte pequeños caudales de nutrientes, cuando comienza a fluir este afecta a pequeñas zonas de la superficie del suelo, creando un pequeño charco cuyo radio aumenta con el riego continuado. A medida que aumenta la humedad del suelo, la infiltración disminuye y contribuye a aumentar el radio del charco (Solorzano, 2020). La velocidad de infiltración le permite medir la penetración del agua en el suelo, se puede medir como una lámina según la profundidad y el tiempo. Existen varios métodos para medir el comportamiento de las capas de agua del suelo (Ávila et al., 2019).

Según Monge, (2017) la forma de los bulbos húmedos depende en gran medida del tipo de suelo. En suelos pesados (arcillosos o de grano fino), las tasas de filtración son más lentas que

en los suelos ligeros (arena o grano gruesos), lo que da como resultado charcos más grandes y el bulbo húmedo se expanda más horizontalmente en lugar de la profundidad. Por otro lado (Pizarro, 1996) nos dice que una mayor proporción de microporos en suelos pesados conduce a una fuerza métrica dominante sobre la gravedad, lo que hace más fuerte la distribución horizontal del agua.

El movimiento del agua en el suelo se da en todas las direcciones, pero en unos casos ocurre con más facilidad que en otros porque depende de la porosidad del suelo. En los poros grandes el agua circula por su propio peso de arriba hacia abajo, mientras que en los poros pequeños el agua circula capilarmente en todas las direcciones (Gea, 2016).). El bulbo húmedo depende de los siguientes factores: forma plana, ancha u horizontal en arcillas; en francos es redondo; en la arena se vuelve estrecho y profundo o vertical. (Fuentes, 1990).

Thorburn, (2003) evaluó varias texturas de suelo y propiedades hidráulicas diferentes, encontrando que el tamaño del bulbo húmedo está relacionado con la textura del suelo. De acuerdo con (Cook, 2003) esto nos dice que este es un predictor deficiente de los patrones de humedad del suelo y que se requiere información detallada sobre los patrones de humedad para un diseño de riego efectivo.

Un suelo con buenas propiedades físicas es un soporte para que las raíces de las plantas echen raíces y determina la tasa de absorción de agua. (Rezende et al., 2002). Además, el valor de la conductividad hidráulica saturada es un valor relacionado con la humedad volumétrica saturada (θ_s) y es menor que la porosidad total del suelo (Salgado, 2000). La estimación de bulbo húmedo se puede realizar de tres formas: utilizando tablas, modelos teóricos y mediciones de campo. Se puede utilizar cualquier método científico para evaluar los patrones de humectación, generalmente utilizando tablas o pruebas de campo (Gil, 2001).

Según Keller y Bliesner, (1990) existen muchas tablas relacionadas con la expansión del bulbo húmedo para diferentes factores como la estructura del suelo. Sin embargo, la información provista en estas tablas no incluye todos los factores que afecten el tamaño del bulbo húmedo, por lo que (Rodrigo et al., 1992) señala que la mejor manera de conocer el área mojada por el emisor es realizar pruebas de campo, las cuales deben hacerse en condiciones lo más cercanas posibles a las que se encuentran en el campo, cuanto mejor sea el terreno.

Según Solano y Vásquez, (2013) el diámetro del bulbo húmedo y la profundidad del riego por goteo fueron un 13 % y un 27 % mayores que el diámetro y la profundidad del suelo subyacente o del riego por goteo subterráneo, respectivamente. De manera similar, el área y el volumen del bulbo húmedo bajo riego por goteo superficial son mayores que con riego por goteo subterráneo, pero finalmente (Mantuano & Véliz, 2017) demostraron que en un estudio realizado en conos húmedos, respecto al crecimiento de raíces de maíz bajo la influencia del riego por goteo, se demostró que las raíces de los árboles alcanzan una longitud que varía de 0,45 m a 0,69 m horizontalmente y la profundidad de la raíz varía de 0,17 m a 0,15 m.

Con estos antecedentes, la presente investigación tiene como objetivo general determinar el crecimiento de bulbo húmedo horizontal y vertical en cuatro diferentes caudales de salida de un sistema de simulación de goteros, mientras que los objetivos específicos son: Establecer las características hidráulicas del gotero; Identificar las propiedades hidrofísicas del suelo considerando el movimiento del agua y analizar el mejor emisor que se adapte para el estudio del suelo.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

Localidad

La investigación se la va a ejecutar en el cantón de Santa Ana en la extensión de la Universidad Técnica de Manabí que queda ubicada en la Parroquia de Lodana. Dicho sector queda geográficamente entre las coordenadas referenciales de Latitud $1^{\circ}10'33.71''$ S y Longitud $80^{\circ}23'08.16''$ O con una elevación 59 m.



Figura 1 Área de estudio-Campus UTM Lodana

Información Climatológica

El clima de Santa Ana es tropical seco con las estaciones de invierno y verano bien diferenciadas; la temperatura promedio anual es de 26°C. La temperatura máxima absoluta ha llegado a 37°C y la mínima a 14°C. Sin embargo, la variación diaria de la temperatura puede alcanzar hasta 10°C. (GAD, 2022)

Materiales

Materiales de Campo

- ❖ Goteros de botón regulable;
- ❖ Goteros autocompensados de 2 L/h;
- ❖ Goteros autocompensados de 4 L/h;
- ❖ Goteros autocompensados de 8 L/h;
- ❖ Manguera de 16 mm;
- ❖ Bomba de caudal/presión;
- ❖ Accesorios de PVC;
- ❖ Pala;
- ❖ Válvulas;
- ❖ Tanque almacenamientos;
- ❖ Tee.

Materiales de Oficina

- ❖ Impresora;
- ❖ Calculadora;
- ❖ Excel;

- ❖ Datalogger;
- ❖ Software ECH20 UTILITY;
- ❖ Pluma;
- ❖ Laptop;
- ❖ Hoja de campo.

Procedimiento

- ❖ Limpiar el terreno donde se va a realizar el crecimiento del bulbo húmedo.
- ❖ Se comenzó a preparar el terreno en el cual se inició con un arado del suelo, debido a que el terreno no se encontraba en condiciones óptimas, después se tuvo que pasar la rastra pesada con el fin de eliminar las grandes cantidades de terrones.
- ❖ Una vez listo el terreno se escoge 3 lugares para realizar la investigación, los cuales serán al inicio, a la mitad y al final del terreno para visualizar el crecimiento del bulbo húmedo.
- ❖ Al estar colocada la bomba al tanque del almacenamiento se comienza a distribuir el agua mediante una simulación de un sistema de goteo por cuatros salidas de diferentes caudales con una manguera de 16 mm utilizada para el riego en goteo, en la cual cada salida tendrá su gotero con el caudal especificado.
- ❖ Se tomo en consideración que los goteros autocompensados de 2, 4 y 8 L/h vienen ya regulado de fábrica mientras que al gotero de 6 L/h se le realizo su respectiva regulación para esto se hizo uso de un gotero de botón regulable.
- ❖ Una vez culminados todos los procesos anteriores se pudo empezar con la evaluación las cuales tuvieron una duración de 4 horas, con la ayuda del Datalogger se pudieron obtener los valores de humedad por hora, se fue marcando el área mojada de forma superficial y

subterránea que se iba formando a través del goteo, este proceso se aplicó en todos los puntos donde lo requería la práctica.

- ❖ Luego de las cuatro horas de practica se realizó una excavación hasta ver donde llegaba la profundidad de la humedad que se iba formando por el goteo y la duración del tiempo.
- ❖ Culminando todos estos procesos se pudieron obtener los datos requeridos, para ser llevados a una hoja de cálculo y realizar las respectivas gráficas de esta manera se logró conseguir la ecuación del crecimiento del bulbo húmedo.
- ❖ En este procedimiento no se utilizaron métodos estadísticos para obtener estos resultados, debido a que solo se tomó una observación al inicio, mitad y final de la investigación.

Propiedades Hidrofísicas del suelo

- ❖ Para encontrar las propiedades hidrofísicas del suelo se realizaron varios procesos, ya que se obtuvo varios parámetros como son: capacidad de campo, punto de marchitez, pH del suelo y la conductividad eléctrica.
- ❖ Para el procedimiento de capacidad de campo se recolectó una muestra del suelo en la que colocamos en un vaso plástico con pequeños agujeros en su base, esta se encontraba asentada en un recipiente más grande con agua para que esta cumpliera la función de un riego por capilaridad y la tierra se llenara de agua por completo.
- ❖ Una vez que se llenara la tierra de agua por completo con ayuda del sensor de humedad encontrábamos el valor de capacidad de campo.
- ❖ Para encontrar el punto de marchitez se utilizó de referencia un indicador biológico, en este caso se sembraron semillas de maíz en un recipiente plástico de 1 litro, para que esta

con el pasar de los días vaya creciendo y absorbiendo toda el agua que estaba retenida en el suelo

- ❖ Una vez que la planta haya crecido al punto de absorber toda el agua de la tierra y que las hojas se encuentren secas con ayuda del sensor se encontraba el punto de marchitez de la tierra.
- ❖ Para sacar el pH del suelo y la conductividad eléctrica se llevaron una muestra de suelo al laboratorio donde se emplearon los análisis respectivos de cada uno de ellos, en donde para sacar la conductividad eléctrica del suelo se utilizó el conductímetro y para el pH del suelo se utilizó el medidor de pH.

Resultados y discusión

En la presente investigación se pudieron obtener las ecuaciones respectivas para el crecimiento del bulbo húmedo, en la siguiente tabla se logra observar los datos obtenidos sobre el crecimiento del Bulbo húmedo.

Tabla 1 Datos de crecimiento del bulbo húmedo en la primera investigación realizada

Góteros 2 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0.345	17	28	1.04
2	0.365	25		
3	0.389	26		
4	0.413	27		
Góteros 4 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0.413	25	43	1.10
2	0.431	31		
3	0.446	38		
4	0.459	39		
Góteros 6 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0.476	29	51	1.21
2	0.489	34		
3	0.499	41		
4	0.509	42		
Góteros 8 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0.519	35	65	1.31
2	0.526	42		
3	0.539	49		
4	0.554	49.5		

En la tabla 1 se puede ver valores de tiempo, humedad, área mojada, la profundidad de la humedad y la relación que existe entre la relación de la profundidad máxima y la mayor área de humedad que se llegó a conseguir al finalizar las 4 horas. Como se puede observar en dicha tabla para los goteros de 2 l/h tenemos una relación de 1.04 la cual indica que el crecimiento del bulbo

húmedo en la profundidad es casi igual al área mojada. Así mismo para los goteros de 8 l/h se obtuvo una relación de 1.31 este valor indica que en los goteros de 8 l/h el crecimiento del bulbo húmedo fue superior en la profundidad que en la parte del área mojada.

