

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



PROYECTO DE TESIS:

“DETERMINACIÓN DEL BULBO HUMEDO CON GOTEROS DE
DIFERENTE CAUDAL EN DOS SUELOS, LA MOLINA –LIMA Y
VIRU-TRUJILLO.

EJECUTOR: Yissel Ticona Apaza

ASESORA: Ing. Rocío del Pilar Pastor Jáuregui

La Molina, 2013

INDICE	Pag.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
CONTENIDO	iii
LISTA DE TABLA	vii
LISTA DE FIGURA	ix
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiv
I. INTRODUCCION	
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivos generales	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
II. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Definición de riego por goteo	3
2.2 Breve historia de riego por goteo	3
2.3 Riego localizado	4
2.4 Ventajas e Inconvenientes del riego localizado	5
2.5 Componentes de sistema de riego por goteo	6
2.5.1 El cabezal del riego	7
2.5.2 Pre filtrado	7
2.5.3 Filtrado	8
2.5.4 Red de distribución	9
2.5.5 Goteros y emisores	10
2.6 Propiedades físicas del suelo.	13

2.6.1 Estructura del suelo	14
2.6.2 Temperatura del suelo	14
2.7 Bulbo húmedo	15
2.8 Porcentaje de superficie mojada	22
2.9 Coeficiente de uniformidad	23
2.10 Densidad aparente	24
2.11 Esquema del diseño agronómico.	25
 III. MATERIALES Y METODOS	
3.1 Materiales	26
3.1.1 Ubicación de los campos experimentales	26
3.1.2 Condiciones climáticas	27
3.1.3 Suelo	27
3.1.4 Fisiografía	27
3.1.5 Equipos e insumos	27
3.2 Metodología	28
3.2.1 Determinación de la textura del suelo	28
3.2.2 Determinación de la densidad aparente del suelo	29
3.2.3 Preparación del terreno	30
3.2.4 Tratamientos en estudio	30
3.2.5 Determinación del coeficiente de uniformidad del riego	32
3.2.6 Evaluación de la forma y dimensionamiento del bulbo húmedo	33
3.2.7 Diseño estadístico	36
3.2.8 Análisis estadístico	37
 IV. RESULTADOS Y DISCUSION	
4.1 Forma y dimensiones del bulbo húmedo en suelo franco	38
4.2 Forma y dimensiones del bulbo húmedo en suelo arenoso	43

4.3	Comparación de los radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco	47
4.4	Comparación de los radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo arenoso	54
4.5	Comparación de forma y dimensionamiento del bulbo húmedo según textura	62
4.6	Gráfico de resultados finales	68
4.7	Análisis estadístico de radio y profundidad según caudal y tipo de suelo	69
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	Conclusiones	72
5.2	Recomendaciones	73
VI.	BIBLIOGRAFIA	74
VII.	ANEXOS	75
Anexo 1		
1.1	Datos de la prueba de descarga de los emisores (l/h).	76
Anexo 2		
2.1	Datos de las dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo en un suelo franco.	77
2.2	Pruebas de campo con un caudal de 1.6 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.	77
2.3	Pruebas de campo con un caudal de 2.2 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.	78
2.4	Datos de las dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo en un suelo arenoso.	78
2.5	Pruebas de campo con un caudal de 1.6 l/h con una frecuencia de riego	

desde 1 hora hasta 6 horas de riego.	79
2.6 Datos de pruebas de campo con un caudal de 2.2 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.	79
2.7 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en una hora de riego.	80
2.8 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en dos horas de riego.	80
2.9 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en tres horas de riego.	81
2.10 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en cuatro horas de riego.	81
2.11 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en cinco horas de riego.	82
2.12 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en seis horas de riego.	82
2.13 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo Arenoso en una hora de riego.	83
2.14 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en dos horas de riego.	83
2.15 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en tres horas de riego.	84
2.16 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en cuatro horas de riego.	84
2.17 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en cinco horas de riego.	85
2.18 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en seis horas de riego.	85

LISTA DE TABLAS

Nº		
01	Fórmulas para determinar el diámetro mojado del bulbo en función de textura	20
02	Diámetro mojado por un emisor de 4 l/h	20
03	Aproximación del diámetro mojado y espaciamiento con emisores de 2 y 4 l/h según el tipo de suelo para tiempos de riego de 3 h.	21
04	Valores recomendados de coeficiente de uniformidad	23
05	Valores referenciales de densidad aparente según la textura del suelo.	24
06	Resultado de textura de los suelos.	29
07	Resultado de la densidad aparente.	30
08	Descripción de los tratamientos de estudio	32
09	Resultado de CU % para los tres caudales.	33
10	Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo.	38
11	Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo.	39
12	Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo.	41
13	Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo.	42
14	Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo	44
15	Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo.	45
16	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con una hora de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h	47
17	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con dos horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	48

18	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	49
19	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con cuatro horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	50
20	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con cinco horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	51
21	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con seis horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	52
22	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con una hora de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	54
23	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con dos horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	55
24	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	56
25	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h	57
26	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con cinco horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	58
27	Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con seis horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	60
28	Variación de dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando diferentes caudales y tiempos de riego.	61
29	Análisis de varianza de las dimensiones medias de dos factores profundidad y caudal del emisor del bulbo húmedo.	68
30	Análisis de varianza de las dimensiones medias dos factores radio y goteo del bulbo húmedo.	68
31	Análisis de varianza de las dimensiones medias de dos factores profundidad y caudal del emisor del bulbo húmedo.	69
32	Análisis de varianza de las dimensiones medias dos factores radio y goteo del bulbo húmedo.	69
33	Diferencia de radio – caudal en suelo arenoso	69

34	Diferencia de profundidad – caudal en suelo arenoso	70
35	Diferencia de radio – tiempo de riego en suelo franco	70
36	Diferencia de profundidad – tiempo de riego en suelo franco	70
37	Diferencia de radio – tiempo de riego en suelo arenoso	71
38	Diferencia de profundidad – tiempo de riego en suelo arenoso	71

LISTA DE FIGURAS

N°		
01	Red de distribución en una instalación de riego localizado	9
02	Relación caudal presión de emisores según régimen.	13
03	Triángulo textural.	14
04	Tamaño del bulbo húmedo en función del caudal del emisor, textura del suelo y tiempo de riego.	18
05	Ubicación de los campos experimentales.	25
06	Determinación de densidad aparente de los suelos franco y arenoso.	27
07	Preparación del terreno en la molina.	31
08	Bloque I de riego para aplicación de un caudal de 1,1 l/h.	32
09	Pruebas de campo en suelo franco para 2 horas de riego con caudal 1,1 l/h.	34
10	Perfil del suelo franco para 2 horas de riego, con caudal 1,6 l/h.	35
11	Pruebas de campo en suelo arenoso para 2 horas de riego con caudal 1,2 l/h.	35
12	Perfil del suelo arenoso para 2 horas de riego con caudal 1,6 l/h.	36
13	Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 1,1 l/h.	37
14	Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 1,6 l/h.	39
15	Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 2,2 l/h.	40

16	Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 1,1 l/h.	42
17	Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 1,6 l/h.	43
18	Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 2,2 l/h.	45
19	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en una hora de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	47
20	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en dos horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	48
21	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	49
22	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en cuatro horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	50
23	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en cinco horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	52
24	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en seis horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	53
25	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en una hora de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	54
26	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en dos horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	55
27	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	56
28	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en cuatro horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	58
29	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en cinco horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	59
30	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en seis horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.	60
31	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con una hora de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h.	62
32	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con dos horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h.	63

33	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con tres horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h.	63
34	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con cuatro horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h.	64
35	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con cinco horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h.	65
36	Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con seis horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h.	66
37	Gráfico de dimensiones del bulbo húmedo en textura franca y arenosa.	67

RESUMEN

Actualmente a nivel mundial para satisfacer la demanda de alimentos de la creciente población humana y el encarecimiento del recurso hídrico. Por esta razón se utiliza la tecnología avanzada de producción agrícola. Uno de ellos, es el riego localizado de alta frecuencia, el riego por goteo. Especialmente aplicado en cultivos en línea y de pan llevar.

Con el propósito de obtener información de los resultados de la aplicación de riego por goteo sobre el terreno del cultivo en hilera en suelo de textura franco y arenoso, con tres tipos de caudal 1.1l/s, 1.6l/s y 2.2l/s, se formuló el presente trabajo de investigación, donde se utilizó el diseño estadístico de bloques completos para 18 tratamientos y 6 repeticiones.

Para realizar el estudio, se adecuaron tres bloques de riego de 7m x 8m. Cada bloque corresponde a seis tratamiento, se instalaron seis laterales en cada bloque de riego separados 0.8m para cada tipo de suelo.

Mediante pruebas de campo, se evaluó la forma y dimensión del bulbo húmedo generado por el flujo de agua de un gotero autocompensada de 1.1 l/h, 1.6 l/h y 2.2l/h. Con tiempos de aplicación de riego de 1,2,3,4,5 y 6 horas sobre el terreno de prueba.

Los resultados fueron:

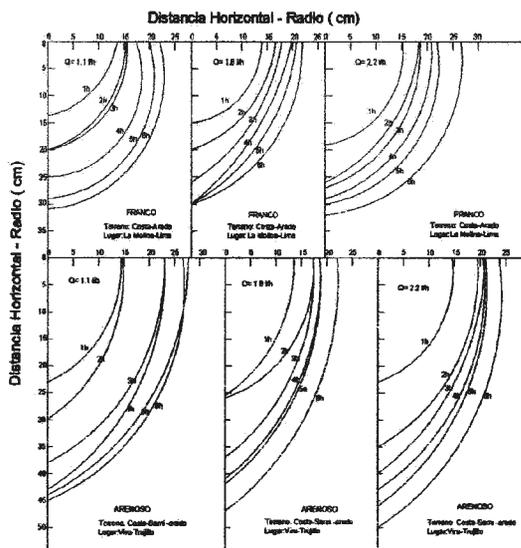
De acuerdo a los datos registrados en las pruebas de campo, la forma geométrica que más se aproxima y describe el bulbo húmedo en el perfil del suelo es el de un elipsoide truncado, las dimensiones y características son:

T1 (caudal 1,1l/h - 1 hora)	13,7	14,5	16,0	23,0
T7 (caudal 1,6l/h - 1 hora)	13,9	13,5	15,0	25,5
T13 (caudal 2,2l/h - 1 hora)	15,2	14,5	19,0	23,0
T2 (caudal 1,1l/h - 2 hora)	15,4	14,8	20,0	30,0
T8 (caudal 1,6l/h - 2 hora)	16,6	17,3	20,0	26,0
T14 (caudal 2,2l/h - 2 hora)	18,5	19,5	26,0	35,0
T3 (caudal 1,1l/h - 3 hora)	15,6	23,0	20,0	38,0
T9 (caudal 1,6l/h - 3 hora)	17,8	17,3	26,0	37,0
T15 (caudal 2,2l/h - 3 hora)	18,6	20,9	27,0	40,0
T4 (caudal 1,1l/h - 4 hora)	17,5	23,0	25,0	43,0
T10 (caudal 1,6l/h - 4 hora)	19,8	18,6	30,0	41,0
T16 (caudal 2,2l/h - 4 hora)	20,9	20,6	29,0	43,0
T5 (caudal 1,1l/h - 5 hora)	20,0	27,7	29,0	44,0
T11 (caudal 1,6l/h - 5 hora)	20,8	18,6	30,0	42,0
T17 (caudal 2,2l/h - 5 hora)	22,0	21,0	30,0	46,0
T6 (caudal 1,1l/h - 6 hora)	22,1	26,6	31,0	45,0
T12 (caudal 1,6l/h - 6 hora)	21,9	22,0	30,0	47,0
T18 (caudal 2,3l/h - 6 hora)	25,0	23,7	32,0	50,0

Este trabajo permite establecer el espacio entre goteros, así como la selección de emisores y el manejo eficiente del agua.

De esta manera la investigación ayuda a decidir el diseño agronómico y programación del sistema de riego.

Grafica de resultados:



SUMMARY

Currently to meet global food demand of the growing human population and rising water resource. For this reason advanced agricultural production technology is used. One of them is the drip irrigation high frequency drip irrigation . Especially applied to row crops and bring bread .

In order to get information of the results of the application of drip irrigation and row crop in sandy soil frank and texture, with three types of flow 1.1l / s , 1.6l/sy 2.2l / s , the present investigation , where the statistical complete block design for 18 treatments and 6 replications was used was formulated.

For the study , three blocks of 7m x 8m.Cada irrigation block corresponds to six treatment were adapted , six side were installed in each irrigation block spaced 0.8m for each soil type.

Field trials , the shape and size of the wet bulb generated by the flow of water from a dropper autocompesada 1.1 l / h was evaluated , 1.6 l / h 2.2l / h . With irrigation application times of 1,2,3,4,5 and 6 hours in the field test .

The results were:

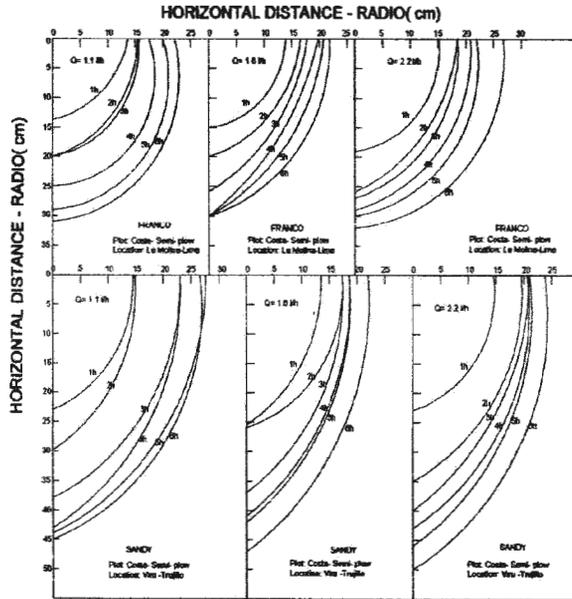
According to data recorded in the field tests , the geometric shape that most closely describes the wet bulb and the soil profile is that of a truncated ellipsoid dimensions and characteristics are:

T1 (flow rate 1,1l/h - 1 hours)	13,7	14,5	16,0	23,0
T7 (flow rate 1,6l/h - 1 hours)	13,9	13,5	15,0	25,5
T13 (flow rate 2,2l/h - 1 hours)	15,2	14,5	19,0	23,0
T2 (flow rate 1,1l/h - 2 hours)	15,4	14,8	20,0	30,0
T8 (flow rate 1,6l/h - 2 hours)	16,6	17,3	20,0	26,0
T14 (flow rate 1 2,2l/h - 2 hours)	18,5	19,5	26,0	35,0
T3 (flow rate 1,1l/h - 3 hours)	15,6	23,0	20,0	38,0
T9 (flow rate 1,6l/h - 3 hours)	17,8	17,3	26,0	37,0
T15 (flow rate 2,2l/h - 3 hours)	18,6	20,9	27,0	40,0
T4 (flow rate 1,1l/h - 4 hours)	17,5	23,0	25,0	43,0
T10 (flow rate 1,6l/h - 4 hours)	19,8	18,6	30,0	41,0
T16 (flow rate 2,2l/h - 4 hours)	20,9	20,6	29,0	43,0
T5 (flow rate 1,1l/h - 5 hours)	20,0	27,7	29,0	44,0
T11 (caudal 1,6l/h - 5 hora)	20,8	18,6	30,0	42,0
T17 (caudal 2,2l/h - 5 hora)	22,0	21,0	30,0	46,0
T6 (caudal 1,1l/h - 6 hora)	22,1	26,6	31,0	45,0
T12 (caudal 1,6l/h - 6 hora)	21,9	22,0	30,0	47,0
T18 (caudal 2,3l/h - 6 hora)	25,0	23,7	32,0	50,0

This work sets the spacing between drippers , also the selection of issuers and efficient water management.

Thus, the research helps determine the agronomic design and programming of the irrigation system .

Graph of results :



DETERMINACION DEL BULBO HUMEDO, UTILIZANDO GOTEROS DE DIFERENTE CAUDAL, EN DOS SUELOS, LA MOLINA-LIMA Y VIRU-TRUJILLO.

I. INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

El riego localizado consiste en la aplicación de agua al suelo utilizando diferentes tipos de emisores de manera que sólo se moje una parte de éste, la más próxima a las plantas.

En el riego por goteo, el agua se aplica mediante dispositivos que la entregan gota a gota o mediante flujo continuo, con un caudal inferior a 16 l/h por punto de emisión. (Hidráulica y Riegos, tutorial 02-2007). Este sistema permite un importante ahorro de agua con respecto a los demás métodos de riego, aplicándola con una intensidad reducida y alta frecuencia. El agua aplicada por cada emisor moja un volumen de suelo que se denomina bulbo húmedo.

El diseño de un sistema de riego por goteo comienza con la determinación del caudal y número de emisores necesarios para mojar un determinado volumen de suelo, dato que se obtiene a partir de la estimación de la forma y dimensiones del bulbo húmedo formado a partir de un emisor y que depende ante todo de las propiedades y características del perfil físico, del volumen y caudal de agua aplicado por el emisor y de la topografía del terreno. De lo anterior se desprende que el patrón de mojado depende de una serie de factores, lo cual dificulta las estimaciones teóricas.

Es importante para el diseñador de sistemas de riego localizado el poder predecir, cuando menos con una aproximación razonable, las características de la zona mojada, en particular las dimensiones del bulbo húmedo generado dentro del sistema radical del cultivo.

Las estimaciones del bulbo húmedo pueden hacerse mediante tablas, uso de modelos teóricos o mediante mediciones *in situ*. El empleo de fórmulas presenta gran cantidad de dificultades y al igual que su uso, aún está muy lejos de ser de aplicación práctica. Diversos autores han propuesto tablas que relacionan la extensión del bulbo húmedo

con algunos de los factores que intervienen, pero el uso de estas tablas, aunque sea el método más frecuente utilizado a nivel de diseño, adolece siempre de un cierto grado de inexactitud, por lo que debe emplearse con mucha prudencia. Las pruebas de campo son el mejor procedimiento para conocer el área mojada por un emisor, aunque su uso no es frecuente a nivel de diseño. (Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias (2012).

Según Razuri (1988), cualquier método científicamente razonable puede ser utilizado para la estimación del patrón de mojado y generalmente se hace a través de las tablas o de pruebas de campo.

Una manera de contribuir con la agricultura en el Perú, que cada día está creciendo debido entre otras a la mejora en los sistemas de riego, es obtener información del comportamiento del bulbo húmedo en diferentes suelos, motivo por el cual se proyectó el presente trabajo de investigación, determinando la forma y dimensionamiento del bulbo húmedo, como resultado de la aplicación del riego por goteo sobre dos suelos típicos de la costa peruana (franco y arenoso), información necesaria para realizar el diseño agronómico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Determinación del bulbo húmedo del riego por goteo, en dos suelos típicos de la costa peruana.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la forma y dimensionamiento del bulbo húmedo de un riego por goteo en suelo franco con tres tipos de caudales y seis volúmenes diferentes.
- Evaluar la forma y dimensionamiento del bulbo húmedo de un riego por goteo en suelo arenoso con tres tipos de caudales y seis volúmenes diferentes.
- Aportar información para un correcto diseño agronómico del sistema de riego.

II. REVISION LITERARIA

2.1 DEFINICIÓN DE RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo, igualmente conocido bajo el nombre de “riego gota a gota”, es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y fertilizantes.

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros). Claude H. Pair (1983),

2.2 BREVE HISTORIA DEL RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo ha sido utilizado desde tiempos antiguos, cuando se enterraban recipientes de arcilla llenos de agua. Ese sistema permitía que el agua se filtrara lentamente en el suelo.

Claude H. Pair (1983), indica que el sistema de riego por goteo como se conoce en la actualidad, comenzó a desarrollarse en Afganistán, en 1866. Algunos investigadores comenzaron a usar tubos de arcilla para crear sistemas combinados de irrigación y drenaje. En la década de 1920, se introdujeron en Alemania las tuberías perforadas y en 1934, O.E. Nobey probó la irrigación a través de mallas de lona porosa. Luego de la Segunda Guerra Mundial, la aparición de los plásticos modernos permitió un mayor avance al riego por goteo. En Europa y Estados Unidos, comenzaron a usarse tuberías de plástico y varias clases de emisores o goteros en el riego en invernaderos.

Netafim (2008), señala que la tecnología moderna de este sistema de riego fue inventada en Israel por Simcha Blass y su hijo Yeshayahu. El agua pasaba por conductos más grandes y largos, para evitar los bloqueos constantes que se producían con los sistemas de pequeños agujeros. Usaron la velocidad para aflojar el paso del agua dentro de emisores plásticos. El sistema fue un éxito y en la década de 1960 estuvo esparcido en varias partes del mundo. Con el tiempo, se han realizado numerosas mejoras para disminuir la frecuencia de goteo y disminuir la tendencia a obstruirse.

El riego por goteo ha sido un importante avance al lograr aportar la humedad constante hacia las raíces gota por gota, permitiendo el desarrollo óptimo de las plantas. El agua

es conducida desde el abastecimiento, a través de sistemas de tuberías, y mediante los emisores, se libera el agua gota a gota, justo en las raíces de cada planta. El agua provoca una zona específica de humedad, por lo que sólo se moja el área del suelo utilizado por la planta para el desarrollo de sus raíces. Las raíces, entonces, sólo se expanden dentro de esa zona específica, denominada “bulbo húmedo”, posibilitando un mayor provecho de las tierras para el cultivo.

2.3 RIEGO LOCALIZADO

Osorio (1996) define el riego localizado como la aplicación de agua al suelo en pequeñas cantidades con alta frecuencia, lo que evita grandes fluctuaciones de humedad y mantiene niveles de agua relativamente constantes; además, la continua aplicación hídrica en pequeñas dosis establece condiciones óptimas para ser extraída por las plantas. Los métodos de riego localizado permiten suministrar agua y fertilizantes químicos, con lo que se controla, al menos en forma parcial, el patrón de distribución del agua en el suelo. Además, permite generar una zona radical con características físicas, químicas y biológicas que conducen a mayores rendimientos.

Sistemas de riego por goteo (2012). Con respecto a otros sistemas de riego, lo que diferencia al riego localizado es que:

- Sólo se moja una fracción de suelo.
- Se utilizan pequeños caudales a baja presión.
- Son menores las pérdidas de agua produciéndose un importante ahorro.
- El agua se aplica con alta frecuencia.

Los tipos de sistemas de riego localizado son:

a. Riego por goteo

Es el sistema de riego localizado más popular. El agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los goteros, en los que se pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota.

b. Riego por tuberías emisoras

Se caracteriza por la instalación de tuberías emisoras sobre la superficie del suelo creando una banda continua de suelo humedecido y no en puntos localizados como en el

riego por goteo. Su uso más frecuente es en cultivos en línea con muy poca distancia entre plantas. Las más utilizadas son las tuberías goteadoras y las tuberías exudantes.

c. Riego por microaspersión y microdifusión

En el riego por microaspersión, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor. Está indicado tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación. Según Rafael Fernández Gómez (2010).

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL RIEGO LOCALIZADO

2.4.1 Ventajas del riego localizado

Medina (1979), Gómez (1979), Manifiestan que este sistema ofrece muchas ventajas que se anuncian a continuación:

- Continua saturación de agua, es decir que el suelo se mantenga potencialmente a capacidad de campo.
- Los riegos se realizan a diario con presencia de luz, tratando de aprovechar la mayor capacidad fotosintética de las plantas.
- Frecuencia de los riegos. El ritmo de crecimiento de los cultivos, cuando la demanda de agua por aquellos es máxima, se aumenta la frecuencia de los riegos o el tiempo de riego.
- Las raíces de las plantas en este tipo de riego se desarrollan en forma superficial. Encontrándose el mayor porcentaje en la zona del bulbo húmedo; en esta zona las raíces son biológicamente más activas y con mayor capacidad de absorción.
- Existe la posibilidad de incorporar fertirrigación, adecuando el suministro de fertilizantes de acuerdo a las necesidades del cultivo en sus distintas etapas.
- Con el sistema de goteo es posible un mayor ahorro de agua respecto de otros sistemas, tanto en la forma de almacenaje como de conducción. Se estima un ahorro de un tercio del consumo con relación a los otros sistemas, siendo el rendimiento por volumen de agua gastada, el doble comparado por ejemplo con el de aspersión.

- Se produce incrementos en la producción, utilizando dosis adecuadas de agua y fertilizantes; obteniéndose un óptimo crecimiento, floración y cuaje de frutos.
- Es posible automatizar el sistema. Con la utilización de sensores de humedad, tales como tensiómetros ubicados cerca de los goteros y conectados al sistema de distribución de agua.
- Es posible la utilización de agua con elevados tenores de salinidad, debido a que el suelo se encuentra constantemente a capacidad de campo, y la mayor concentración de sales se halla fuera de la zona de absorción radicular.

2.4.2 Inconvenientes del riego localizado

Entre los inconvenientes de este sistema de riego se tienen:

- Alto costo de instalación.
- Alto costo de mantenimiento.
- Posibilidad de salinización del suelo en zonas áridas por un mal manejo.
- Necesidad de mayor preparación técnica del agricultor.
- Necesidad de fertilizantes totalmente solubles en agua.

2.5 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Una instalación de riego localizado consta básicamente de tres tipos de componentes: el cabezal de riego, la red de distribución de agua y los emisores.

El agua de riego debe entrar en el sistema dotada de la presión necesaria para hacer funcionar correctamente la instalación. El agua entra al cabezal, donde hay elementos de filtrado y tratan el agua, luego pasa a la red de distribución y de ahí llega a los emisores. En los sistemas de riego localizado existen niveles de tecnificación y tamaños muy variables, atendiendo a la inversión que pueda soportar el cultivo. Es importante destacar que el uso de materiales fiables y de buena calidad siempre son rentables a largo plazo, reduciendo el riesgo que la instalación no funcione según esté diseñada. Con respecto a los componentes del sistema: Rafael Fernández Gómez (2010). Está compuesta por las siguientes unidades:

2.5.1 Cabezal del riego

Se entiende por cabezal de riego o centro de control al conjunto de equipos y elementos de riego utilizados para darle energía al agua, filtrarla, fertilizar y controlar presiones y caudales.

La motobomba adiciona energía al agua para que pueda moverse por las tuberías, desde la fuente de agua hasta los emisores, permitiéndole a estos un funcionamiento tal que responda a las características de fabricación.

Para riego localizado, generalmente se utilizan bombas de tipo centrífuga horizontal, con impulsor vertical conectado a un eje horizontal.

2.5.2 Pre filtrado

Para evitar las obturaciones se colocan una serie de filtros en el cabezal. Si el agua de riego viene cargada con gran cantidad de sólidos en suspensión, hay que realizar un pre filtrado a la entrada del cabezal. Para realizar el pre filtrado se utilizan uno o mas hidrociclones, pero si el agua llega sin presión al cabezal entonces se utilizan los depósitos de decantación.

a. Decantadores

Según Pizarro (1996), los decantadores son una solución sencilla y económica para la eliminación de sólidos en suspensión (limos, arena y arcilla) y de algunos precipitados químicos como hierro (problema más frecuente cuando el agua es de origen subterráneo).

La sedimentación de las partículas más pesadas que el agua se produce por cuatro procedimientos diferentes, aunque ocurren simultáneamente varios de ellos:

Sedimentación libre es la que tiene lugar cuando la concentración de sólidos es baja.

Las partículas bastante diluidas, flocculan durante el proceso de sedimentación, aumentando el tamaño y de velocidad de sedimentación.

Zona de sedimentación, las partículas se encuentran en concentración indeterminada y las fuerzas de atracción entre ellas retrasan la formación de depósitos.

Sedimentación por compresión, la concentración de partículas es tan alta que se forma una estructura que solo se deposita por la compresión originada por el peso de las nuevas partículas.

b. Hidrociclón

El hidrociclón es un aparato sin elementos móviles, que permite eliminar las partículas de densidad superior a 1,5 y tamaños mayores de 74 micras (Pizarro, 1996)

2.5.3 Filtrado

a. Filtro de arena

Consiste en tanques metálicos o de plástico reforzado, capaces de resistir las altas presiones de la red, rellenos de arena o grava (granito o sílice) tamizada de un determinado tamaño. El filtrado se produce cuando el agua circula por los poros que quedan entre las partículas de arena que componen el filtro, por lo tanto, la retención de impurezas se realiza en profundidad y en superficie. Este filtrado resulta de las siguientes acciones:

Tamizado: fenómeno superficial que sólo puede retener partículas de tamaño superior al tamaño de los poros del filtro.

Sedimentación: proceso que se produce en el espacio poroso, debido principalmente a la baja velocidad de circulación del agua, que en RLAF es del orden de los 60 m/h.

Adhesión y cohesión: retención de partículas mucho menores que el tamaño de los poros a los granos de arena, por las fuerzas de atracción de origen eléctrico, que se crean al entrar en contacto ambas partículas.

b. Filtros de malla

Normalmente se sitúan en el cabezal, inmediatamente después del tanque fertilizante. A diferencia de los filtros de grava, que trabajan por superficie y profundidad, los filtros de malla sólo lo hacen por superficie, por lo que pueden retener menos cantidad de partículas sólidas y se colmatan con mayor rapidez.

Este tipo de filtro está compuesto por una serie de elementos que varían según las características de fabricación de las distintas empresas, no obstante, todos presentan

como componentes básicos: cuerpo, tapa de cierre, cartucho (con la malla adentro o afuera) y entrada y salida del agua.

Las mallas pueden ser de acero inoxidable o de plástico (poliéster o nylon), la diferencia corresponde a que, en mallas de igual número de orificios por pulgada lineal (mesh), los orificios de las mallas de acero son de mayor tamaño que en las de plástico.

c. Filtro de anilla

Corresponde a la nueva generación de filtros, los cuales se caracterizan por su elemento filtrante, que es un disco ranurado superpuesto uno sobre otro a presión. Estos discos fabricados de polipropileno son de alta durabilidad y con capacidad de soportar altas presiones y las vibraciones producidas por el golpe de ariete.

Estos filtros tienen una capacidad de filtrado mayor a los filtros de malla, que fluctúa entre los 75 y 150 mesh, con otra positiva característica que es la menor pérdida de carga en comparación con un filtro de malla.

2.5.4 Red de distribución

En la *Figura N° 01* se muestra una red típica de distribución de una instalación de riego localizado, la cual está formada por las tuberías que llevan el agua filtrada y tratada desde el cabezal y los elementos singulares o piezas para adaptar la red de tuberías a la forma o configuración de la parcela a regar.

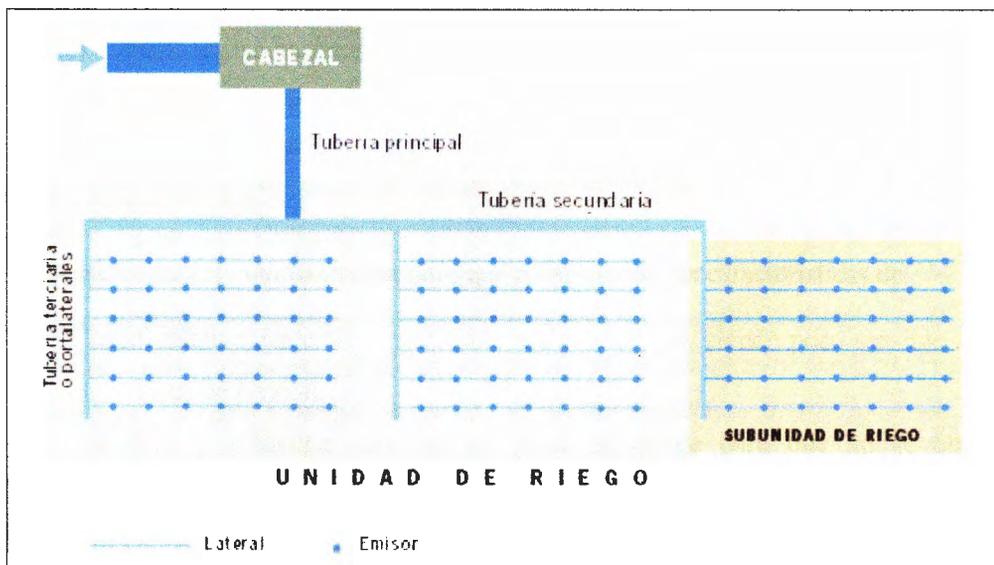


Figura N° 01: Red de distribución en una instalación de riego localizado

Dependiendo de la categoría de la tubería, ésta recibe un nombre. La tubería que parte del cabezal se denomina principal. El área a regar se divide en unidades de riego según determinados criterios, siendo la tubería que abastece cada unidad de riego la denominada secundaria.