En la figura 2 se pudo analizar el crecimiento del bulbo húmedo con relación a las horas que duró la investigación, donde se pudo observar que a través de la mayor duración del tiempo con cada uno de los goteros instalado con sus respectivos caudales (2,4,6 y 8 L/h.) iba haciendo crecer el área del bulbo húmedo. Aquí podemos encontrar un valor de $R^2 = 0.967$ y ajustando la curva de tipo exponencial, encontramos el coeficiente de humedecimiento dando como resultado el valor de $y = 35.161$ y su exponente 0.2665 . En dicha grafica se puede observar que en las 3 primeras horas el crecimiento del bulbo húmedo fue aumentando mientras que en la última hora restante el crecimiento se volvió constante.

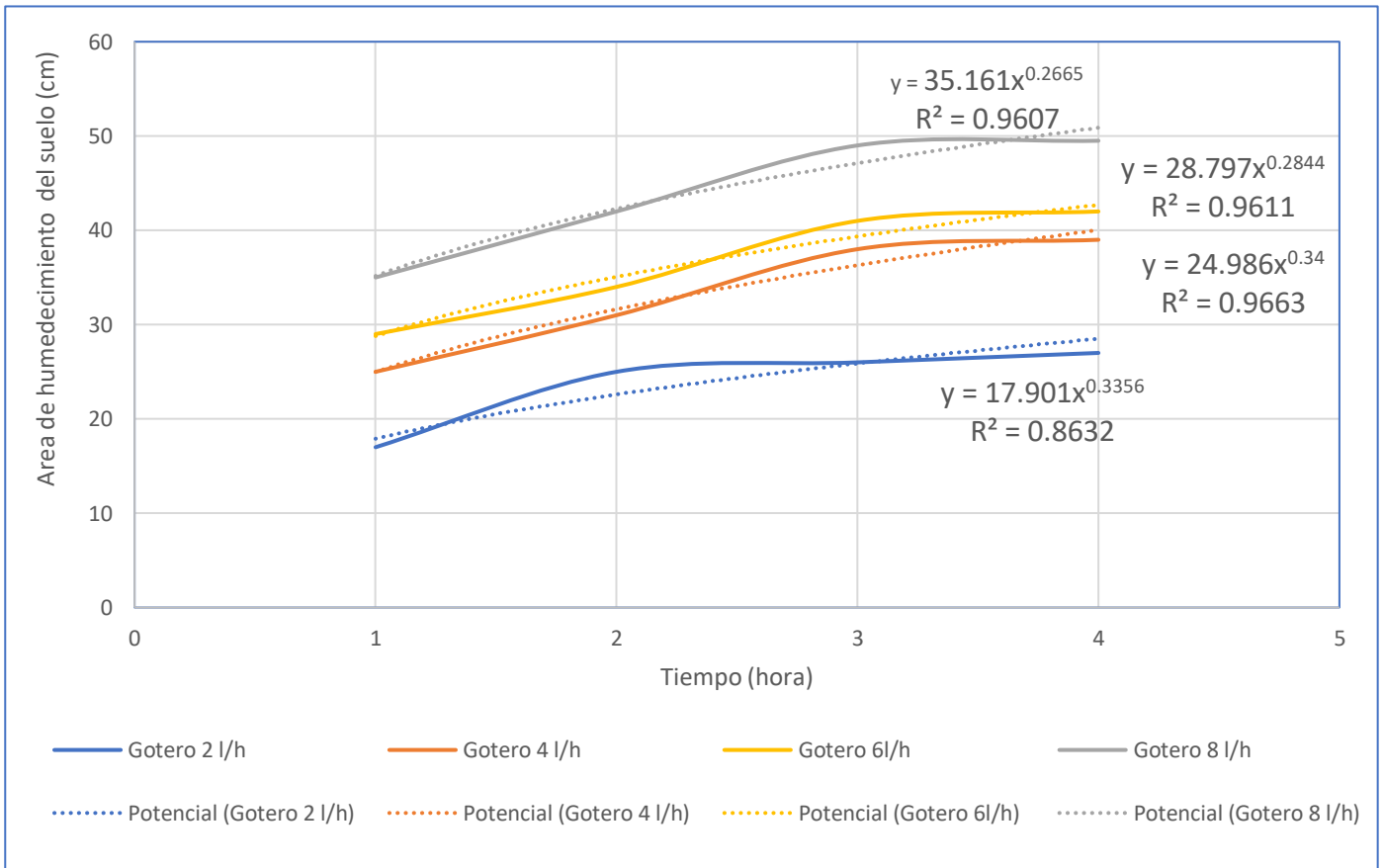


Figura 2 Crecimiento de Bulbo Húmedo

En la figura 3 podemos observar cómo fue el comportamiento del diámetro en función del caudal en cuanto a las cuatro horas de prácticas, este gráfico nos ayuda a visualizar que valores son similares con el coeficiente de humedecimiento y el valor del exponente, aquí podemos visualizar como el diámetro en las 3 primeras horas iba creciendo para cada uno de sus goteros y en la última hora ya se mantenía de una manera uniforme, esto nos permite tener una mayor seguridad al momento de afirmar que, pasada las 3 horas el área el bulbo húmedo no se va a extender compartiendo estos hallazgo con (Brito, 2014) indicando que el caudal de goteo y el tiempo de riego influye en la profundidad y radio del bulbo húmedo.