Las tuberías denominadas laterales están abastecidas por una tubería terciaria y es donde se encuentran colocados los emisores de riego localizado. La superficie regada por cada terciaria se llama subunidad de riego.

La red de distribución es la encargada de conducir el agua desde el cabezal a las plantas y está compuesta por tuberías que generalmente son de polivinilo de carbono (PVC). La tubería de PVC debe ir bajo tierra para evitar que la luz la destruya (cristalización), en tanto, en aquellas situaciones en que se deban dejar expuestas a la luz, deben pintarse con látex blanco, para evitar que se cristalicen. En lugares donde no se puedan realizar zanjas lo suficientemente rectas para instalar este tipo de tubería, debe reemplazarse por polietileno.

Las líneas emisoras o laterales, son de polietileno y generalmente se colocan sobre el terreno, pudiéndose colocar enterradas bajo algunas situaciones.

2.5.5 Goteros o emisores

Ferreya, Selles, Pimstein (1997). Emisores son los elementos de la red que producen y controlan la salida de agua desde los laterales. Lo más usual es que los emisores estén situados a cierta distancia unos de otros, por lo que la salida del agua se produce de manera discreta a lo largo del lateral de riego, formando los bulbos húmedos. Sin embargo, el agua también puede aplicarse de forma continua, creándose una banda humedecida en el suelo.

Para seleccionar los goteros es necesario que cumplan con las características de:

- Caudal relativamente bajo, pero uniforme y constante, siendo poco sensible a las variaciones de presión.
- Diámetro y velocidad de paso de agua, suficiente para que no se obture fácilmente.
- Fabricación robusta y poco costosa.
- Buena uniformidad de fabricación.

- Resistencia a la agresividad química y ambiental.
- Estabilidad de la relación caudal - presión a lo largo de su vida.
- Poca sensibilidad a los cambios de temperaturas.
- Reducida pérdida de carga en el sistema de conexión.

La gran variedad de emisores que existen en el mercado ha sido objetivo de diversas clasificaciones atendiendo a sus características hidráulicas, riesgo de obturaciones, forma de inserción en los laterales. etc.

Los goteros son dispositivos diseñados para distribuir el agua sobre el suelo descargándola, gota a gota o con flujo continuo, en la proximidad de la zona radicular del cultivo. Según Medina (1988), sus dos principales características son:

- Caudal pequeño, constante y poco sensible a las variaciones de presión.
- Orificio suficientemente grande para evitar obstrucciones y colmatado.

En el mercado existe una amplia gama de goteros que se fabrican, los cuales se han clasificado para servir de orientación acorde con la situación que se presente. López (1992) indica que se pueden agrupar en función de su diseño y acabado:

- ✓ Goteros sellados con dos o más piezas acopladas en fábrica que no pueden separarse si no es provocando su rotura. Cuando se obturan deben reemplazarse.
- ✓ Goteros desmontables de dos o más piezas que pueden separarse para proceder a su limpieza manual.
- ✓ Goteros interlínea de una sola pieza que se insertan dentro de la tubería utilizando parte de esta como pieza exterior.
- ✓ Goteros integrados que se sitúan en el interior de las tuberías, en el proceso de fabricación, sin que exista ningún tipo de acoples o juntas.

Según la configuración de los conductos de paso de agua, pueden encontrarse:

- ❖ Microtubos: tubo de PE de diámetro entre 0,6 y 2 mm, de longitud variable. Emisores de régimen laminar con alta sensibilidad a temperatura y presión y mayor riesgo a las obturaciones. Su costo es menor y se pueden uniformizar los caudales cortando los microtubos a la longitud que la práctica demuestre como adecuada.

- ❖ **Goteros helicoidales:** modificaciones de los microtubos, enrollados alrededor de un cilindro y haciendo que la trayectoria del agua sea helicoidal y el régimen hidráulico se aleja de la condición laminar.
- ❖ **Goteros de laberinto:** el agua circula de forma más tortuosa, en régimen turbulento, menos sensibles a temperatura, presión y obturaciones. Pueden ser interlínea y sobre línea.
- ❖ **Goteros de orificio:** goteros sobre línea en los que el agua sale al exterior a través de un orificio de pequeño diámetro donde se disipa la presión disponible. El principal problema son las obturaciones, pues el orificio de salida es muy pequeño.
- ❖ **Goteros tipo vortex:** estos goteros tienen una cámara circular en donde se produce un flujo vertical. Este movimiento se consigue al entrar el agua tangencialmente a la pared circular de la cámara, produciéndose una importante pérdida de carga.
- ❖ **Goteros autocompensantes:** son de flujos turbulento o transitorio en los que se intenta obtener un caudal constante independiente de la presión. La autorregulación se consigue normalmente mediante una pieza móvil y flexible de caucho que se deforma bajo el efecto de la presión, disminuyendo la sección de paso del agua y limitando así el caudal. La autocompensación sólo se da entre un rango de presiones que es necesario conocer.
- ❖ **Autolimpiantes:** existen fundamentalmente dos tipos de goteros autolimpiantes, los que pueden estar o no en posición limpiante y los que continuamente lo están. Los primeros sólo se limpian durante el corto tiempo que tarda el sistema en ponerse en funcionamiento y alcanzar la presión de régimen, o en pararse y pasar de esta a la presión atmosférica. Los segundos, de limpieza continua, están fabricados para que partículas relativamente grandes sean expulsadas durante su funcionamiento.
- ❖ **Aspectos Hidraulicos de goteros y cintas de riego.**

El agua atraviesa el emisor pasando a través de uno o varios conductos. Las longitudes, configuraciones y secciones de estos, determinaran el comportamiento hidráulico del emisor.

-Relacion caudal – presión.

El caudal que descarga un emisor está relacionado con la presión hidráulica existente a su entrada, por la siguiente ecuación.

$$q = K \cdot h^x$$

q =caudal del emisor (L³h⁻¹)

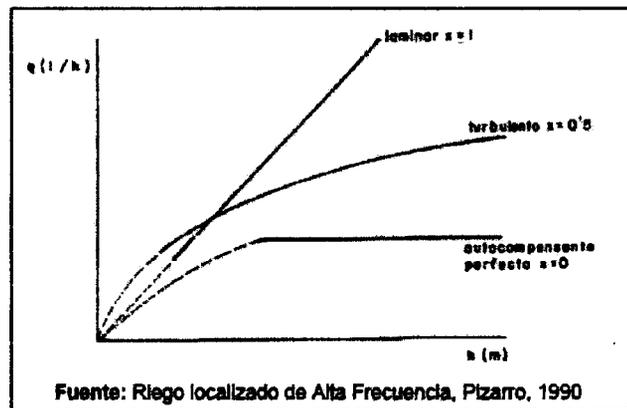
K= coeficiente de descarga (adimensional)

h = presión a la entrada del emisor (m.c.a)

x= exponente de descarga (adimensional)

La relación caudal – presión se puede representar gráficamente con el caudal en ordenadas y la presión en abscisas, como la muestra la siguiente figura.

Figura 2 Relación caudal presión de emisores según régimen.



Para mayor información de los parámetros adimensionales revisar la Tesis Evaluación del Comportamiento Hidráulico de Doce Modelos de Goteros de Bajo Caudal donde se ha trabajado con los mismos emisores de la pruebas.

2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

➤ TEXTURA DEL SUELO

La textura del suelo es la proporción relativa por peso de las diversas clases de partículas menores a 2 mm (arena, limo y arcilla).

➤ ESTRUCTURA DEL SUELO

(Zavaleta, 1992). La estructura se define como la manera en la cual las partículas del suelo se reúnen forma de agregados. Un agregado natural e individual se llama "ped". La clasificación estructural del suelo, se basa principalmente:

- En la forma y arreglo que es la expresión.
- En el tamaño que indicación de la clase
- La distinguibilidad y durabilidad de los agregados visibles o peds.

De acuerdo a la forma hay cuatro tipos básicos:

- Esferoidal la que se subdivide en granular que es más densa y menos porosa que el subtipo migajosa.
- Lamina, las partículas se arreglan a lo largo de un plano horizontal.
- Prismático, las partículas se arreglan a lo largo de plano vertical
- Blocosa, las partículas se arreglan alrededor de dos ejes iguales.

➤ TEMPERATURA DEL SUELO

(Zavaleta, 1992). La temperatura es uno de los principales factores que determinan la naturaleza y distribución de las plantas sobre la tierra. Dentro de límites, controla las actividades químicas y biológicas y las posibilidades del crecimiento de las plantas y la formación del suelo.

2.7 BULBO HÚMEDO

Fernández Gómez, Rafael (2010). Es la parte de suelo humedecida por un emisor de riego localizado. Los emisores aplican el agua sobre el suelo, donde se forma un pequeño charco a medida que avanza el riego. El bulbo húmedo se hace cada vez más grande, pero a su vez el suelo se humedece más, la velocidad de infiltración del agua disminuye y con ello el bulbo húmedo aumenta su tamaño más despacio.

El sistema de riego por goteo esencialmente opera a través de la entrega de agua desde el emisor, en forma continua y lenta, en un punto sobre la superficie del suelo. Es en esta zona donde se inicia el proceso de infiltración de agua en el perfil del suelo, con

una dinámica de movimiento tridimensional (en profundidad, a lo largo y a lo ancho). Así se va formando un “bulbo de humedecimiento” característico para cada tipo de suelo. El fenómeno de infiltración es el más relevante en el desarrollo del riego y, por lo tanto, las propiedades del flujo del agua tienen una gran importancia en el diseño de los sistemas de riego por goteo.

2.7.1 Formación del bulbo húmedo

Pizarro (1996) describe como los emisores de riego localizado dejan fluir gota a gota el agua sobre la superficie puntual del suelo, formando un pequeño charco o disco de suelo saturado y su radio va extendiéndose a medida que el riego continúa. Cuanto más húmedo se encuentra el suelo, la velocidad de infiltración del agua disminuye favoreciendo al incremento del radio del charco y cuando el caudal del emisor dividido por la superficie del charco iguala a la velocidad de infiltración, el charco se estabiliza.

A partir del disco del suelo saturado del charco, el agua se distribuye por los poros hacia los alrededores, zona donde la humedad es menor. El potencial de esta zona no saturada está compuesto por el potencial mátrico y el gravitacional.

2.7.2 Forma y dimensionamiento del bulbo húmedo

La forma del bulbo húmedo está condicionada en gran parte por el tipo de suelo. En los suelos pesados (textura arcillosa) la velocidad de infiltración es menor que en los suelos ligeros (textura arenosa), lo que hace que el charco sea mayor y el bulbo se extienda más horizontalmente que en profundidad. Si se aplica la misma cantidad de agua en tres suelos con textura diferente, la forma del bulbo variará.

Para que el bulbo moje una determinada superficie de suelo y el agua pueda ser absorbida por las raíces de las plantas adecuadamente, es importante tener en cuenta cómo se extiende el bulbo horizontalmente. La extensión horizontal del bulbo no se puede aumentar indefinidamente incrementando el caudal del emisor ni el tiempo de riego, y para conseguir una extensión de agua adecuada hay que actuar sobre el número de emisores que se colocan en las cercanías de las plantas. Por otra parte, la profundidad del bulbo estará relacionada con la velocidad de infiltración del suelo y con el tiempo de aplicación. Por ello, es preciso tener en cuenta los factores que afectan a la forma del

bulbo húmedo para decidir el número de emisores a colocar y el caudal que deben suministrar para que se produzca una buena distribución del agua en el suelo.

J. R. Gispert Folch y J. A. García Fábrega (1999) reportan que el grado de desarrollo del volumen húmedo del suelo depende de diversos factores, tales como:

- Estructura (tipo y disposición de los agregados)
- Estratificación (presencia o ausencia que determina dos horizontes genéticos)
- Tipo de irrigador (gotero, microaspersor, manguera, cinta)
- Caudal del irrigador (l / h)
- Tiempo de riego (h)
- Altura del irrigador al suelo (m)
- Contenido de humedad del suelo al inicio del riego (%)
- Pendiente de la parcela (%)

Conocer la forma y tamaño del bulbo húmedo del suelo es un aspecto importante a considerar para optimizar la utilización del agua, evitar percolaciones profundas y diseñar correctamente una instalación de riego localizado, permitiendo definir aspectos importantes como:

- Dosis y frecuencia de riego (programación)
- Número de goteros, microaspersores, mangueras o cintas por árbol, así como su separación (diseño agronómico)
- Dimensionado de las tuberías, elementos de control y medida (diseño hidráulico)

Al respecto José Luis Fuentes Yagüe (1992), indica que la forma y tamaño del bulbo húmedo depende de los siguientes factores:

- ❖ Textura del suelo. En suelos arenosos, con gran cantidad de poros grandes, el agua circula con mayor facilidad hacia abajo, mientras que en suelos arcillosos el agua se extiende con más facilidad hacia los lados. En consecuencia, en suelos arenosos el bulbo tiene forma alargada y en suelos arcillosos tiene forma achatada.
- ❖ Caudal de cada emisor. Cuando el agua empieza a salir por un emisor se forma un pequeño charco, a la vez que el suelo empieza a absorber agua en toda la superficie del mismo. El tamaño del charco depende del caudal que sale por el

emisor: a mayor caudal corresponde una superficie mayor del charco y, por tanto, un bulbo más extendido en sentido horizontal.

- ❖ Tiempo de riego. A medida que aumenta el tiempo de riego (suponiendo un caudal constante en el emisor) el tamaño del bulbo aumenta en profundidad, pero apenas aumenta su extensión en sentido horizontal. La Fig. N° 04 muestra la forma y el tamaño que adquiere el bulbo en un suelo franco determinado cuando se aplica la misma cantidad de agua con dos emisores de distinto caudal.

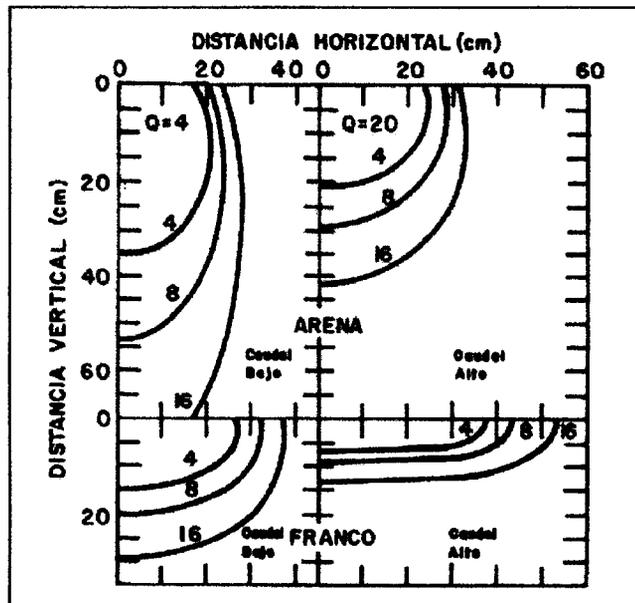


Figura N° 04: Tamaño del bulbo húmedo en función del caudal $Q(l/h)$ del emisor, textura del suelo y tiempo de riego, (Bresler,1977).

A si mismo Pizarro (1996) señala que la acción combinada de la fuerzas mátricas y gravimétricas originan la forma característica del bulbo húmedo y que los factores que afectan su forma son:

- Tipo de suelo. En los suelos pesados la velocidad de infiltración es menor que en los ligeros, lo que hace que el charco sea mayor. En suelos francos se puede decir que las fuerzas mátricas y gravimétricas conservan cierto equilibrio. En caso de los suelos arenosos, debido a los grandes poros, el agua circula con mayor facilidad hacia abajo, concluyendo que las fuerzas gravimétricas predominan sobre las mátricas. En un suelo arcilloso, la predominancia de micro poros hace que las fuerzas mátricas dominen sobre las gravimétricas.

- **Estratificación.** En el campo lo normal es que se encuentren estratos de distinta porosidad, lo que afecta al flujo y a la retención del agua, y en consecuencia al bulbo húmedo. Los obstáculos, la compactación, impermeables como la presencia de piedras y materiales poco permeables, hace que el bulbo se extienda lateralmente hasta que el agua rebose por los bordes.
- **Caudal del emisor.** El tamaño del charco depende del caudal que sale por el emisor: a mayor caudal corresponde una superficie mayor del charco y, por tanto, un bulbo más extendido en sentido horizontal.
- **Tiempo de riego.** A medida que aumenta el tiempo de riego (suponiendo un caudal constante en el emisor) el tamaño del bulbo aumenta en profundidad, pero apenas aumenta su extensión en sentido horizontal.

La extensión horizontal no aumenta indefinidamente incrementando el caudal del emisor o el tiempo de riego, y si se quiere conseguir una extensión de superficie mojada adecuada, hay que tener en cuenta el número de emisores que se deben colocar en la proximidad de la planta.

2.7.3 Superficie mojada por el emisor

Gil-Marín, José Alexander (2001). El diseño de un sistema de riego por goteo comienza con la determinación del caudal y número de emisores necesarios para mojar un determinado volumen de suelo. Este dato se obtiene a partir de una buena estimación de la forma y dimensiones del bulbo húmedo formado por un emisor, la cual depende de la textura, del volumen y caudal de agua aplicado por el emisor. De lo anterior se desprende que el patrón de mojado depende de una serie de factores, lo cual dificulta las estimaciones teóricas.

En términos cuantitativos, el cálculo del área mojada por un emisor se puede hacer mediante tres procedimientos:

a. Uso de modelos

La dificultad matemática introducida por el flujo de dos o tres dimensiones y la estratificación del suelo, hacen que los modelos existentes sean muy complejos. Aun estableciendo una serie de restricciones, es muy variable su correspondencia con los valores obtenidos en campo, en especial la de suponer que el suelo es un medio

isotrópico. Factores como la dimensión de la zona saturada bajo el gotero, volúmenes de agua aplicados respecto a la ETc, extracción por raíces, medios porosos inclinados, etc., han sido ignorados aunque recientemente el uso de computadores ha permitido incluirlos dentro de los modelos y ha facilitado el procesamiento de datos.

La principal dificultad para la utilización de estos modelos es que no se dispone de los valores necesarios de los parámetros del suelo y es difícil aplicarlos cuando las propiedades varían a lo largo del perfil. En la *Tabla N° 01* se muestran tres fórmulas para determinar el diámetro mojado del bulbo en función de la textura, donde D es el diámetro de la superficie mojada (m) y q el caudal del emisor (l/h).

Tabla N° 01: Fórmulas para determinar el diámetro mojado del bulbo en función de la textura

Textura del suelo	Diámetro
Textura fina	$D = 1,2 + 0,10q$
Textura media	$D = 0,7 + 0,11q$
Textura gruesa	$D = 0,3 + 0,12q$

Fuente: Técnicas de Riego, José Luis Fuentes Yagües (1992).

b. Uso de tablas

Unas aproximaciones que frecuentemente se usan son los datos medios, generalmente en base a la textura del suelo, que en forma de tablas aparecen en los manuales de riego por goteo. La utilización de estas tablas debe hacerse con mucha precaución, tras comprobar que las condiciones de diseño son similares a aquellas para las que las tablas fueron calculadas. Parece interesante recordar que el movimiento del agua en el suelo no depende solo de la textura y del suelo, sino también de la existencia de discontinuidades en su perfil físico (suelos no homogéneos, estratificados). En la *Tabla N° 02* se muestran los diámetros mojados por un emisor de 4 l/h.

Tabla N° 02: Diámetro mojado por un emisor de 4 l/h

Profundidad de raíces y textura del suelo	Grado de estratificación del suelo		
	Homogéneo	Estratificado	En capas
	Diámetro mojado(m)		
Profundidad 0,8m			
Ligera	0,50	0,80	1,10
Media	1,00	1,25	1,70
Pesada	1,10	1,70	2,00
Profundidad 1,7 m			
Ligera	0,80	1,50	2,00
Media	1,25	2,25	3,00
Pesada	1,70	2,00	2,50

Fuente: Keller and J. Karmeli (1974)

En la *Tabla N° 03* se indican las aproximaciones del diámetro mojado y espaciamiento con emisores de 2 y 4 l/h según el tipo de suelo para tiempos de riego de 3 h (Keller and J. Karmeli (1974)

Tabla N° 03: Aproximación del diámetro mojado y espaciamiento con emisores de 2 y 4 l/h según el tipo de suelo para tiempos de riego de 3 h

Emisores de 2 litros/hora

Textura del suelo	Diámetro mojado (m)	Espaciamiento entre emisores	
		Mínimo	Máximo
Fina	1,30	0,80	1,20
Media	0,90	0,55	0,55
Gruesa	0,50	0,30	0,45

Emisores de 4 litros/hora

Textura del suelo	Diámetro mojado (m)	Espaciamiento entre emisores	
		Mínimo	Máximo
Fina	1,50	0,95	1,50
Media	1,10	0,70	1,00
Gruesa	0,75	0,45	0,70

Fuente: Técnicas de Riego, José Luis Fuentes Yagües (1992).

c. Pruebas de campo

La mejor manera de determinar el patrón de mojado o el área mojada es mediante pruebas de campo, que es el método más confiable y seguro con fines de diseño. Para su realización se utilizan sistemas de riego por goteo, donde se efectúan pruebas de campo.

Para su realización es necesario un mínimo equipo, el cual consta de un depósito de agua de aproximadamente 100 litros de capacidad, tubería de polietileno de 12 o 16 mm, de 3 a 5 m de longitud y emisores o goteros.

El lateral contendrá los emisores suficientemente espaciados para independizarlos unos de otros, a través de éste se aplicará tres o más volúmenes diferentes de agua.

Finalizando el proceso de aplicación, mediante muestreo o abriendo una calicata, se toman las medidas para dibujar con la mayor exactitud, la forma que adopta el suelo mojado; quedando entendido que cuanto más parecido sean los datos de la prueba a los posteriores que se utilizarán una vez instalado el sistema, más confiable serán los resultados (Razuri, 1988).

2.8 PORCENTAJE DE SUPERFICIE MOJADA

Una de las características de los riegos localizados de alta frecuencia es que aplica el agua solamente a una parte del suelo. A efectos de diseño es necesario establecer un mínimo de volumen de suelo a humedecer, lo cual es algo complicado, por lo que el concepto de porcentaje de suelo mojado se sustituye por el de porcentaje de superficie mojada, el cual es más fácil de manejar y medir. Este parámetro fue definido por Keller y Karmeli (1974) como la relación, expresada en tanto por 100, entre el área mojada por los emisores y el área total. En 1978, Keller y Merriam estandarizan que el área mojada se mide a 30 cm de profundidad y posteriormente H. Abreu sugiere que esa medida se haga a la profundidad en que la densidad radicular sea máxima. Este último autor propone una modificación de la definición en la que el porcentaje de superficie mojada de Keller se multiplica por la fracción de área sombreada (Pizarro 1996).

Para el parámetro “porcentaje de superficie mojada” (P) se recomienda como valores mínimos para árboles con clima húmedo $P = 20 \%$. En cambio en el caso de cultivos herbáceos el valor de P debe ser mayor, llegando incluso al 70 %.

La elección de P es bastante importante, puesto que valores elevados aumentan la seguridad del sistema, pero, lógicamente aumenta también el costo de instalación.

2.9 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

Pizarro (1996) indica que el coeficiente de uniformidad (CU) es una magnitud que caracteriza a todo sistema de riego y que además interviene en su diseño, tanto en el agronómico pues afecta al cálculo de las necesidades totales de agua (N_t), como en el hidráulico, pues en función de ella se definen los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los emisores. Está afectado por diferentes factores:

Constructivos: en los procesos de fabricación los modelos y materiales no son exactamente iguales entre sí, generando a igual presión diferentes caudales, dichos factores se engloban en el coeficiente de variación de fabricación.

Hidráulicos: los emisores están sometidos a diferentes presiones ocasionadas por las pérdidas de carga y por desniveles.

Para los sistemas localizados de alta frecuencia, entre los que se encuentra el riego por goteo, se debería utilizar un coeficiente de uniformidad más exigente. Varios autores han trabajado al respecto, siendo el más aceptado el coeficiente establecido en 1978 por Merriam y Keller, cuya ecuación es:

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a}$$

Donde:

CU = coeficiente de uniformidad

q_{25} = caudal medio de los emisores que conforman el 25 % de más bajo caudal

q_a = caudal medio de todos los emisores

El CU puede ser utilizado tanto para la instalación de nuevos equipos como para la evaluación de equipos en funcionamiento.

Los valores de coeficientes de uniformidad recomendados (Pizarro, 1996) para climas áridos, terrenos con pendiente uniforme menor a 2%, donde los emisores se ubican espaciados a menos de 2,5 m en cultivos permanentes o semipermanentes oscilan entre 0,85 – 0,90. Para cultivos permanentes o semipermanentes, de zonas áridas y pendiente uniforme u ondulada mayor al 2% el rango recomendado de CU es 0,80 – 0,90. En la *Tabla N° 04* se muestran valores recomendados de coeficiente de uniformidad

Tabla N° 04: Valores recomendados de coeficiente de uniformidad

Emisores	Pendiente	CU clima árido	CU clima húmedo
Asociados a más de 4 m en cultivos permanentes	Uniforme ($i < 2\%$)	0,90 - 0,95	0,80 - 0,85
	Uniforme u ondulada ($i > 2\%$)	0,85 - 0,90	0,75 - 0,80
Espaciados a menos de 2,5 m en cultivos permanentes o semipermanentes	Uniforme ($i < 2\%$)	0,85 - 0,90	0,75 - 0,80
	Uniforme u ondulada ($i > 2\%$)	0,80 - 0,90	0,70 - 0,80
Mangueras o cintas de exudación en cultivos anuales	Uniforme ($i < 2\%$)	0,80 - 0,90	0,70 - 0,80
	Uniforme u ondulada ($i > 2\%$)	0,70 - 0,85	0,65 - 0,75

Fuente: Pizarro (1996).

2.10 DENSIDAD APARENTE

La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso (Pinot, 2000). Para medir la densidad aparente se retira del campo una muestra de suelo de volumen conocido y se seca en el horno a 105°C, hasta que alcanza un peso constante. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso seco del suelo por el volumen que ocupaba en el campo.

$$Da \text{ (g cm}^{-3} \text{ o Mg m}^{-3}\text{)} = \frac{\text{peso de sólidos de la muestra o peso seco}}{\text{volumen de sólidos} + \text{volumen de poros}}$$

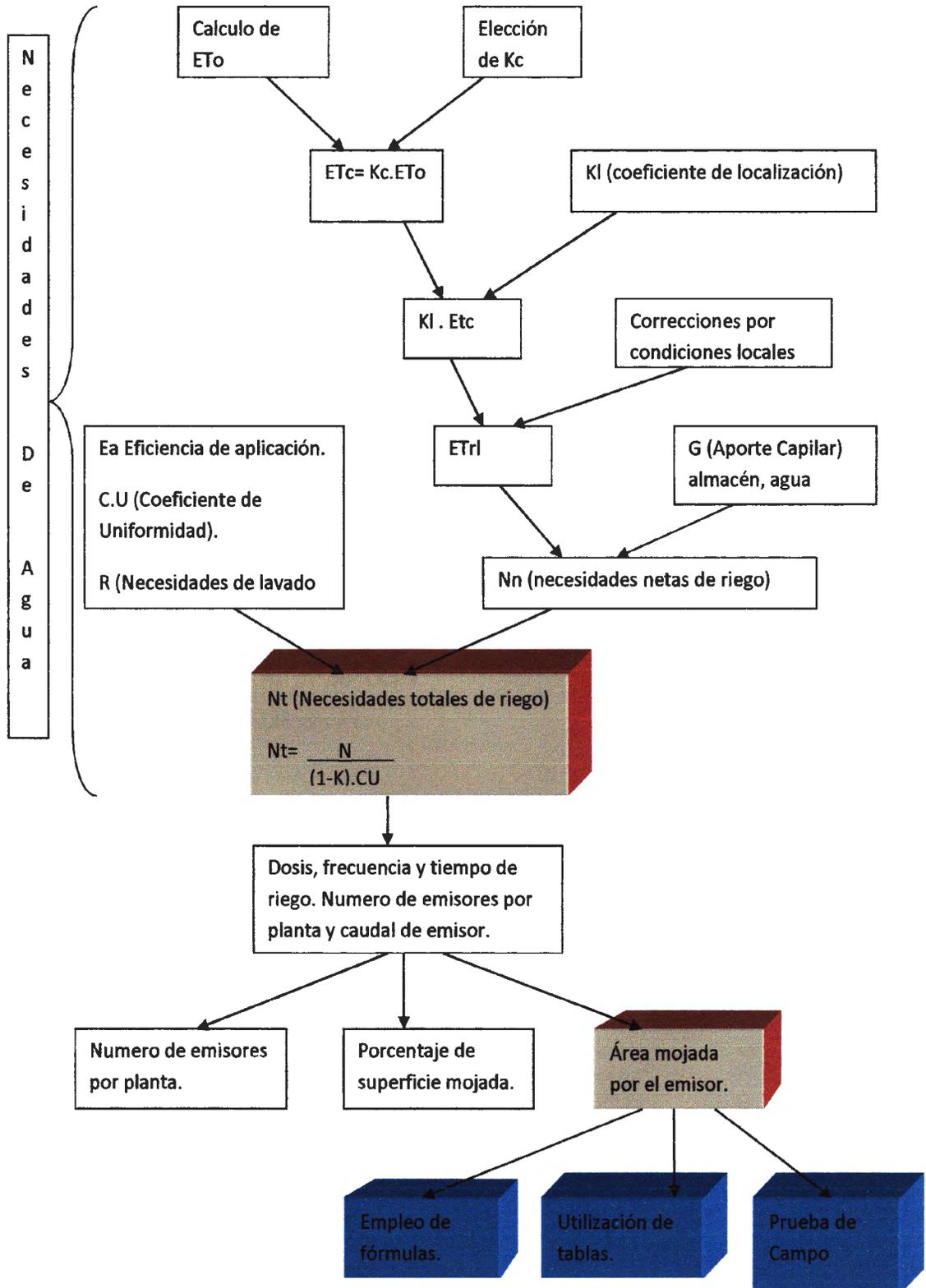
Algunos valores de referencia, con relación a la textura se muestran en la *Tabla N° 05* (Schargel y Delgado, 1990).

Tabla N° 05: Valores referenciales de densidad aparente según la textura del suelo.

Textura	Densidad Aparente (Mg /m ³)
Fina (arcilloso)	1,00 - 1,30
Media (franco)	1,30 - 1,50
Gruesa (arena)	1,50 - 1,70

Fuente: (Schargel y Delgado, 1990).

2.11 ESQUEMA DEL DISEÑO AGRONÓMICO



III.MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Ubicación de los campos experimentales

a. Suelo franco

Ubicado en el campo experimental del Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de la Facultad de Ingeniería Agrícola, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Su ubicación política es:

- Lugar: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Valle: Ate
- Distrito: La Molina
- Provincia: Lima
- Departamento: Lima

Su ubicación geográfica es:

- Latitud: 12° 05' 06" Sur
- Longitud: 76° 57' 00" Oeste
- Altitud: 238 m.s.n.m

b. Suelo arenoso

Ubicado en el campo de producción del Grupo Rocío, en Puerto Mori - Viru - La Libertad. Su ubicación política es:

- Lugar: Fundo Grupo Rocío
- Valle: Viru
- Distrito: Viru
- Provincia: Viru
- Departamento: La Libertad

Su ubicación geográfica es:

- Latitud: 6° 56' 38" Sur
- Longitud: entre meridianos 79° 27' 9" y 79° 41' 18" Oeste
- Altitud: 34 m.s.n.m



Figura N° 05: Ubicación de los campos experimentales.