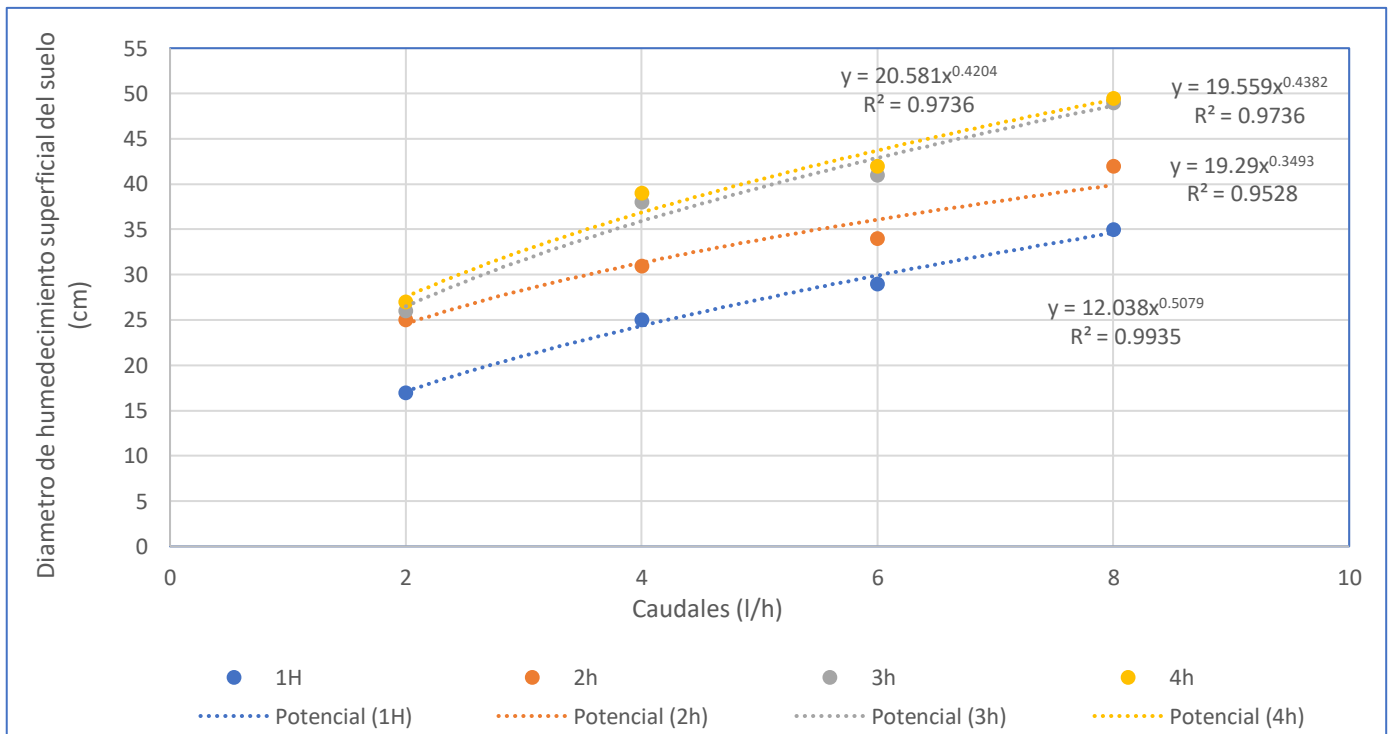


Figura 3 Relación del diámetro de humedecimiento con los caudales

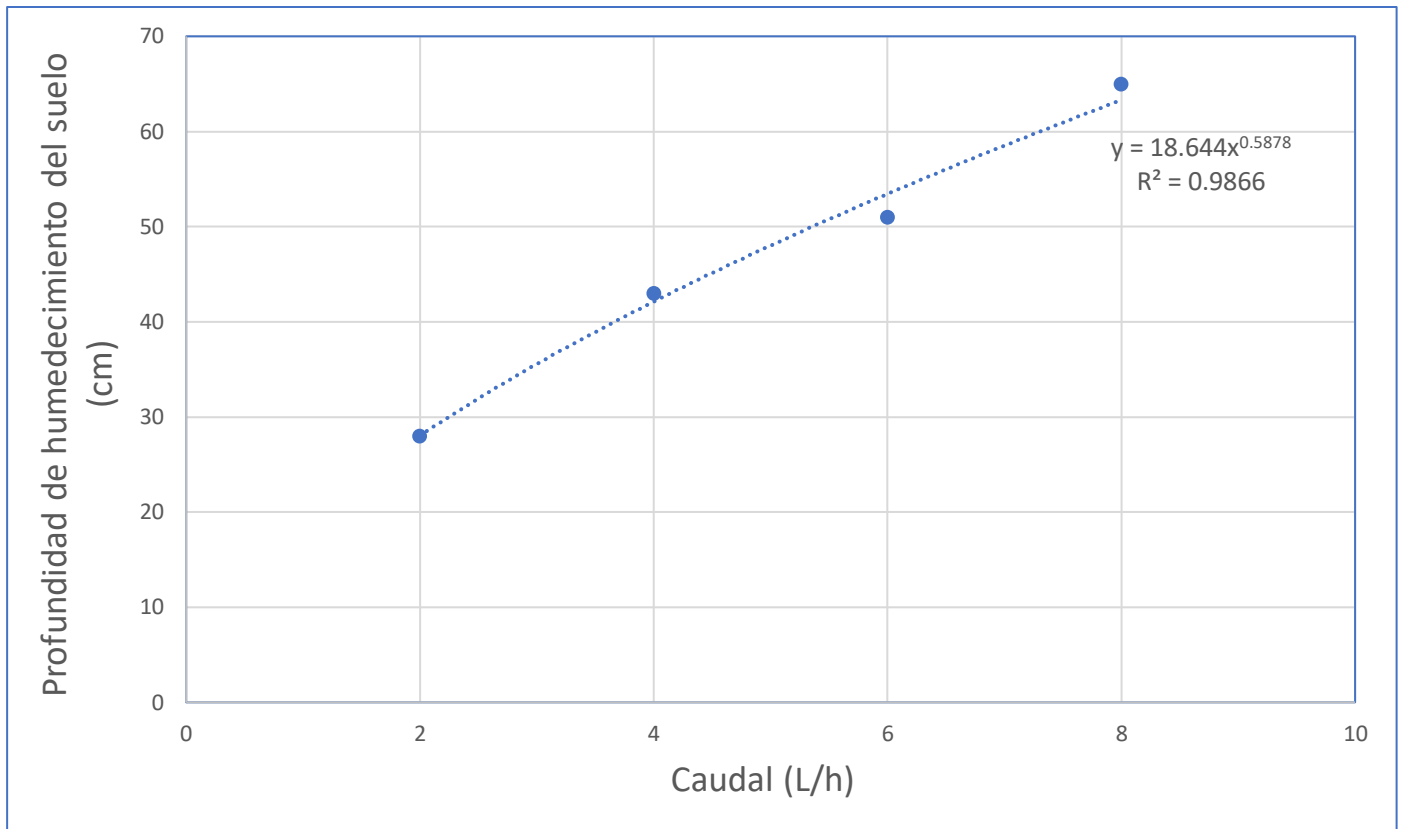


Figura 4 Relación de profundidad total con los caudales

Como se logra observar en la figura 4 tenemos una relación entre la profundidad de humedecimiento del suelo y los caudales que fueron aplicados y nos da como resultado un $R^2 = 0.9866$ con una recta de tipo potencial y se observa un coeficiente de 18.644 y el exponente de 0.5878.

En esta investigación se logra analizar como creció el bulbo húmedo horizontal y verticalmente teniendo la profundidad total y el máximo diámetro de humedecimiento, esto lo podemos observar en la figura 5 donde vemos la comparación del crecimiento. Se lograron encontrar estos valores al finalizar las 4 horas de las prácticas, como también se ve que en los caudales de 6 y 8 L/h el agua se movió de una forma diferente ya sea vertical u horizontalmente y en los caudales de 2 y 4 L/h el agua se dispersó de manera uniforme, esto lo podemos analizar mediante la línea de color naranja que hemos marcado en la Figura 5.

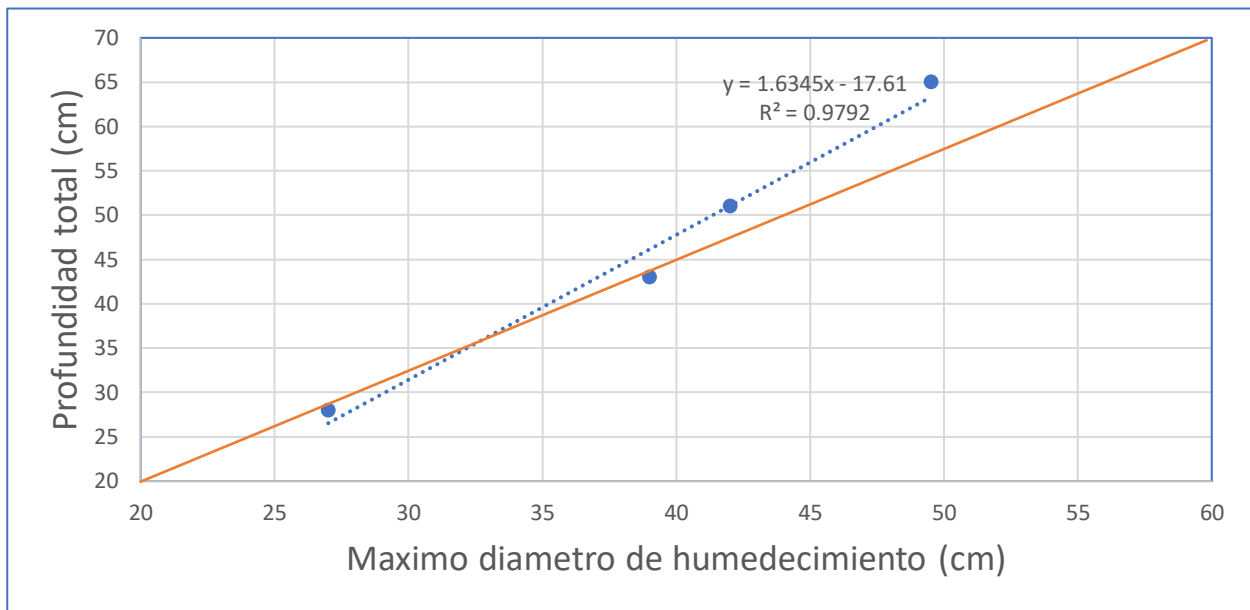


Figura 5 Relación de la profundidad total con el diámetro de humedecimiento

Se analizó el cambio de la humedad a través de las cuatro horas que duró la práctica, en la figura 6 podemos analizar cómo este va cambiando, se pudieron tomar estos valores por el Datalogger que se considera un dispositivo apto para monitorear la humedad y temperatura del suelo.

Un estudio de Fernández, (2010) mostró un consenso que indica que la superficie de la zona húmeda había alcanzado su capacidad de campo, impidiendo el crecimiento horizontal del bulbo húmedo, indicando que el suelo aumenta en humedad, la tasa de absorción de agua disminuye y por lo tanto, el bulbo húmedo disminuye su tamaño de expansión, mientras que en el estudio realizado por (Véliz, 2017) al cono de humedecimiento nos dice que, por la acción del riego por goteo, el diámetro de los fondos en el plano horizontal es de 0.48 m y 0.52 m, y la profundidad está entre 0,27 m y 0,29 m, lo que demuestra que existe mucha humedad tanto en la zona horizontal como en la vertical.

Por otro lado Gonzalez et al., (2015) refieren que la expansión de bulbo húmedo se obtiene debido a la distribución horizontal de suelos con diferentes composiciones de granos, incluyendo arcilla, dependiendo de los diferentes tipos emisores, captación de agua, conductividad hidráulica saturada, humedad inicial y residual del suelo y el contenido de limo del suelo.

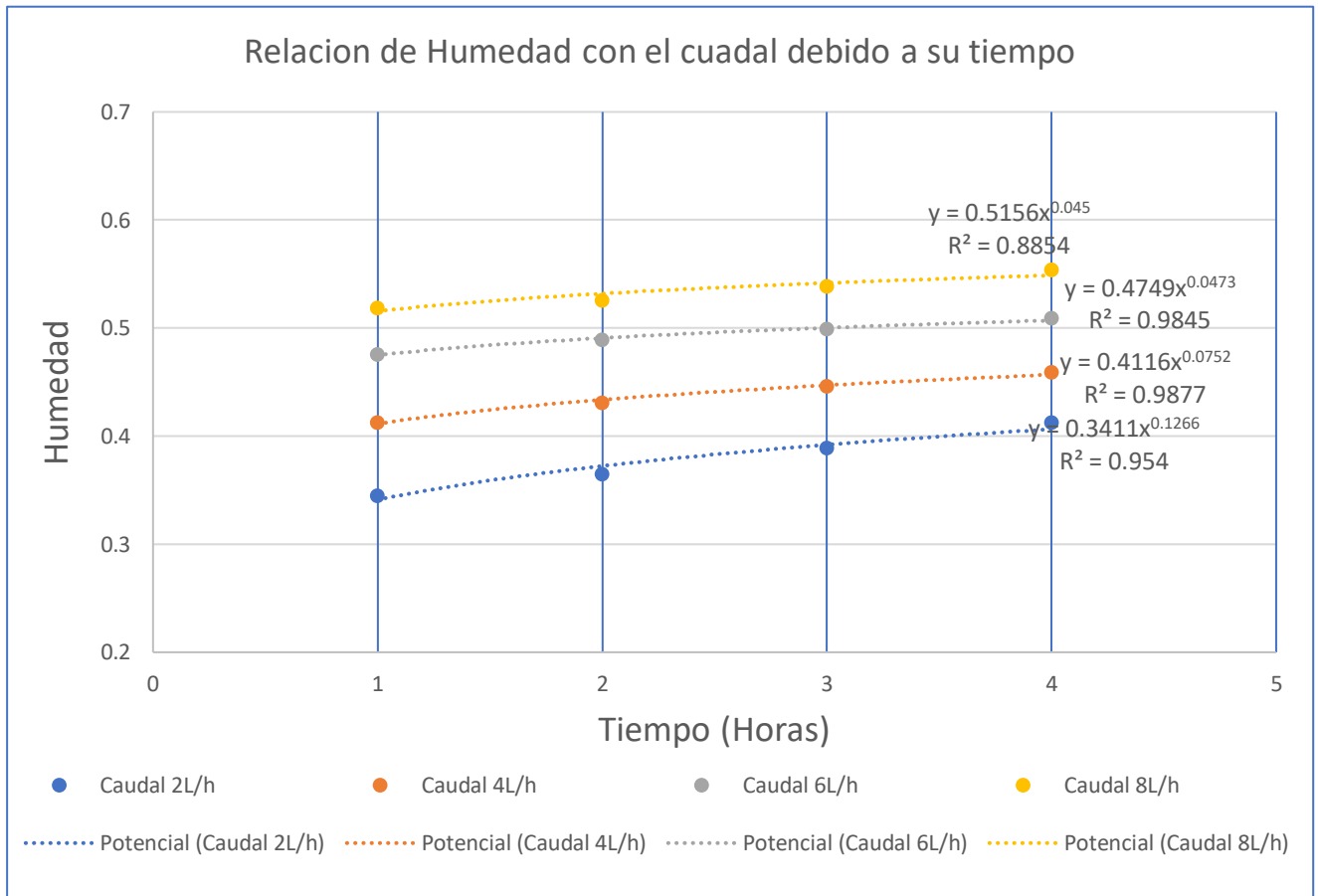


Figura 6 Relación de Humedad con el tiempo

Establecer las características hidráulicas del gotero

En la presente investigación se pudieron constatar las características hidráulicas de cada gotero, teniendo en cuenta que cada uno de ellos constaba de un caudal diferente, aquí se puede visualizar de una manera más detallada las propiedades de cada gotero:

Gotero de 2 L/h

Goteros PCJ autocompensado que como ya antes dicho proporciona un índice de flujo de 2 L/h con presiones de entrada que van desde 0.5 a 4 BAR.

Gotero de 4 L/h

Goteros PCJ autocompensado que como ya antes dicho proporciona un índice de flujo de 4 L/h con presiones de entrada que van desde 0.5 a 4 BAR.

Gotero de botón regulable para 6 L/h

Es un gotero de botón regulable auto compensado el cual está diseñado para proporcionar un índice de flujo de 2 a 70 L/h, el cual está regulado para dar 6 L/h este gotero las presiones aplica según el caudal.

Gotero de 8 L/h

Goteros PCJ autocompensado que como ya antes dicho proporciona un índice de flujo de 8 L/h con presiones de entrada que van desde 0.5 a 4 BAR.

Identificar las propiedades hidrofísicas del suelo considerando el movimiento del agua en el suelo.

En la presente investigación se estudió un suelo Franco-Arcilloso y con ayuda de varios estudios se logró conocer sus propiedades hidrofísicas.

Se realizó un estudio de infiltración donde se obtuvo parámetros como la conductividad hidráulica de suelo, infiltración acumulada, corregida y la fase de estabilización

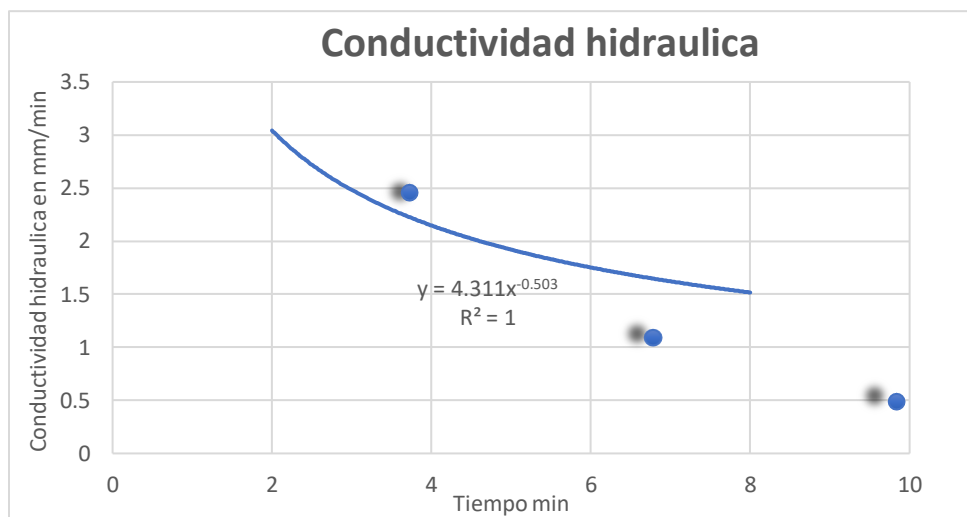


Figura 7 Conductividad Hidráulica

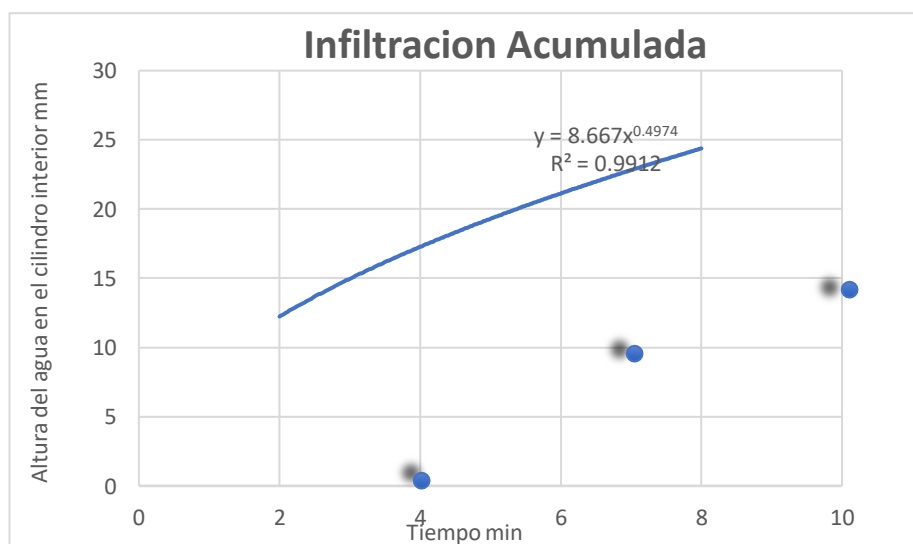


Figura 8 Infiltración acumulada

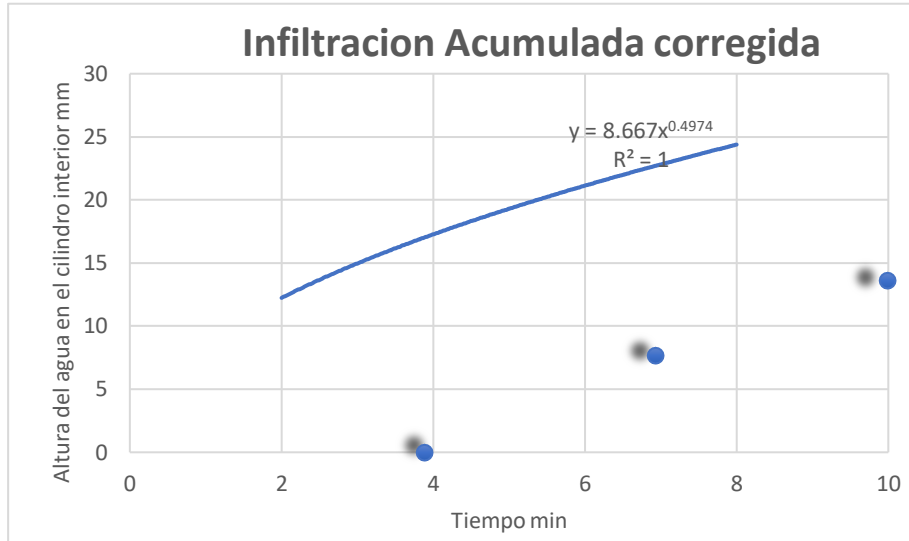


Figura 9 Infiltración acumulada corregida

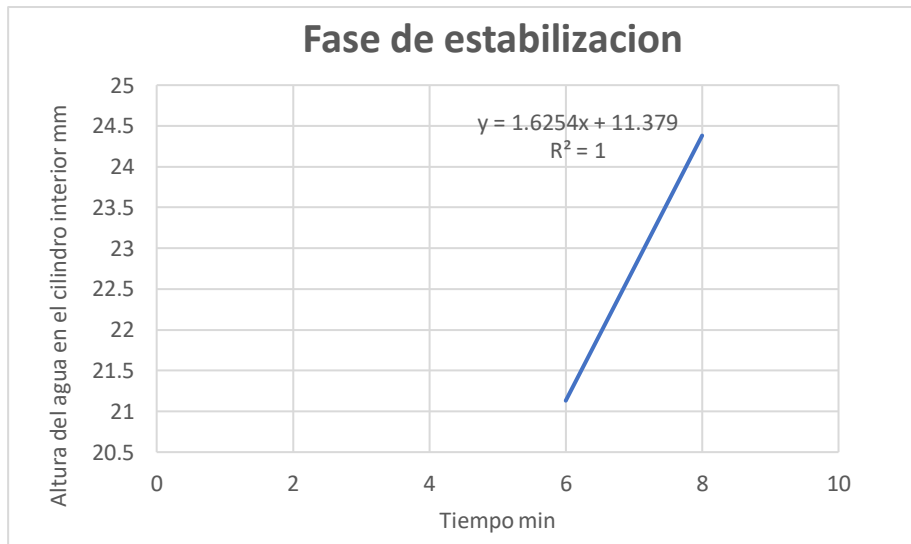


Figura 10 Fase de estabilización

Se conoció valores como los de capacidad de campo y punto marchitez teniendo en cuenta que la capacidad de campo es la cantidad de agua o de humedad que es capaz de retener el suelo y el punto de marchitez es la de humedad mínima por lo cual una planta no puede absorber más agua del suelo.

Con el indicador bilógico se logró obtener valores de capacidad de campo y punto marchitez, donde primeramente se hizo la saturación del suelo para así obtener valores de 44.85% que es la capacidad de campo. A este indicador biológico se le agrego el sensor de humedad el cual nos ayudó a encontrar un valor de 11.10% que representa el punto de marchitez.

Entre otros parámetros de la investigación tenemos el pH del suelo, la conductividad eléctrica , donde pudimos constar que el valor del pH del suelo de 7.25, y con una conductividad eléctrica de 1.24 mS/cm.

Por este motivo Lincoln et al., (2019) nos dice que los sensores de humedad para los suelos han demostrados tener un gran potencial para la hora de monitorear la humedad del suelo, siendo más práctico a la hora de encontrar los valores de capacidad de campo y el punto de marchitez.

Analizar el mejor emisor que se adapte para el estudio del suelo.

Así mismo, se puede observar los diferentes datos de cada uno de los goteros y encontrar el que mejor se adaptaba a nuestras necesidades de estudio. Teniendo en cuenta que se presentó una mayor humedad que la de los otros caudales con un valor de 0.554 m³/m³, con respecto al área de humedecimiento, además se puede notar que durante las cuatro horas de prácticas se obtuvo una relación del bulbo húmedo horizontal y verticalmente de 1.31 que corresponde al resultado de dividir la profundidad total de 65 cm y un área de 49.5 cm en total. Este proceso se realizó en tres ocasiones teniendo como resultados datos similares en cada una de ellas. Con estos resultados y comparando con datos de los otros goteros podemos comprobar que en las cuatro horas de prácticas el gotero de 8 L/h fue el mejor que se adaptó a este estudio.

En la investigación realizada por Hayashi, (2015) indica que, a mayor caudal de gotero, para un suelo dado aumenta la pluviometría por lo que el charco demora más tiempo en estabilizarse, siendo de mayor tamaño y por lo tanto el bulbo tiende a ser más extenso horizontalmente. Esto tiene concordancia con la investigación realizada ya que se pudo observar que en los goteros de 8 L/h la forma horizontal fue más extensa.