3.1.2 Condiciones climáticas

Según la clasificación de Koeppen, el clima de Lima, localizado en la zona costera, corresponde a Desierto Subtropical árido caluroso y el clima de la Provincia Viru - La Libertad, localizado en la zona costera, corresponde a Desierto Subtropical.

3.1.3 Suelo

a. Suelo franco

- Serie: La molina
- Grupo: Aluvial
- Orden: Entisol
- Región Geoedáfica: Yermosólica

b. Suelo arenoso

- Serie: Viru
- Grupo: Aluvial
- Orden: Aridisol
- Región Geodáfica: Yermosólica

3.1.4 Fisiografía

La superficie de ambos campos experimentales presenta pendiente menor del 2%, considerándose planas.

3.1.5 Equipos e insumos

a. Riego por goteo

- Dos electrobomba de 0,5 HP Y 1 HP.
- Cabezal de riego y aparatos de control de presión hidráulica.
- Red primaria o de conducción, de PVC.
- Tubería secundaria o de distribución, de PVC, de clase 5.
- Tubería terciario de PVC, de clase 5, donde van insertados los laterales.
- Tubería porta gotero (manguera) o laterales de polietileno de 16 mm de diámetro.
- Goteros NAANDANJAIN autocompensantes con descarga 1,1; 1,6 y 2,2 l/h.
- Materiales de pluviometría: taper de plástico y una probeta de 500 ml.

b. Determinación de la textura

- Hidrómetro Bouyucos calibrado desde 0 - 60 g/l
- Batidora
- Embolo de agitación
- Termómetro
- Agente dispersante (hexametáfosfato de sodio 1N)

c. Determinación de la densidad aparente

- Anillo de 3 pulgadas (7,62 cm) de diámetro
- Bloque de madera
- Cuchillo de hoja ancha
- Bolsas de papel y marcador
- Balanza de precisión (0,1 g)

- Horno
- d. Otros**
- Pala, pico
 - Wincha de 10 m, regla de metal
 - Máquina fotográfica digital
 - Libreta de campo
 - Equipo de cómputo e impresión
 - Programas de cómputo
 - Material bibliográfico
 - Útiles de escritorio

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Determinación de la textura del suelo

Se tomaron muestras representativas de suelo, de 0 a 30 cm de profundidad, de cada campo designado para el estudio. Las muestras de suelo fueron llevadas al Laboratorio de Riego y Drenaje del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Agraria la Molina, donde se procedió a la determinación de la textura por el método del densímetro de Bouyoucos. (Fig. N° 06).

Los resultados para ambos suelos se muestran en la *Tabla N° 06*.

Tabla N° 06: Resultado de la textura de los suelos

Suelo	Análisis Mecánico			Textura
	Arena %	Limo%	Arcilla%	
Franco	50,2	42	7,8	Franco
Arenoso	94,2	0	5,8	Arenoso

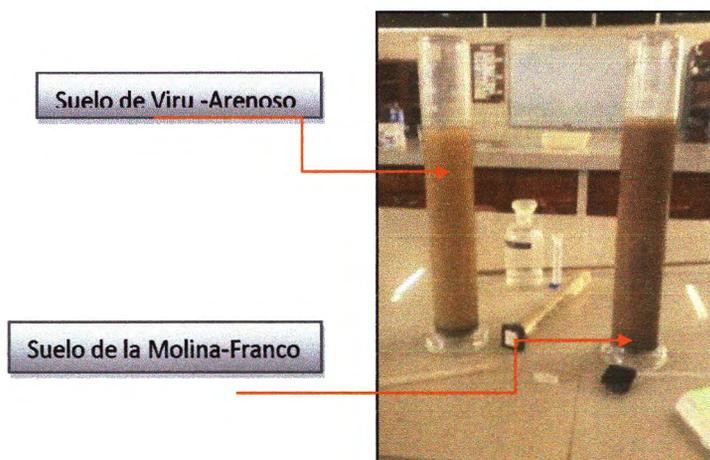


Figura N°06: Determinación de densidad aparente de los suelos franco y arenoso.

3.2.2 Determinación de la densidad aparente del suelo

Se tomaron muestras representativas de suelo con el cilindro muestreador, de 0 a 30 cm de profundidad, de cada campo designado para el estudio.

Las muestras de suelo fueron llevadas al Laboratorio de Riego y Drenaje del Departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Agraria la Molina, donde se procedió con el ensayo para la determinación de la densidad aparente.

Los resultados de cada suelo se muestran en el *Tabla N° 07*.

Tabla N° 07: Resultado de la densidad aparente

Textura	Profundidad (cm)	Da (g cm ⁻³)
Franca	30	1,32
Arenosa	30	1,63

3.2.3 Preparación del terreno

La preparación del terreno ubicado en La Molina consistió en una aradura de 25 cm de profundidad promedio, utilizando un tractor agrícola de 75 HP de potencia, provisto de un arado de tres discos de 28 pulgadas de diámetro (*Fig. N° 07*). Al término de la aradura, el campo presentaba terrones por lo cual se aplicó el gradeo, quedando el área en condiciones de implementar los laterales con los emisores preparadas para las pruebas de campo.



Figura N°07: Preparación del terreno en la molina.

La preparación del terreno ubicado en La Libertad - Viru consistió en una aradura de 25 cm de profundidad promedio. Como al término de la aradura el campo no presentó terrones, no hubo necesidad de gradeo, quedando el área en condiciones óptimas para proceder con las instalaciones de los laterales con los emisores preparadas para las pruebas de campo.

3.2.4 Tratamientos en estudio

Para realizar las evaluaciones del bulbo húmedo en los suelos franco y arenoso con el sistema de riego por goteo se consideró la aplicación de tres caudales (1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h), con tiempos de aplicación de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 horas, resultando 18 tratamientos para cada tipo de suelo, con 6 repeticiones.

A los tratamiento T1, T2, T3, T4, T5 y T6 se les aplicó un caudal de 1,1 l/h del emisor, a los tratamiento T7, T8, T9, T10, T11 y T12, un caudal de 1,6 l/h del emisor y a los tratamiento T13, T14, T15, T16, T17 y T18, un caudal de 2,2 l/h del emisor.

Tabla N° 08: Descripción de los tratamientos de estudio.

Q (l/h)	T = hr	Tratamiento	Q (l/h)	Tratamiento	Q (l/h)	Tratamiento
1Q = 1.1	T ₁ = 1	1Q1T=T1	2Q = 1.6	2Q1T=T7	3Q =2.2	3Q1T=T13
	T ₂ = 2	1Q1T=T2		2Q1T=T8		3Q1T=T14
	T ₃ = 3	1Q1T=T3		2Q1T=T9		3Q1T=T15
	T ₄ = 4	1Q1T=T4		2Q1T=T10		3Q1T=T16
	T ₅ = 5	1Q1T=T5		2Q1T=T11		3Q1T=T17
	T ₆ = 6	1Q1T=T6		2Q1T=T12		3Q1T=T18

Todos los tratamientos se ubicaron en una superficie plana, de 7,0 m de ancho y 8,0 m de longitud, con 6 hileras de riego y 6 goteros autocompensados en cada hilera distanciados 0,8 m. En cada lateral se insertaron dos válvulas. El bloque de riego para un caudal de 1.1 l/h. Fig. N° 08.

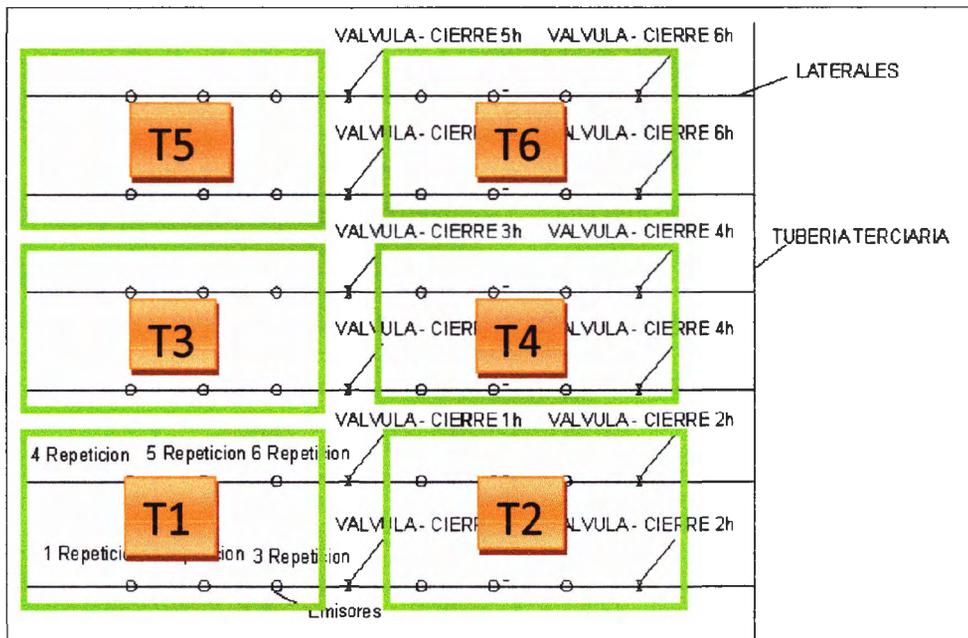


Figura N° 08: Bloque I de riego para aplicación de un caudal de 1.1l/h.

Cada bloque corresponde a un caudal aplicado durante los diferentes tiempos de riego (1, 2, 3, 4, 5 y 6 horas).

Bloque I: 1,1 l/h

Bloque II: 1,6 l/h

Bloque III: 2,2 l/h

Los bloques se instalaron siguiendo un cronograma con la finalidad de realizar un mejor control y registro de datos de parámetros evaluados del bulbo húmedo.

Con el apoyo de un personal de campo, se delimito el espacio necesario y se instaló el sistema de riego. Dentro de cada bloque se ubicaron los 6 tratamientos en estudio, con sus 6 repeticiones. Todos los bloques tuvieron la misma modalidad de instalación.

El tendido de los laterales en el área de prueba para los tratamientos, fue utilizando mangueras de polietileno de 16 mm de diámetro y un gotero Amnon Drip CNL de diferente caudal, dependiendo el bloque.

3.2.5 Determinación del coeficiente de uniformidad del riego (CU)

Una vez instalados los laterales, antes de la aplicación del riego por goteo en cada bloque se realizaron las pruebas para determinar el coeficiente de uniformidad del sistema de riego. Se probaron diferentes presiones en el cabezal y en los laterales, con el fin de obtener flujos uniformes en los emisores, quedando establecido la presión de 25 mca en el cabezal y 20 mca en los laterales.

Se registraron las descargas de cada emisor durante un minuto, recepcionando el flujo en vasos pluviométricos para luego medirlos con una probeta graduada en mililitro (ml), registrándose los datos que se muestran en el Anexo N° 01. En la *Tabla N° 09* se muestran los resultados del CU para las diferentes descargas y una presión de 20 m.c.a.

Tabla N° 09: Resultado de CU % para los tres caudales

Qs (l/h)	Q ₂₅ (l/h)	Qm (l/h)	CU%
1,1	1,03	1,06	96,6
1,6	1,56	1,60	97,5
2,2	2,10	2,20	94,8

Presión= 25 m.c.a en el cabezal - 20 m.c.a en lateral.

3.2.6 Evaluación de la forma y dimensionamiento del bulbo húmedo

Las aplicaciones de riego por goteo, de acuerdo a los tratamientos planteados, se ejecutaron en diferentes fechas para cada bloque, con el fin de tener suficiente tiempo para realizar las pruebas de bulbo húmedo.

Primero se realizaron las pruebas en el suelo franco, en el campo experimental de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Posteriormente se ejecutaron las pruebas en el suelo arenoso, ubicado en Viru-Trujillo.

Se realizó un primer humedecimiento con las frecuencias que correspondía a cada bloque, dejándose secar por una semana, para luego aplicar el riego para las pruebas de campo.

Se ejecutaron los experimentos a las 8 a.m y durante la aplicación del riego para cada bloque, se mantuvo constante la presión de 25 mca en el cabezal y 20 mca en los laterales.

Todos los bloques constaron de 6 tratamientos, cada uno con 6 repeticiones. Para el bloque I (1,1 l/h), el primer tratamiento fue de una hora de riego, ubicado al final de los dos primeros laterales; al término del tiempo indicado se cortó el flujo mediante el cierre de las válvulas ubicadas en los laterales. Se procedió de igual manera con los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T6, ubicados en el resto de los laterales. Cumplido el tiempo de aplicación de agua de cada tratamiento, se cerraban las válvulas de control (Fig. N° 09).



Figura N°09: Pruebas de campo en suelo franco para 2 horas de riego con caudal 1,1 l/h

Terminada la aplicación de riego en los 6 tratamientos del primer bloque y cerrado el flujo, se realizó el proceso de evaluaciones de las características del bulbo húmedo de cada tratamiento.

Para tal fin, se realizó un corte al suelo (calicata) con una pala, en sentido transversal a la dirección del sentido de los laterales. La profundidad de aproximadamente de 50 cm. fue lo suficiente para observar la forma y dimensionamiento del bulbo. Las dimensiones longitudinales se midieron con wincha y con una regla de metal.

De modo semejante a lo anterior se realizó en el bloque II (1,6 l/h) con los tratamientos T7, T8, T9, T10, T11 y T12. Finalmente en el bloque III (2,2 l/h) con los tratamientos T13, T14, T15, T16, T17 y T18 se realizó el mismo procedimiento.

Al término de cada prueba se cortó el flujo mediante la válvula de control instalada en el lateral y luego se apagó la electrobomba; realizando el proceso de evaluaciones de las características del bulbo húmedo de cada tratamiento (*Fig. N° 10*).



Figura N°10: Perfil del suelo franco para 2 horas de riego, con caudal 1,6 l/h

Los mismos procedimientos se realizaron en el campo experimental de suelo arenoso del Grupo Rocío, ubicado en Viru – Trujillo (*Fig. N° 11*).



Figura N°11: Pruebas de campo en suelo arenoso para 2 horas de riego con caudal 1,2 l/h

Para el registro de datos se ha tenido en cuenta el desplazamiento vertical y horizontal del frente de humedad (Fig. N° 12), considerando los datos de profundidad en la ordenada (Y) y el desplazamiento horizontal (radio).



Figura N°12 Perfil del suelo arenoso para 2 horas de riego con caudal 1,6 l/h

Los datos de radio y profundidad se registraron en un formato especialmente diseñado para cada tratamiento en hoja de cálculo del software Excel, que luego de ser procesado sirvieron para obtener los gráficos de la forma geométrica y dimensiones del bulbo húmedo, según formato presentado en el Anexo N°02.

3.2.7 Diseño estadístico

El diseño estadístico empleado fue el Bloque Completamente al Azar para 18 tratamientos y 6 repeticiones.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

μ = parámetro, efecto medio

τ_i = parámetro, efecto del tratamiento l

β_j = parámetro efecto del bloque j

ϵ_{ij} = valor aleatorio, error experimental

3.2.8 Análisis estadístico

Para tener la diferencia estadística significativa de los puntos de variabilidad se realizó el análisis de varianza de los radios medios y profundidad del bulbo húmedo. En el Anexo N° 03 se muestran las dimensiones de los radios y profundidades.

La diferencia estadísticas entre tratamientos fue estudiada utilizando R project (minitab-Spssv20).

La asociación de los caracteres del radio medio y de la profundidad media del bulbo húmedo fue analizada por medio del análisis de correlación simple.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 FORMA Y DIMENSIONES DEL BULBO HÚMEDO EN SUELO FRANCO

Para el estudio se dispuso de un terreno de 7 m de ancho por 8 m de largo donde se instalaron bloques con caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, cada uno con 6 laterales.

De acuerdo a los datos registrados en las pruebas de campo, la forma geométrica que más se aproxima y describe el bulbo húmedo en el perfil del suelo es el de un elipsoide truncado, donde el plano de corte es la superficie del suelo, tal como lo menciona Peña y Brown (2000).