Conclusiones

- A partir de las tres evaluaciones realizadas en cada uno de los escenarios se pudo analizar que el bulbo húmedo se iba extendiendo de acuerdo con el caudal de cada gotero y dependiendo de las horas transcurridas, mientras que en cada uno de los escenarios notamos similitud entre caudales
- Tal como hemos podido comprobar cada emisor contaba con caudales de 2,4,6 y 8 L/h, son goteros autocompensados y con presiones de 0.4 a 5 BAR que fueron fundamentales para la práctica.
- A partir del análisis precedente encontramos que la presente investigación se realizó en un suelo de tipo Franco-Arcilloso el cual después de su respectivo estudio concluimos con valores de CC de 44.85% y de PM de 11.10%, así vimos resultado de pH de 7.24 y conductividad eléctrica de 1.24 mS/cm.
- Ahora que hemos visto todo lo anterior se puede concluir que el mejor emisor que se logró a adoptar a las condiciones del suelo fue el gotero de 8 L/h ya que este tuvo un mayor rendimiento en los cuatros horas que se realizó, con lo que pudimos comprobar que este presentó un movimiento del agua en donde se logró observar el crecimiento del bulbo húmedo horizontal y vertical.

Bibliografía

- Arragan, F., & Chipana, R. (2015). *Modelación matemática del bulbo húmedo bajo riego por goteo superficial en suelos del Altiplano Boliviano*.
- Ávila, L., Soler, M., Madrona, P., Ruiz, A., & Bautista, C. (2019). *Análisis de la velocidad de infiltración del agua en suelos saturados mediante lisímetros de pesada*.
- Brito, C. (2014). *Estudio De La Influencia Del Tipo De Suelo, Caudal De Goteo Y Tiempo De Riego En La Geometría Del Bulbo De Humedecimiento*.
- Cook, F. (2003). *WetUp: una herramienta de software para mostrar patrones de mojado aproximados de los goteros*.
- Fernández, R. (2010). *Riego Localizado*. Informe Constitucional. Consejería de Agricultura y Pesca.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf
- Fuentes, J. (1990). *Características agronomicas del riego por goteo*. Hojas divulgadora.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1990_17.pdf
- GAD. (2022). *Santa Ana Gad Municipal*. <https://santaana.gob.ec/ciudad/>
- Gea, P. (2016). *Riego localizado*. rao Estudios y proyectos S.L. <https://www.hydropgea.com/wp-content/uploads/2016/05/RIEGO-LOCALIZADO.pdf>
- Gil, A. (2001). *Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos*.
- Gonzalez, A., Reyna, V., Rios, P., Gonzalez, M., & Gonzalez, M. (2015). *Modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo en riego por goteo*.

- Hayashi, R. (2015). *Descripcion y cuantificacion de los bulbos humedos en suelos de texturas contrastantes, con diferentes patrones de aplicacion del agua de riego localizado.*
- Keller, J., & Bliesner, R. (1990). *Riego por aspersión y por goteo.* Springer Nueva York, Nueva York.
- Lincoln, Z., Dukes, M., & Morgan, K. (2019). *Interpretacion del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad.*
- Mantuano, F., & Véliz, W. (2017). *Efecto del riego por goteo en indicadores de crecimiento del cultivo del maiz (zea maysl.) bajo diferentes densidades y profundidad de siembra.* Universidad Tecnica de Manabi.
- Martínez, R. (2020). *Sistema para la caracterizacion del bulbo humedo en riego localizado.* Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
https://oa.upm.es/65146/1/TFG_Ramon_Martinez_Pascual_De_Pascual.pdf
- Monge, M. (2017). *Formación del bulbo húmedo.* Universidad Internacional de Riego.
http://www.universidadderiego.com/wp-content/uploads/2017/02/DAG_Doc6_formaci%C3%B3n-del-bulbo-h%C3%BAmedo.pdf
- Pizarro, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) : goteo, microaspersión, exudación.* Madrid : Mundi-Prensa.

- Rezende, L., Camapum, J., & Cardoso, F. (2002). *Estudos laboratoriais de dois solos finos estabilizados com cal. I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos No Centro-Oeste, Brasília.*
- Rodas, H., & Cisneros, P. (2000). *Principios de riego por goteo. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Ordenamiento Forestal Cuencas y Riego, División de Riego y Drenaje, Gestión y Tecnología de Riego.*
- Rodrigo, J., Hernández, J., Pérez, A., & González, J. (1992). *Riego Localizado.* Mundi-Prensa.
- Salgado, L. (2000). *Determinación de características hidrodinámicas del suelo: Conductividad hidráulica, espacio porosodrenable, espesor de la región de flujo.*
- Solano, J., & Vásquez, E. (2013). *Evaluar el rendimiento del cultivo de papa (solanum tuberosum L.) con aplicación de fertirrigación en dos sistemas de riego por goteo, superficial y subsuperficial.* Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Solorzano, P. (02 de Octubre de 2020). *Quinfuca. C.A.*
<http://www.quifuca.com/ve/2020/10/02/1a-fertirrigacion-y-el-bulbo-humedo/>
- Thorburn, P. (2003). *Humectación dependiente del suelo de los emisores de goteo: implicaciones para el diseño y la gestión del sistema.*
- Véliz, F. (2017). *Efecto del riego por goteo en indicadores de crecimiento del cultivo del maíz (Zea mays l.) bajo diferentes densidades y profundidad de siembra.*

Anexos

Tabla 2 Datos de crecimiento del bulbo húmedo en la segunda investigación realizada

Gotos 2 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0,354	18	28	0,97
2	0,385	25		
3	0,385	28		
4	0,413	29		
Gotos 4 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0,425	24	42	1,05
2	0,431	31		
3	0,451	39		
4	0,459	40		
Gotos 6 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0,481	28	52	1,21
2	0,489	35		
3	0,502	42		
4	0,509	43		
Gotos 8 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0,526	36	62	1,25
2	0,536	44		
3	0,541	49		
4	0,554	49,5		

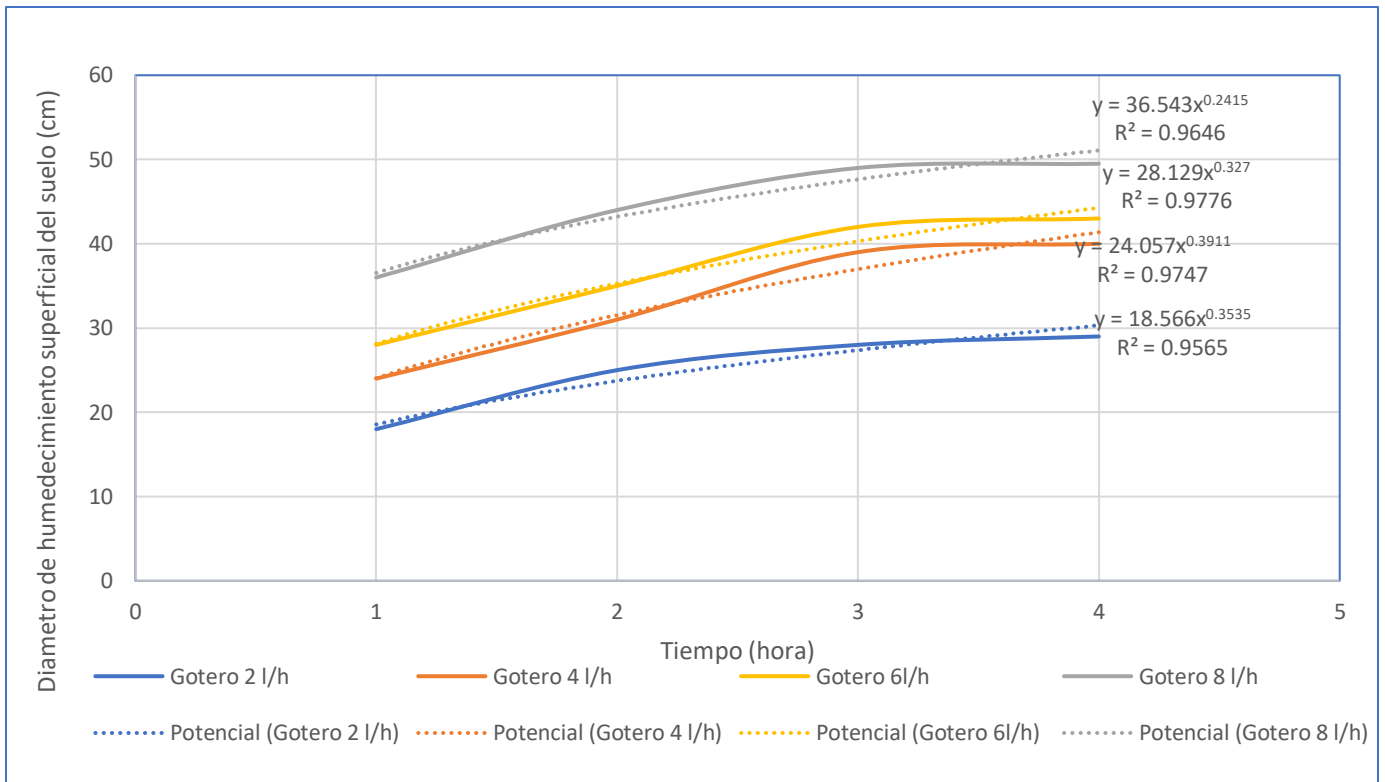


Figura 11 Crecimiento de Bulbo Húmedo

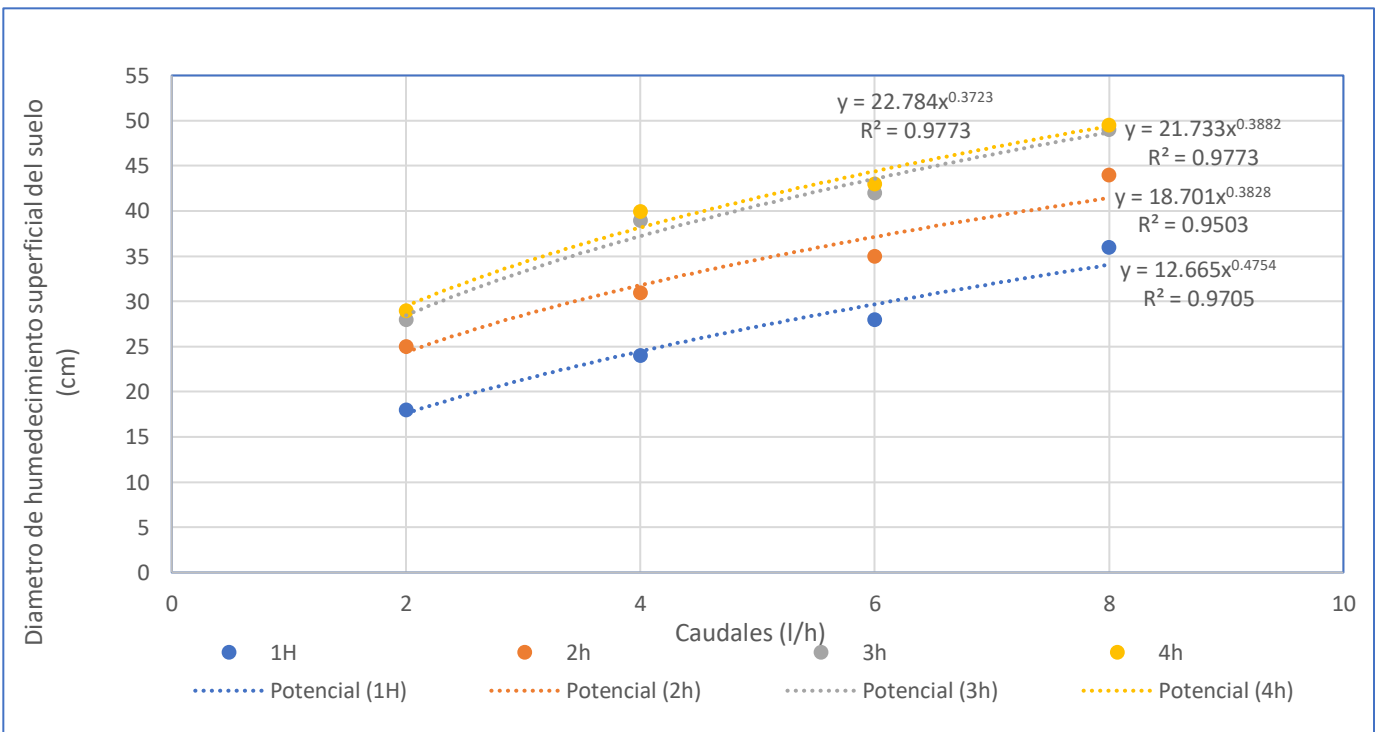


Figura 12 Relación del diámetro de humedecimiento con los caudales

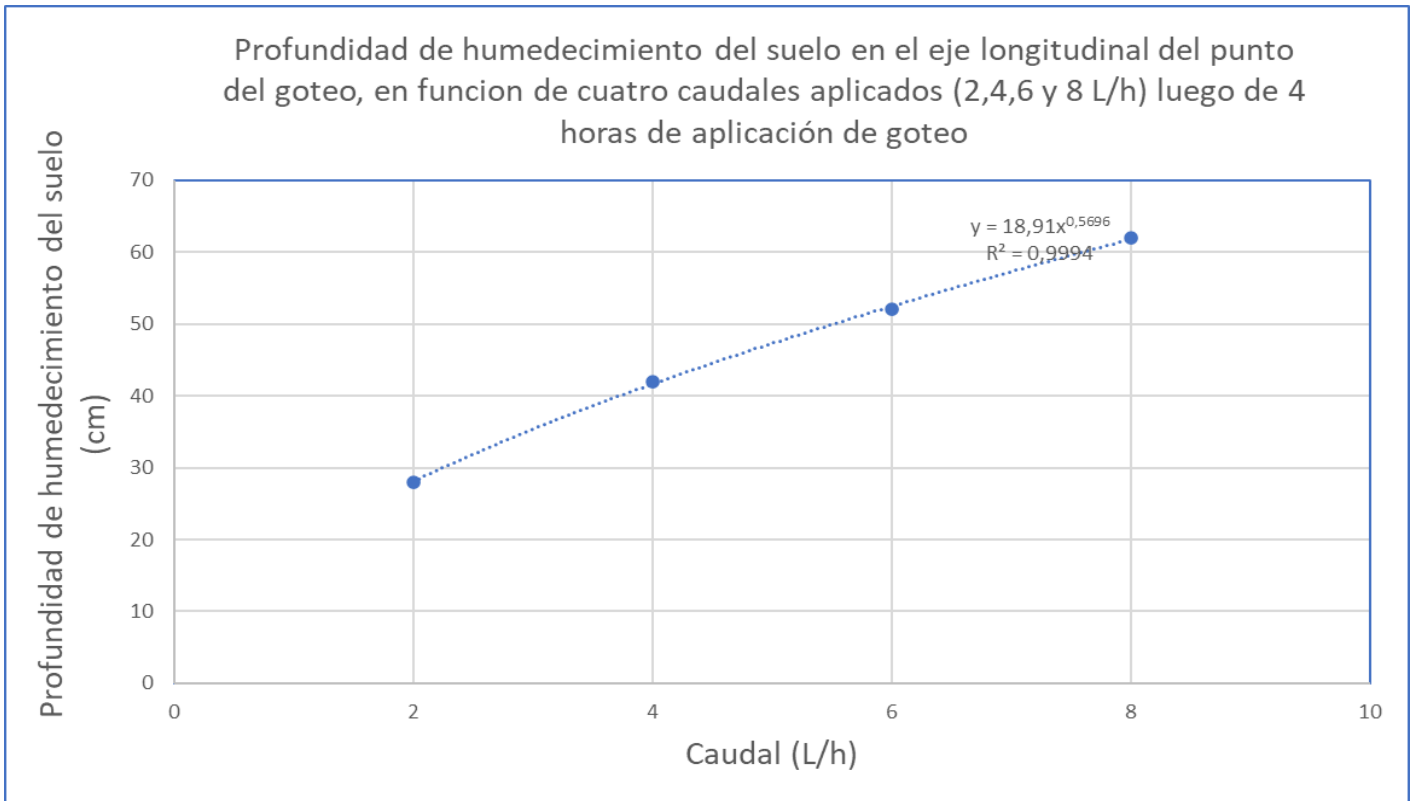


Figura 13 Relación de profundidad total con los caudales

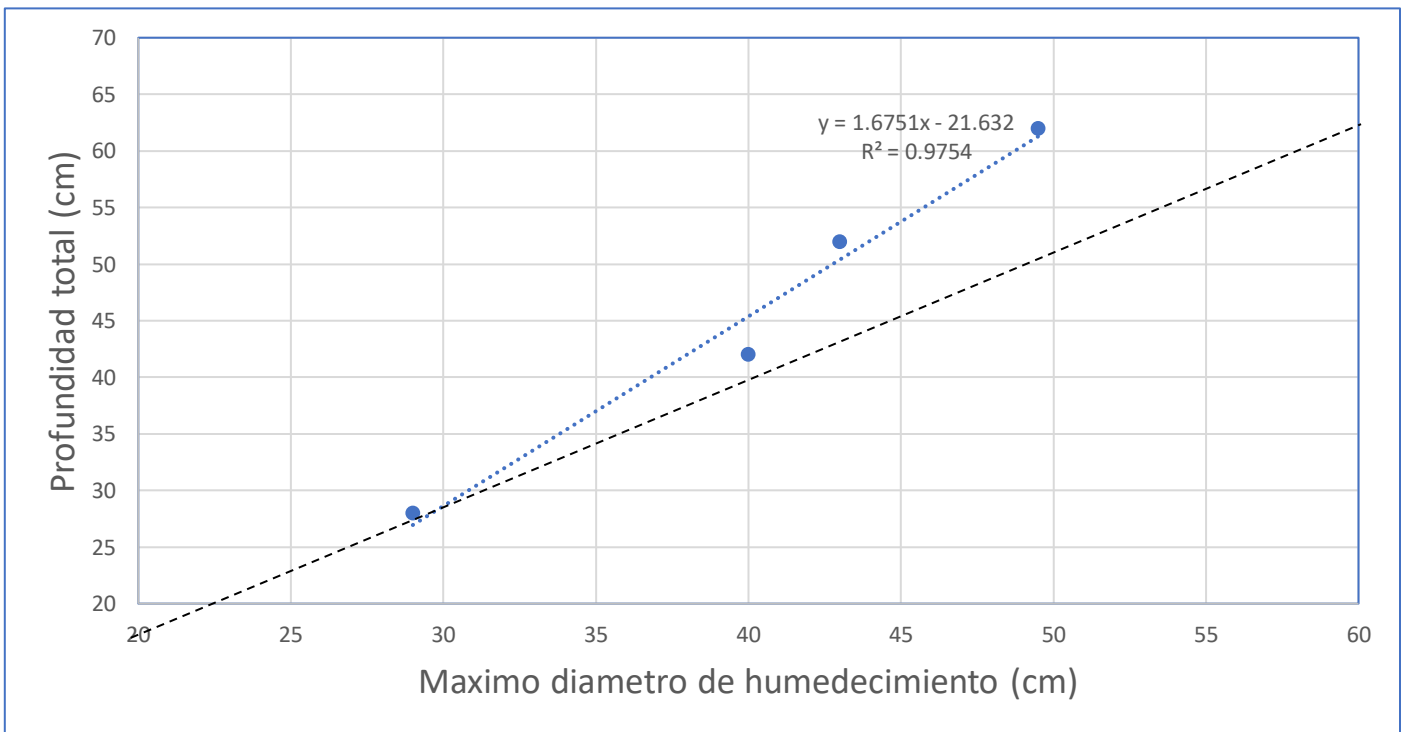


Figura 14 Relación de la profundidad total con el diámetro de humedecimiento

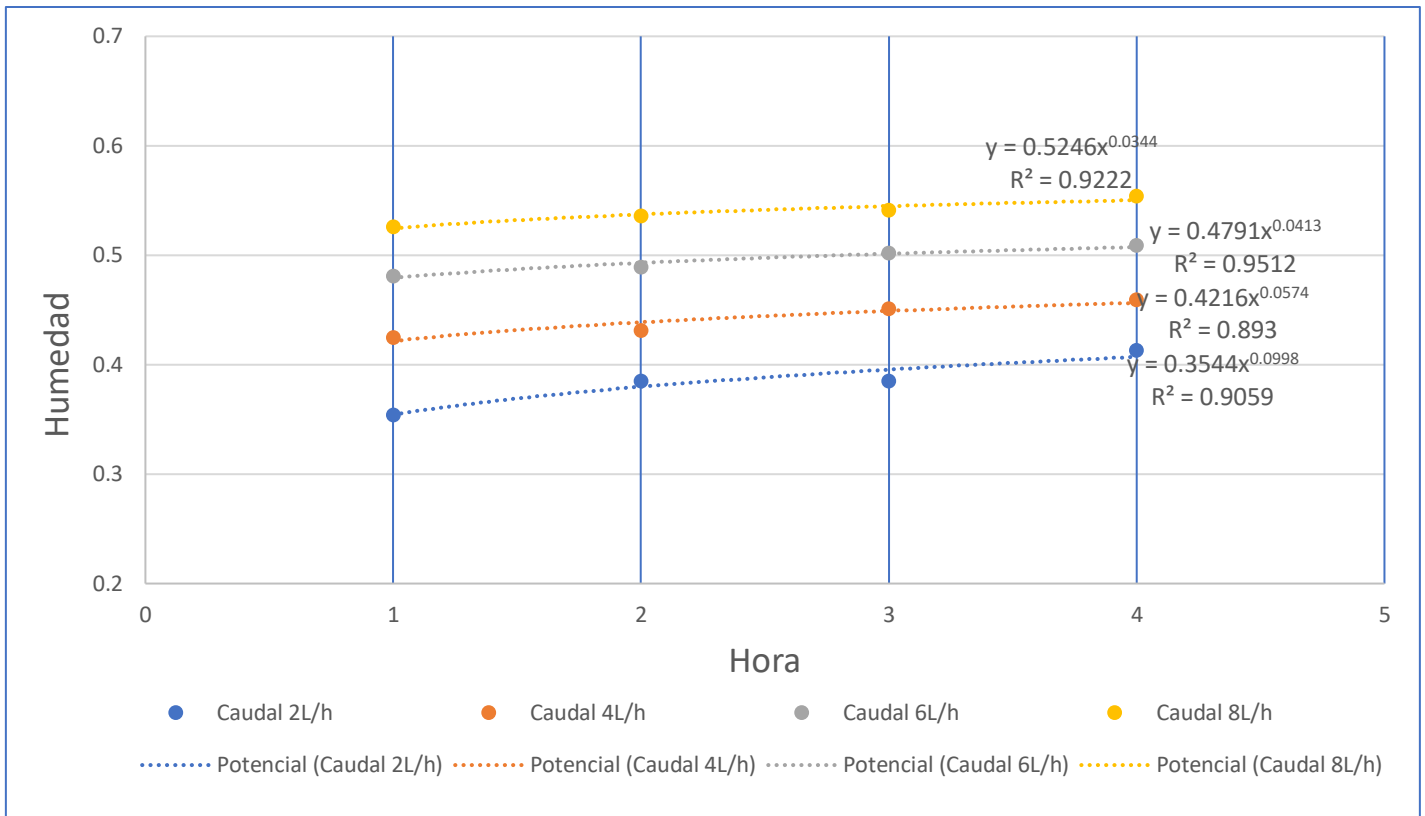


Figura 15 Relación de humedad con el tiempo

Tabla 3 Datos de crecimiento del bulbo húmedo en la tercera investigación realizada

Gotos 2 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0,356	16	27	1,00
2	0,389	24		
3	0,394	26		
4	0,399	27		
Gotos 4 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0,396	26	41	1,03
2	0,421	32		
3	0,436	39		
4	0,469	40		
Gotos 6 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0,471	30	49	1,14
2	0,485	35		
3	0,496	42		
4	0,509	43		
Gotos 8 l/h				
Tiempo (H)	Humedad (m3/m3)	Área Mojada (cm)	Profundidad (cm)	Relación
1	0,514	36	57	1,12
2	0,545	43		
3	0,568	50		
4	0,584	51		