En un suelo franco las fuerzas mátricas y gravimétricas están en equilibrio, trayendo como consecuencia una mayor redistribución horizontal. Esta forma es predominante en todos los tratamientos de aplicación de riego en este suelo. Los datos tomados del bulbo húmedo fueron radio y profundidad, teniendo como nivel de referencia la base inicial del bulbo.

4.1.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo de los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 del primer bloque con caudal 1,1 l/h

Los resultados se muestran en la *Fig. N° 13* y en la *Tabla N° 10*.

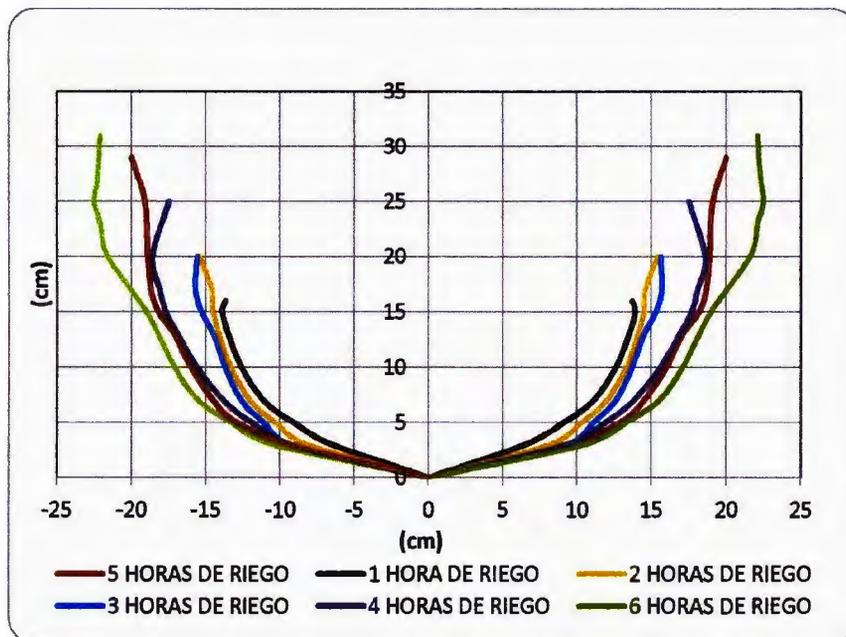


Figura N° 13: Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 1,1 l/h

Tabla N° 10: Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo

T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Profund. (cm)	Radio (cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,5	3,0	8,2	3,0	9,4	3,0	9,3	3,0	9,4	3,0	10,5
5,0	9,1	5,0	10,3	5,0	11,1	5,0	11,9	5,0	12,9	5,0	13,3
7,0	11,1	7,0	12,0	7,0	12,6	7,0	13,8	7,0	14,5	7,0	15,5
10,0	12,6	10,0	13,3	10,0	13,7	10,0	15,6	10,0	16,0	10,0	17,1
13,0	13,5	13,0	14,1	13,0	14,5	13,0	16,9	13,0	17,1	15,0	19,0
15,0	13,9	15,0	14,5	15,0	15,3	15,0	17,7	15,0	18,2	20,0	21,6
16,0	13,7	17,0	14,6	17,0	15,7	17,0	18,1	17,0	18,7	23,0	22,1
		20,0	15,4	20,0	15,6	20,0	18,6	20,0	18,9	25,0	22,5
						25,0	17,5	25,0	19,1	27,0	22,3
								29,0	20,0	31,0	22,1

En los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6, de acuerdo a los datos obtenidos que se muestran, las dimensiones mayores de radio del bulbo húmedo se encuentran entre los 10 cm aproximadamente por debajo de la superficie del terreno. De acuerdo al tiempo de aplicación de riego, las pruebas de campo dieron los siguientes resultados:

Tratamiento T1: tiempo de riego 1 hora. El mayor radio es de 13,9 cm, a 1 cm debajo de la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 16 cm.

Tratamiento T2: tiempo de riego 2 horas. El mayor radio es de 15,4 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 20 cm.

Tratamiento T3: tiempo de riego 3 horas. El mayor radio es de 15,7 cm, a 3 cm debajo de la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 20 cm.

Tratamiento T4: tiempo de riego 4 horas. El mayor radio es de 18,6 cm, a 5 cm debajo de la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 25 cm.

Tratamiento T5: tiempo de riego 5 horas. El mayor radio es de 20 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 29 cm.

Tratamiento T6: tiempo de riego 6 horas. El mayor radio es de 22,5 cm, a 6 cm de la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 31 cm.

4.1.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo de los tratamientos T7, T8, T9, T10, T11 y T12 del segundo bloque con caudal 1,6 l/h

Los resultados se muestran en la Fig. N° 14 y en la Tabla N° 11.

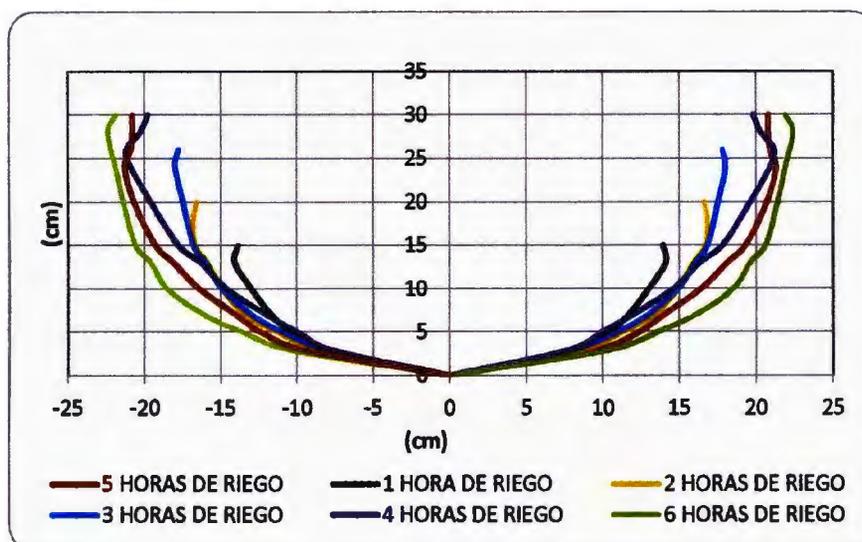


Figura N° 14: Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 1,6 l/h

Tabla N° 11: Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo

T7		T8		T9		T10		T11		T12	
Profund. (cm)	Radio (cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	8,2	3,0	8,6	3,0	8,1	3,0	7,9	3,0	9,7	3,0	10,6
5,0	10,4	5,0	11,3	5,0	11,0	5,0	10,0	5,0	12,4	5,0	13,6
7,0	11,7	7,0	13,4	7,0	13,0	7,0	12,0	7,0	14,0	7,0	16,1
10,0	13,0	10,0	14,9	10,0	14,9	10,0	14,6	10,0	16,4	10,0	18,5
13,0	14,1	13,0	15,9	13,0	16,0	13,0	16,3	13,0	18,1	13,0	19,6
15,0	13,9	15,0	16,7	15,0	16,8	15,0	17,8	15,0	19,3	15,0	20,6
		18,0	16,8	20,0	17,5	20,0	19,6	20,0	20,7	20,0	21,4
		20,0	16,6	24,0	18,0	24,0	20,9	24,0	21,3	24,0	21,9
				26,0	17,8	26,0	21,2	26,0	20,9	28,0	22,4
						28,0	20,3	28,0	20,8	30,0	21,9
						30,0	19,8	30,0	20,8		

En los tratamientos T7, T8, T9, T10, T11 y T12, de acuerdo a los datos obtenidos que se muestran, las dimensiones mayores de radio del bulbo húmedo se encuentran entre los

10 cm aproximadamente por debajo de la superficie del terreno, al igual que el caso anterior. De acuerdo al tiempo de aplicación de riego, las pruebas de campo dieron los siguientes resultados:

Tratamiento T7: tiempo de riego 1 hora. El mayor radio es de 14,1 cm, a 2 cm debajo de la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 15 cm.

Tratamiento T8: tiempo de riego 2 horas. El mayor radio es de 16,8 cm, a 2 cm debajo de la superficie. La profundidad que alcanza el bulbo es de 20 cm.

Tratamiento T9: tiempo de riego 3 horas. El mayor radio es de 18 cm, a 2 cm debajo de la superficie. La profundidad que alcanza el bulbo es de 26 cm.

Tratamiento T10: tiempo de riego 4 horas. El mayor radio es de 21,2 cm, a 4 cm debajo de la superficie. La profundidad que alcanza el bulbo es de 30 cm.

Tratamiento T11: tiempo de riego 5 horas. El mayor radio es de 21,3 cm, a 6 cm debajo de la superficie. La profundidad que alcanza el bulbo es de 30 cm.

Tratamiento T12: tiempo de riego 6 horas. El mayor radio es de 22,4 cm, a 2 cm debajo de la superficie. La profundidad que alcanza el bulbo es de 30 cm.

4.1.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo de los tratamientos T13, T14, T15, T16, T17 y T18 del tercer bloque con caudal 2,2 l/h

Los resultados se muestran en la *Fig. N° 15* y en la *Tabla N° 12*.

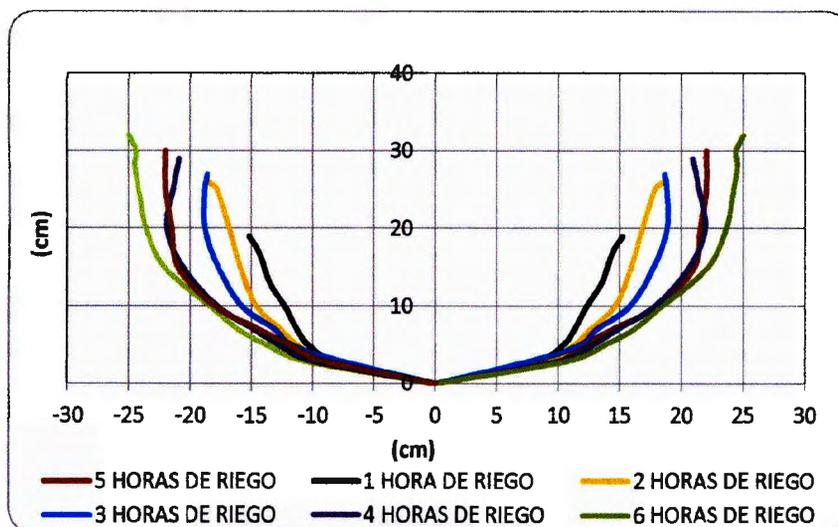


Figura N° 15: Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 2,2 l/h

Tabla N° 14: Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo

T13		T14		T15		T16		T17		T18	
Profund. (cm)	Radio (cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	8,4	3,0	9,2	3,0	7,9	3,0	10,2	3,0	9,3	3,0	10,9
5,0	10,4	5,0	11,3	5,0	11,8	5,0	12,8	5,0	11,9	5,0	13,8
7,0	11,3	7,0	12,6	7,0	13,1	7,0	14,8	7,0	14,4	7,0	16,1
10,0	12,3	10,0	14,6	10,0	15,8	10,0	17,8	10,0	18,0	10,0	18,4
13,0	13,5	15,0	15,9	15,0	17,7	15,0	20,6	15,0	21,0	15,0	22,1
17,0	14,4	20,0	16,8	20,0	18,8	20,0	21,9	20,0	21,5	20,0	23,6
19,0	15,2	25,0	17,8	25,0	18,8	25,0	21,4	25,0	22,0	24,0	24,1
		26,0	18,5	27,0	18,6	29,0	20,9	30,0	22,0	28,0	24,5
										30,0	24,4
										32,0	25,0

De acuerdo al tiempo de aplicación de riego, las pruebas de campo dieron los siguientes resultados:

Tratamiento T13: tiempo de riego 1 hora. El mayor radio es de 15,2 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 19 cm.

Tratamiento T14: tiempo de riego 2 horas. El mayor radio es de 18,5 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 26 cm.

Tratamiento T15: tiempo de riego 3 horas. El mayor radio es de 18,8 cm, a 2 cm y a 7 cm debajo de la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 27 cm.

Tratamiento T16: tiempo de riego 4 horas. El mayor radio es de 21,9 cm, a 9 cm debajo de la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 29 cm.

Tratamiento T17: tiempo de riego 5 horas. El mayor radio es de 22 cm, desde la superficie hasta 5 cm debajo. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 30 cm.

Tratamiento T18: tiempo de riego 6 horas. El mayor radio es de 25 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 32 cm.

4.2 FORMA Y DIMENSIONES DEL BULBO HÚMEDO EN SUELO ARENOSO

4.2.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo de los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 del primer bloque con caudal de 1,1 l/h

Los resultados se muestran en la *Fig. N° 16* y en la *Tabla N° 13*.

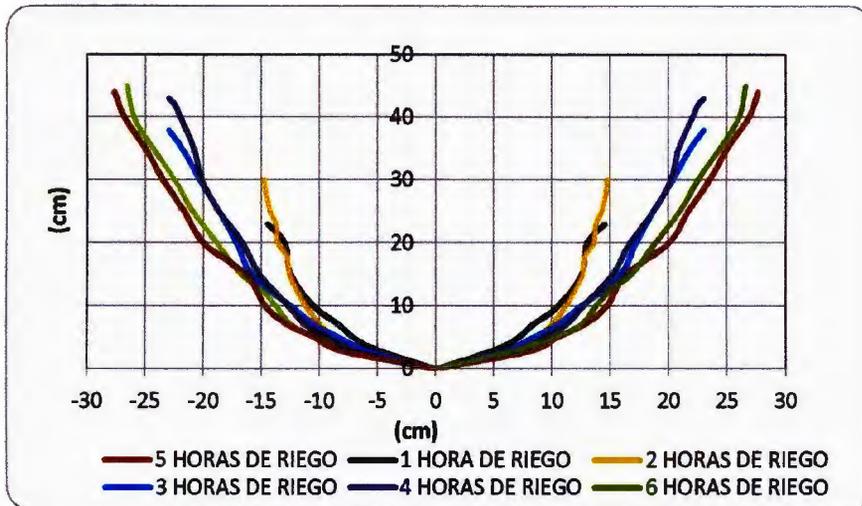


Figura N° 16: Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 1,1 l/h

Tabla N° 13: Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo

T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Profund. (cm)	Radio (cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	5,0	3,0	6,7	3,0	6,0	3,0	7,3	3,0	8,3	3,0	6,9
5,0	7,1	5,0	8,7	5,0	8,3	5,0	9,2	5,0	10,3	5,0	10,1
7,0	8,3	7,0	9,9	7,0	10,3	7,0	11,2	7,0	12,7	7,0	12,4
10,0	10,5	10,0	11,2	10,0	12,5	10,0	12,7	10,0	14,7	10,0	13,8
15,0	12,5	15,0	12,6	15,0	15,8	15,0	15,2	15,0	16,3	15,0	16,8
20,0	13,0	20,0	13,6	20,0	17,2	20,0	16,7	20,0	20,0	20,0	18,8
23,0	14,5	25,0	14,3	25,0	18,7	25,0	18,7	25,0	21,7	25,0	20,9
		30,0	14,8	30,0	20,3	30,0	20,2	30,0	23,5	30,0	22,5
				35,0	21,8	35,0	20,8	35,0	25,0	35,0	24,3
				38,0	23,0	40,0	22,0	40,0	26,8	40,0	26,0
						43,0	23,0	44,0	27,7	45,0	26,6

En los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6, de acuerdo a los datos obtenidos que se muestran, las dimensiones mayores de radio del bulbo húmedo se encuentran en todos los casos en la superficie del terreno. De acuerdo al tiempo de aplicación de riego, las pruebas de campo dieron los siguientes resultados:

Tratamiento T1: tiempo de riego 1 hora. El mayor radio es de 14,5 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 23 cm.

Tratamiento T2: tiempo de riego 2 hora. El mayor radio es de 14,8 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 30 cm.

Tratamiento T3: tiempo de riego 3 hora. El mayor radio es de 23 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 38 cm.

Tratamiento T4: tiempo de riego 4 hora. El mayor radio es de 23 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 43 cm.

Tratamiento T5: tiempo de riego 5 hora. El mayor radio es de 27,7 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 44 cm.

Tratamiento T6: tiempo de riego 6 hora. El mayor radio es de 26,6 cm, también en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 45 cm.

4.2.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo de los tratamientos T7, T8, T9, T10, T11 y T12 del segundo bloque con caudal 1,6 l/h

Los resultados se muestran en la *Fig. N° 17* y en la *Tabla N° 14*.

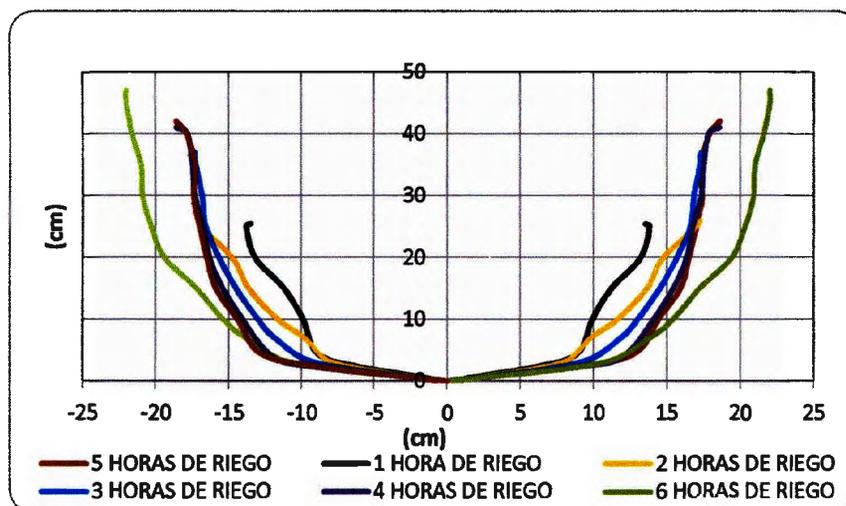


Figura N° 17: Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 1,6 l/h

Tabla N° 14: Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo

T7		T8		T9		T10		T11		T12	
Profund. (cm)	Radio (cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	7,5	3,0	7,8	3,0	9,0	3,0	11,0	3,0	10,8	3,0	10,6
5,0	9,1	5,0	9,0	5,0	10,8	5,0	12,5	5,0	13,1	5,0	13,8
10,0	9,9	10,0	11,6	10,0	13,0	10,0	14,1	10,0	14,4	10,0	15,4
15,0	11,2	15,0	13,6	15,0	14,5	15,0	15,4	15,0	15,9	15,0	17,2
20,0	13,2	20,0	14,8	20,0	15,7	20,0	16,3	20,0	16,5	20,0	19,4
25,0	13,8	25,0	17,0	25,0	16,6	25,0	16,8	25,0	17,0	25,0	20,3
25,5	13,5	26,0	17,3	30,0	16,8	30,0	17,3	30,0	17,4	30,0	20,9
				35,0	17,3	35,0	17,5	35,0	17,3	35,0	21,0
				37,0	17,3	40,0	17,8	40,0	17,9	40,0	21,6
						41,0	18,6	42,0	18,6	45,0	22,0
										47,0	22,0

En los tratamientos T7, T8, T9, T10, T11 y T12, de acuerdo a los datos obtenidos que se muestran, las dimensiones mayores de radio del bulbo húmedo se encuentran en la mayoría de los casos en la superficie del terreno. De acuerdo al tiempo de aplicación de riego, las pruebas de campo dieron los siguientes resultados:

Tratamiento T7: tiempo de riego 1 hora. El mayor radio es de 13,8 cm, a 0,5 cm debajo de la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 25,5 cm.

Tratamiento T8: tiempo de riego 2 hora. El mayor radio es de 17,3 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 26 cm.

Tratamiento T9: tiempo de riego 3 hora. El mayor radio es de 17,3 cm, desde la superficie hasta 2 cm de esta. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 37 cm.

Tratamiento T10: tiempo de riego 4 hora. El mayor radio es de 18,6 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 41 cm.

Tratamiento T11: tiempo de riego 5 hora. El mayor radio es de 18,6 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 42 cm.

Tratamiento T12: tiempo de riego 6 hora. El mayor radio es de 22 cm, desde la superficie hasta 2 cm de esta. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 47 cm.

4.2.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo de los tratamientos T13, T14, T15, T16, T17 y T18 del tercer bloque con caudales de 2,2 l/h

Los resultados se muestran en la Fig. N° 18 y en la Tabla N° 15.

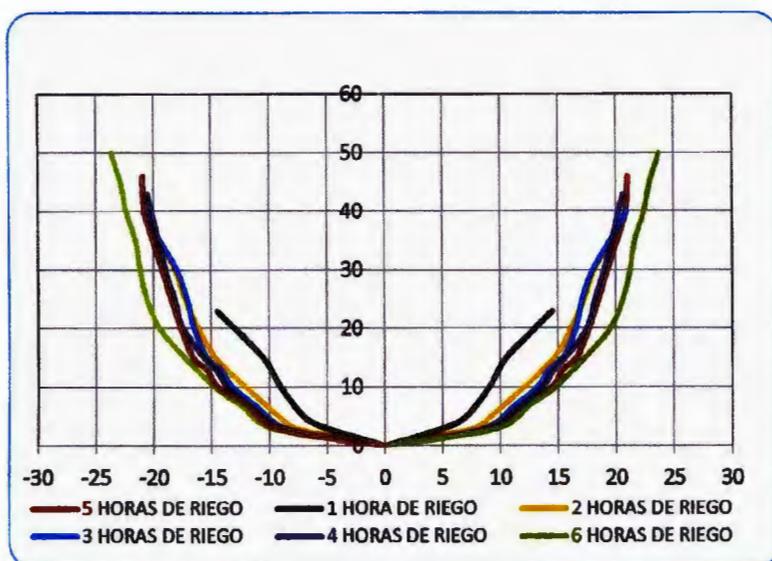


Figura N° 18: Forma y dimensiones del bulbo húmedo para el caudal de 2,2 l/h

Tabla N° 15: Dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo

T13		T14		T15		T16		T17		T18	
Profund. (cm)	Radio (cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	5,0	3,0	7,6	3,0	8,5	3,0	8,5	3,0	9,3	3,0	9,7
7,0	8,3	7,0	9,1	7,0	11,3	7,0	11,8	7,0	11,9	7,0	12,5
10,0	9,0	10,0	12,0	10,0	13,2	10,0	13,6	10,0	14,4	10,0	14,7
15,0	10,5	15,0	14,6	15,0	15,4	15,0	15,6	15,0	16,6	15,0	17,3
20,0	13,0	20,0	16,1	20,0	16,5	20,0	17,5	20,0	17,7	20,0	19,5
23,0	14,5	25,0	17,3	25,0	17,1	25,0	18,2	25,0	18,5	25,0	20,6
		30,0	18,1	30,0	18,0	30,0	19,0	30,0	19,3	30,0	21,2
		35,0	19,5	35,0	19,5	35,0	19,6	35,0	20,1	35,0	21,6
				40,0	20,9	43,0	20,6	40,0	20,8	40,0	22,4
								46,0	21,0	45,0	22,9
										50,0	23,7

En los tratamientos T13, T14, T15, T16, T17 y T18, de acuerdo a los datos obtenidos que se muestran, las dimensiones mayores de radio del bulbo húmedo se encuentran en todos los casos en la superficie del terreno, de igual manera que para el caudal 1,1 l/h. De acuerdo al tiempo de aplicación de riego, las pruebas de campo dieron los siguientes resultados:

Tratamiento T13: tiempo de riego 1 hora. El mayor radio es de 14,5 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 23 cm.

Tratamiento T14: tiempo de riego 2 hora. El mayor radio es de 19,5 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 35 cm.

Tratamiento T15: tiempo de riego 3 hora. El mayor radio es de 20,9 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 40 cm.

Tratamiento T16: tiempo de riego 4 hora. El mayor radio es de 20,6 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 43 cm.

Tratamiento T17: tiempo de riego 5 hora. El mayor radio es de 21 cm, en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 46 cm.

Tratamiento T18: tiempo de riego 6 hora. El mayor radio es de 23,7 cm, también en la superficie. La profundidad máxima que alcanza el bulbo es de 50 cm.

4.3 COMPARACION DE LOS RADIOS Y PROFUNDIDADES DEL BULBO HÚMEDO SEGÚN CAUDAL PARA EL SUELO FRANCO

4.3.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando una hora de riego

En la *Tabla N° 16* y en la *Fig. N° 19* se presentan las dimensiones de profundidades y radios del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Para una hora de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h la variación en la profundidad es de 1 cm y no hay variación en el radio, lo que significa que para estas condiciones sería lo mismo regar con cualquiera de los dos caudales. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h la variación de radio es de 1,3 cm y de profundidad 4 cm, observándose que el radio y profundidad aumentan con el caudal.

Tabla N° 16: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con una hora de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,5	3,0	8,2	3,0	8,4
5,0	9,1	5,0	10,4	5,0	10,4
7,0	11,1	7,0	11,7	7,0	11,3
10,0	12,6	10,0	13,0	10,0	12,3
13,0	13,5	13,0	14,1	13,0	13,5
15,0	13,9	15,0	13,9	17,0	14,4
16,0	13,7			19,0	15,2

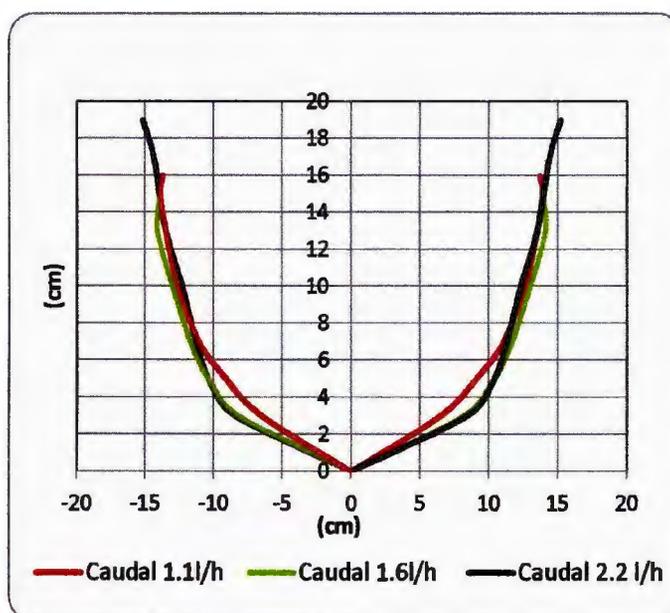


Figura N° 19: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en una hora de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

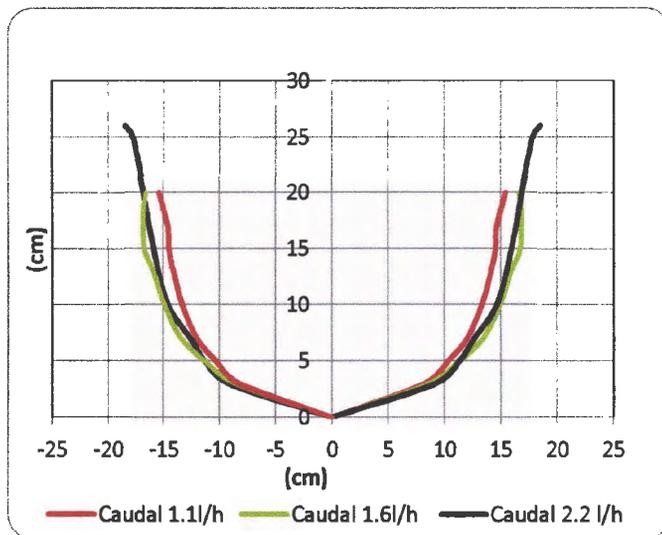
4.3.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando dos horas de riego

En la *Tabla N° 17* y en la *Fig. N° 20* se presentan las dimensiones de radios y profundidades del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 17: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con dos horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	8,2	3,0	8,6	3,0	9,2
5,0	10,3	5,0	11,3	5,0	11,3
7,0	12,0	7,0	13,4	7,0	12,6
10,0	13,3	10,0	14,9	10,0	14,6
13,0	14,1	13,0	15,9	15,0	15,9
15,0	14,5	15,0	16,7	20,0	16,8
17,0	14,6	18,0	16,8	25,0	17,8
20,0	15,4	20,0	16,6	26,0	18,5

Figura N° 20: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en dos horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para dos horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h la variación de radio es de 1,2 cm y la profundidad es la misma, por lo que para estas condiciones sería lo mismo regar con cualquiera de los dos caudales. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h la variación de radio es de 1,9 cm y de profundidad 6 cm, observándose que ambos parámetros aumentan con el caudal.

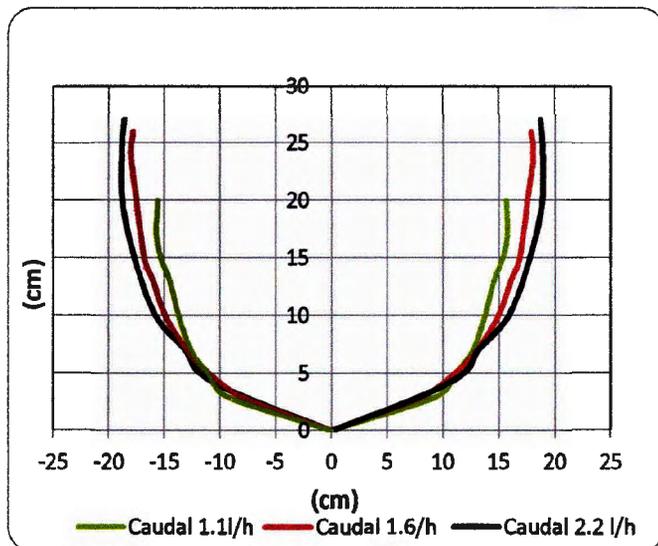
4.3.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando tres horas de riego

En la *Tabla N° 18* y en la *Fig. N° 21* se presentan las dimensiones de radios y profundidades del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 18: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	9,4	3,0	8,1	3,0	7,9
5,0	11,1	5,0	11,0	5,0	11,8
7,0	12,6	7,0	13,0	7,0	13,1
10,0	13,7	10,0	14,9	10,0	15,8
13,0	14,5	13,0	16,0	15,0	17,7
15,0	15,3	15,0	16,8	20,0	18,8
17,0	15,7	20,0	17,5	25,0	18,8
20,0	15,6	24,0	18,0	27,0	18,6
		26,0	17,8		

Figura N° 21: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



Para tres horas de riego, entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio aumenta 2,2 cm y la profundidad 6 cm. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h la variación del radio es de 0,8 cm y de la profundidad 1 cm.

4.3.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando cuatro horas de riego

En la *Tabla N° 19* y en la *Fig. N° 22* se presentan las dimensiones de radios y profundidades del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 19: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con cuatro horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	9,3	3,0	7,9	3,0	10,2
5,0	11,9	5,0	10,0	5,0	12,8
7,0	13,8	7,0	12,0	7,0	14,8
10,0	15,6	10,0	14,6	10,0	17,8
13,0	16,9	13,0	16,3	15,0	20,6
15,0	17,7	15,0	17,8	20,0	21,9
17,0	18,1	20,0	19,6	25,0	21,4
20,0	18,6	24,0	20,9	29,0	20,9
25,0	17,5	26,0	21,2		
		28,0	20,3		
		30,0	19,8		

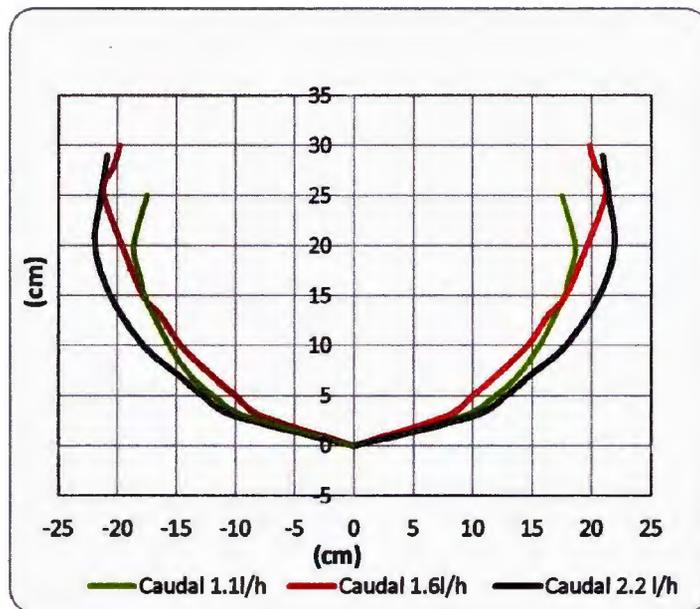


Figura N° 22: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en cuatro horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para cuatro horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio aumenta 2,3 cm y la profundidad 5 cm. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el radio aumentó 1,1 cm y la profundidad 1 cm. Se puede observar para este tiempo de riego las variaciones de las dimensiones de radio y profundidad no son proporcionales al aumento de caudal. Se observo que entre el caudal 1.6l/h y 2.2 l/h las dimensiones de profundidad disminuye pero las de radio aumenta.