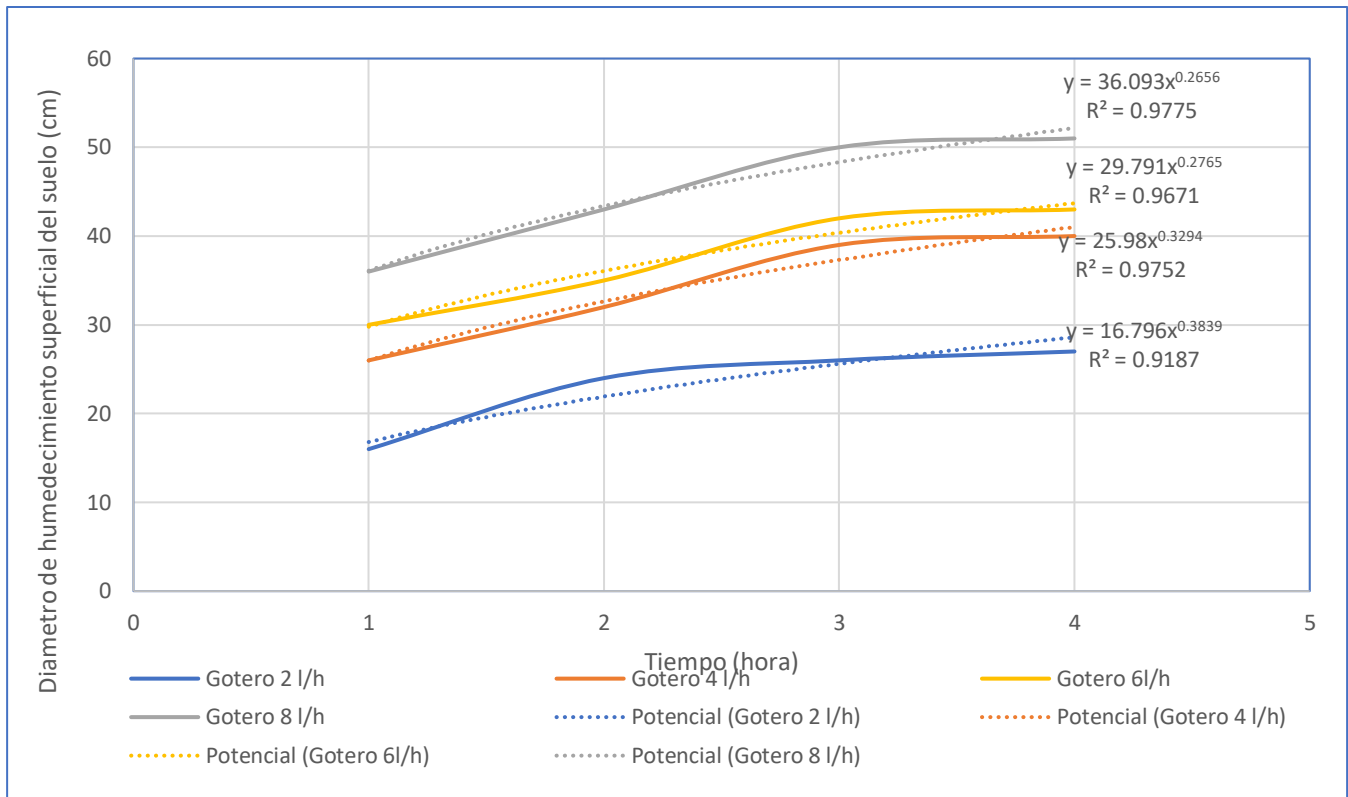


Figura 16 Crecimiento del bulbo húmedo

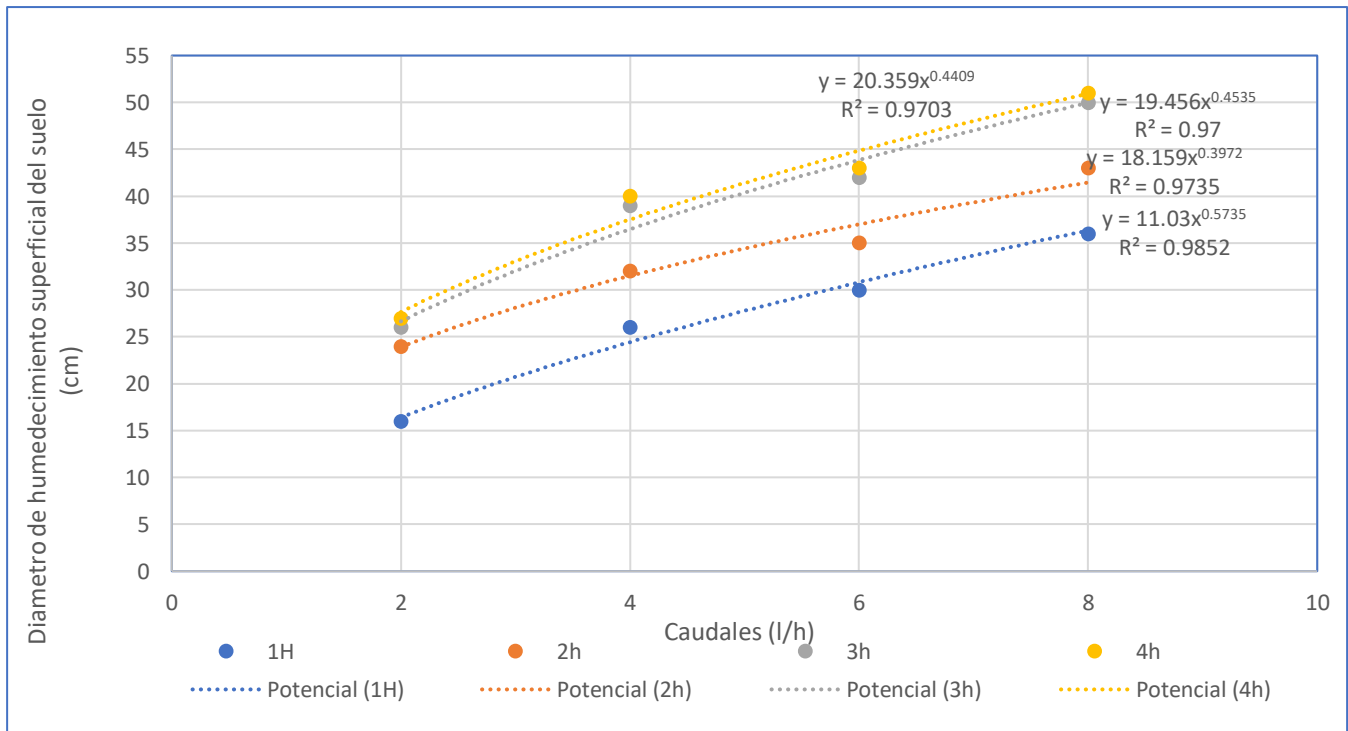


Figura 17 Relación del diámetro de humedecimiento con los caudales

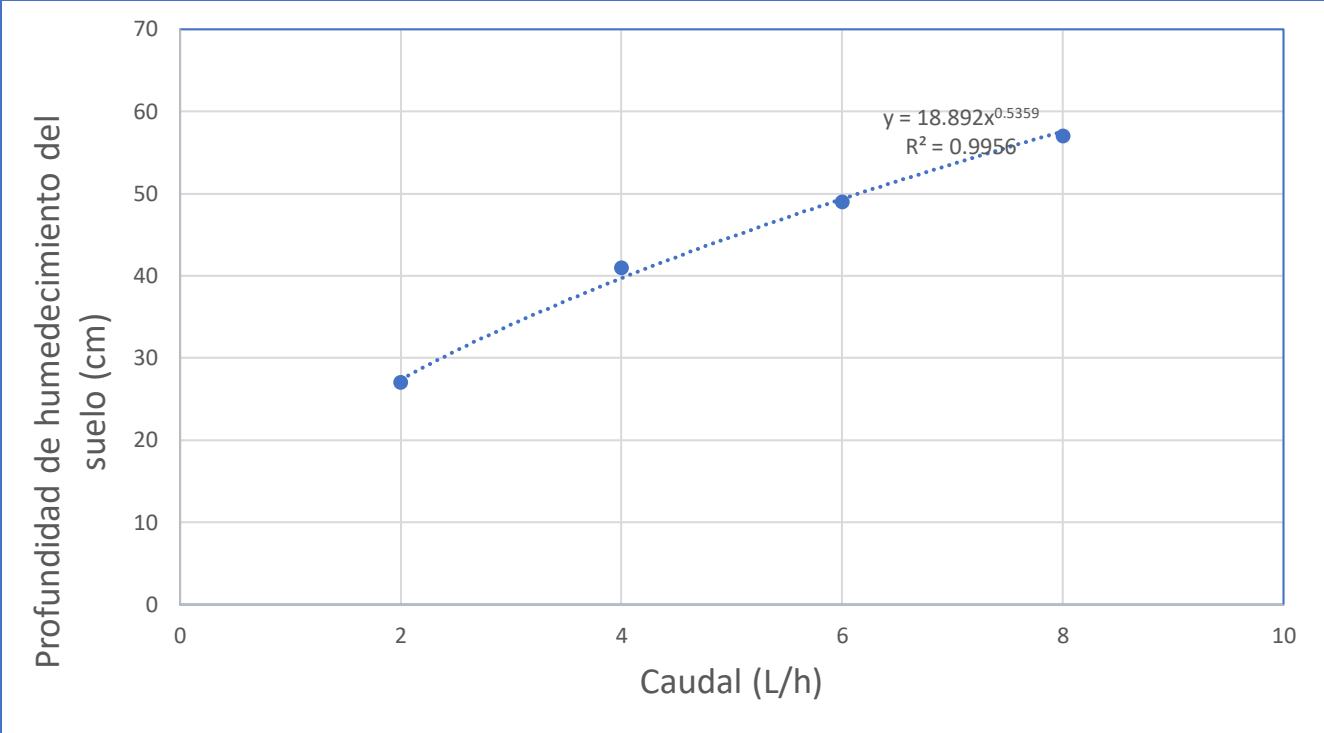


Figura 18 Relación de profundidad total con los caudales

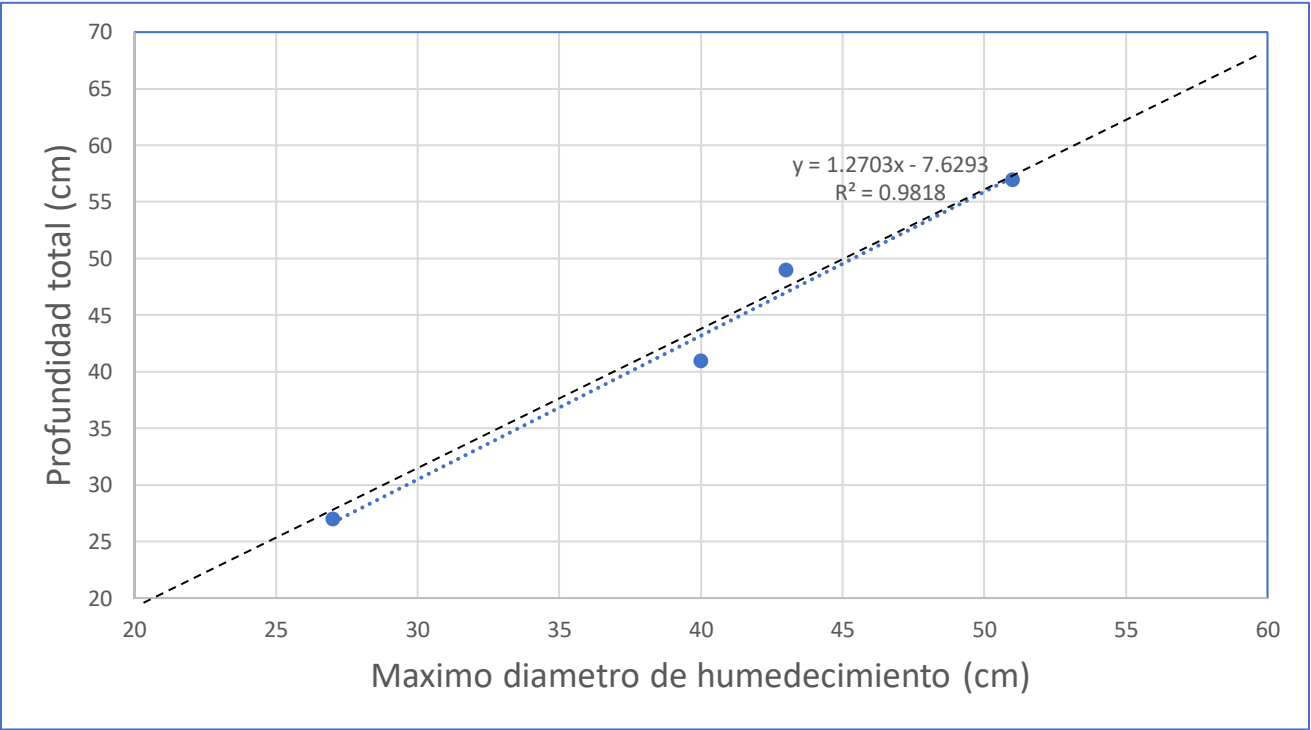


Figura 19 Relación de la profundidad total con el diámetro de humedecimiento

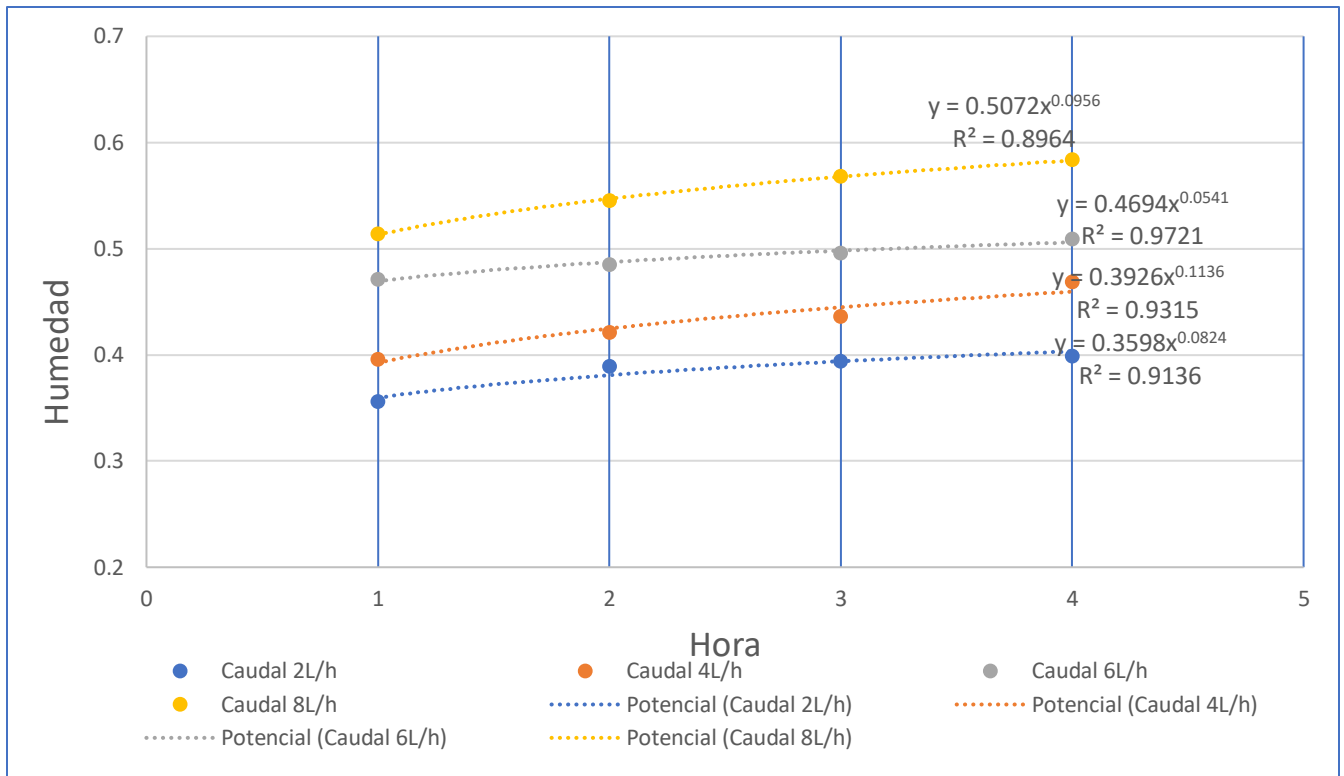


Figura 20 Relación de humedad con el tiempo



Imagen 1 Colocación de manguera de 16 mm



Imagen 2 Colocación de las válvulas



Imagen 3 Prueba de Infiltración



Imagen 4 Adaptación del suelo



Imagen 5 Reunión de reconocimiento de área



Imagen 6 Área de trabajo para investigación de bulbo húmedo

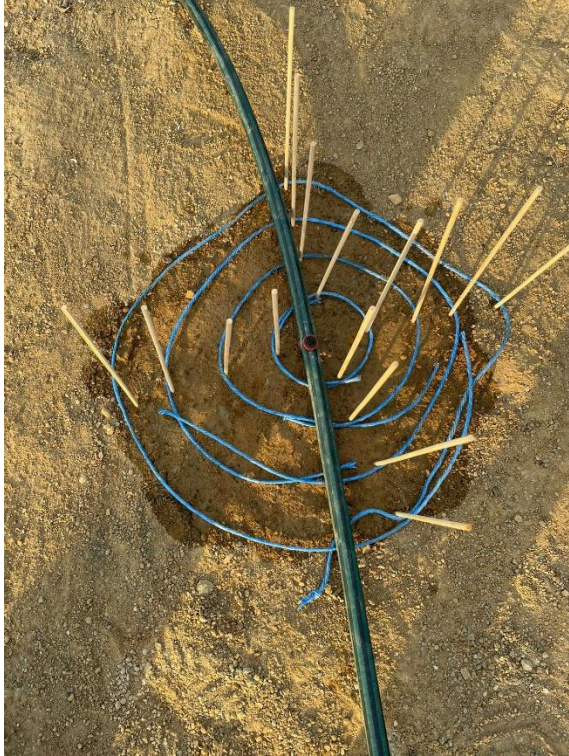


Imagen 7 Bulbo húmedo de 2 L/h



Imagen 8 Bulbo húmedo de 4 L/h



Imagen 9 Bulbo húmedo de 6 L/h



Imagen 10 Bulbo húmedo de 8 L/h