4.3.5 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando cinco horas de riego

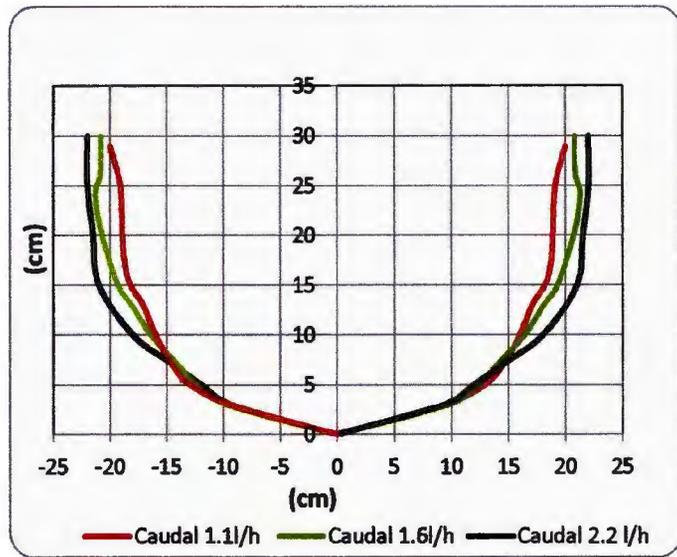
En la *Tabla N° 20* y en la *Fig. N° 23* se presentan las dimensiones de radios y profundidades del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 20: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con cinco horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	9,4	3,0	9,7	3,0	9,3
5,0	12,9	5,0	12,4	5,0	11,9
7,0	14,5	7,0	14,0	7,0	14,4
10,0	16,0	10,0	16,4	10,0	18,0
13,0	17,1	13,0	18,1	15,0	21,0
15,0	18,2	15,0	19,3	20,0	21,5
17,0	18,7	20,0	20,7	25,0	22,0
20,0	18,9	24,0	21,3	30,0	22,0
25,0	19,1	26,0	20,9		
29,0	20,0	28,0	20,8		
		30,0	20,8		

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para cinco horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el aumento de radio es 0,8 cm y de profundidad es 1cm. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el radio aumentó 1,2 cm y la profundidad es la misma. Como se obtuvieron pequeñas variaciones con este tiempo de riego se podría considerar regar con cualquiera de los tres caudales.

Figura N° 23: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en cinco horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



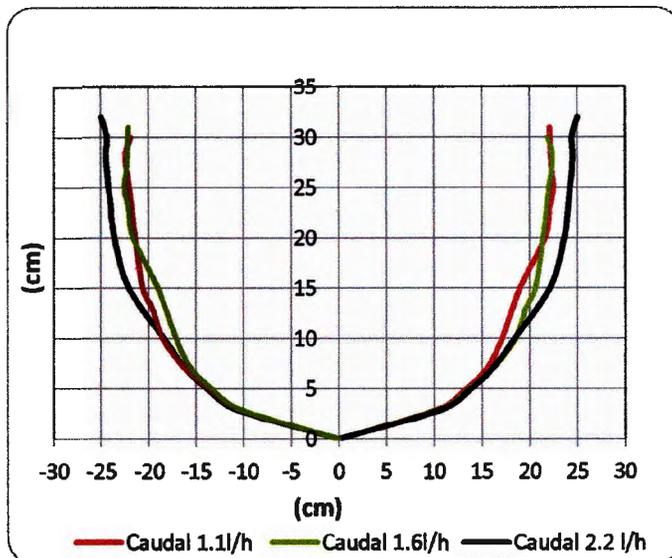
4.3.6 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando seis horas de riego

En la *Tabla N° 21* y en la *Fig. N° 24* se presentan las dimensiones de radios y profundidades del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 21: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con seis horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	10,5	3,0	10,6	3,0	10,9
5,0	13,3	5,0	13,6	5,0	13,8
7,0	15,5	7,0	16,1	7,0	16,1
10,0	17,1	10,0	18,5	10,0	18,4
15,0	19,0	13,0	19,6	15,0	22,1
20,0	21,6	15,0	20,6	20,0	23,6
23,0	22,1	20,0	21,4	24,0	24,1
25,0	22,5	24,0	21,9	28,0	24,5
27,0	22,3	28,0	22,4	30,0	24,4
31,0	22,1	30,0	21,9	32,0	25,0

Figura N° 24: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en seis horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para seis horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio disminuyó en 0,2 cm y la profundidad en 1 cm, como las variaciones son pequeñas se podría considerar cualquiera de los dos caudales para el riego. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el radio aumentó 3,1 cm y la profundidad 2 cm. Como se observa que hay variación proporcional con estos dos caudales con seis horas de riego, se deberá realizar el análisis para determinar cuál sería el caudal apropiado para el diseño agronómico.

4.4 COMPARACION DE LOS RADIOS Y PROFUNDIDADES DEL BULBO HÚMEDO SEGÚN CAUDAL PARA EL SUELO ARENOSO

4.4.1 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando una hora de riego

En la *Tabla N° 22* y en la *Fig. N° 25* se presentan las dimensiones de profundidades y radios del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo, para una hora de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio disminuyó 0,5 cm pero la profundidad aumentó 2,5 cm. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el radio aumentó 1 cm pero la profundidad fue menor en 2,5 cm.

Tabla N° 22: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con una hora de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	5,0	3,0	7,5	3,0	5,0
5,0	7,1	5,0	9,1	7,0	8,3
7,0	8,3	10,0	9,9	10,0	9,0
10,0	10,5	15,0	11,2	15,0	10,5
15,0	12,5	20,0	13,2	20,0	13,0
20,0	13,0	25,0	13,8	23,0	14,5
23,0	14,0	25,5	13,5		

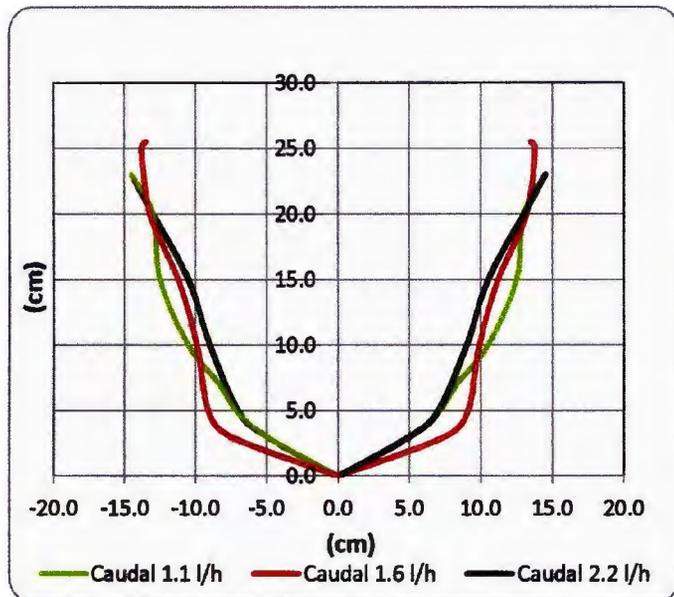


Figura N° 25: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en una hora de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

4.4.2 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando dos horas de riego

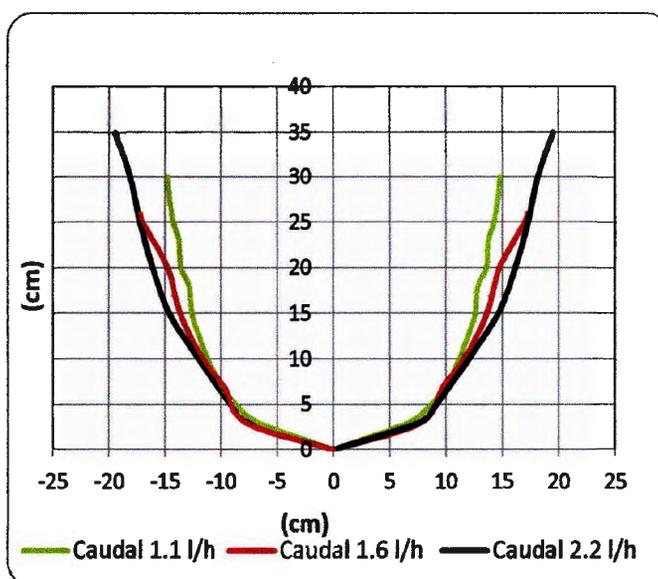
En la *Tabla N° 23* y en la *Fig. N° 26* se presentan las dimensiones de profundidades y radios del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 23: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con dos horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,7	3,0	7,8	3,0	7,6
5,0	8,7	5,0	9,0	7,0	9,1
7,0	9,9	10,0	11,6	10,0	12,0
10,0	11,2	15,0	13,6	15,0	14,6
15,0	12,6	20,0	14,8	20,0	16,1
20,0	13,6	25,0	17,0	25,0	17,3
25,0	14,3	26,0	17,3	30,0	18,1
30,0	14,8			35,0	19,5

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo, para dos horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio aumentó 2,5 cm pero la profundidad disminuyó 4 cm. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el radio aumentó 2,2 cm y la profundidad 9 cm. Se puede observar que la variación no es proporcional, siendo mayor en profundidad, debido probablemente a la textura arenosa del suelo.

Figura N° 26: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en dos horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



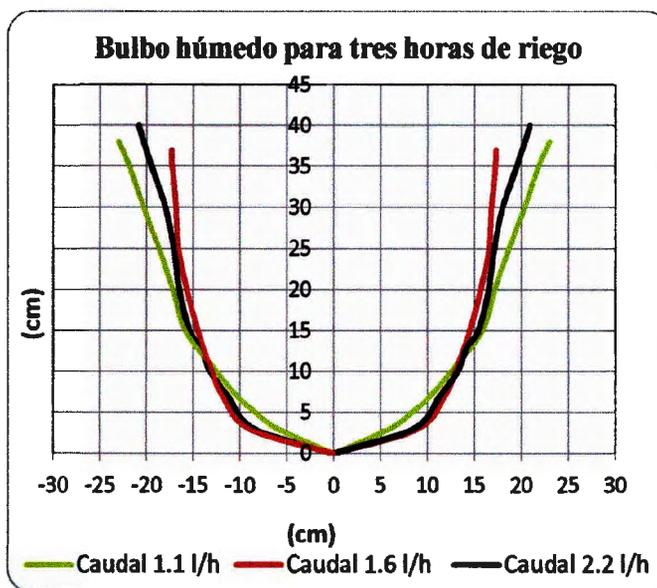
4.4.3 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando tres horas de riego

En la *Tabla N° 24* y en la *Fig. N° 27* se presentan las dimensiones de profundidades y radios del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 24: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,0	3,0	9,0	3,0	8,5
5,0	8,3	5,0	10,8	7,0	11,3
7,0	10,3	10,0	13,0	10,0	13,2
10,0	12,5	15,0	14,5	15,0	15,4
15,0	15,8	20,0	15,7	20,0	16,5
20,0	17,2	25,0	16,6	25,0	17,1
25,0	18,7	30,0	16,8	30,0	18,0
30,0	20,3	35,0	17,3	35,0	19,5
35,0	21,8	37,0	17,3	40,0	20,9
38,0	23,0				

Figura N° 27: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en tres horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



Para tres horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio disminuyó 5,7 cm y la profundidad 1 cm, observándose que la variación no siempre es proporcional con el aumento de caudal. También se puede apreciar que la forma del bulbo húmedo para el caudal de 1,6 l/h es más uniforme desde la base en comparación con el caudal de 1,1 l/h que en la base es más estrecha y en la superficie más amplia. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el radio aumentó 3,6 cm y la profundidad 3 cm, incrementando las dimensiones con el aumento del caudal.

4.4.4 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando cuatro horas de riego

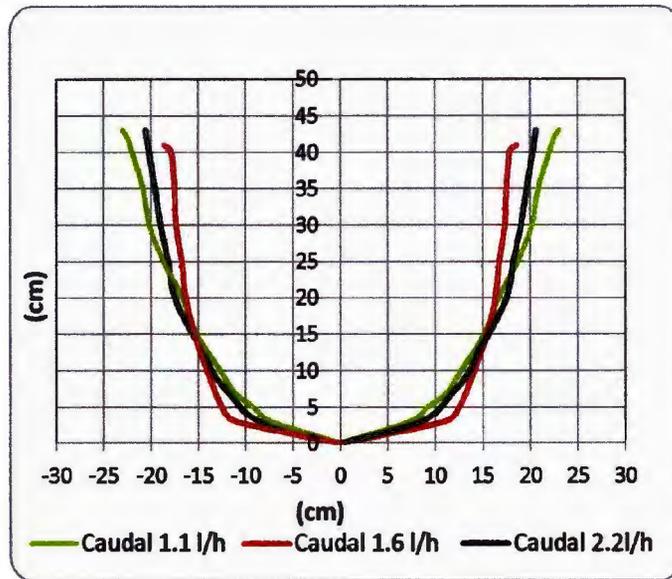
En la *Tabla N° 25* y en la *Fig. N° 28* se presentan las dimensiones de profundidades y radios del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 25: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con cuatro horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	7,3	3,0	11,0	3,0	8,5
5,0	9,2	5,0	12,5	7,0	11,8
7,0	11,2	10,0	14,1	10,0	13,6
10,0	12,7	15,0	15,4	15,0	15,6
15,0	15,2	20,0	16,3	20,0	17,5
20,0	16,7	25,0	16,8	25,0	18,2
25,0	18,7	30,0	17,3	30,0	19,0
30,0	20,2	35,0	17,5	35,0	19,6
35,0	20,8	40,0	17,8	43,0	20,6
40,0	22,0	41,0	18,6		
43,0	23,0				

Para cuatro horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio disminuyó 4,4 cm y la profundidad 2 cm, observando que para el segundo caudal la forma del bulbo es más alargada y uniforme en su base comparado con el primer caudal que en la base es más angosta y más amplia en la superficie. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el aumento de radio y profundidad es de 2 cm, observándose incremento conforme aumentó el caudal.

Figura N° 28: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en cuatro horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



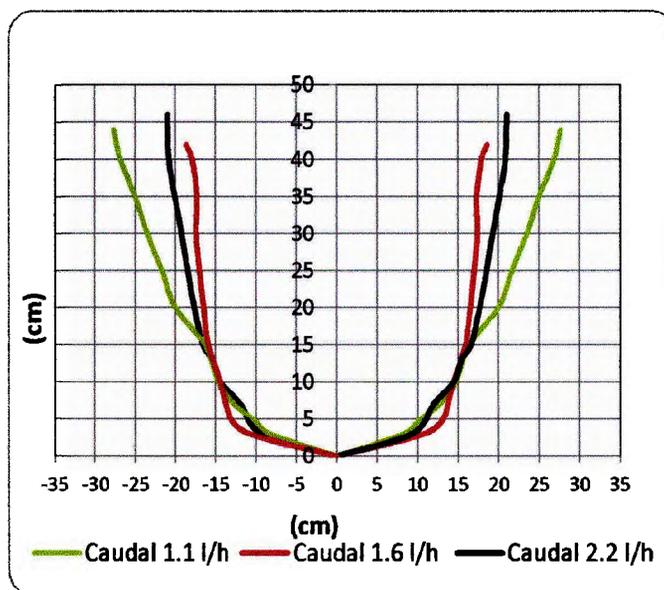
4.4.5 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando cinco horas de riego

En la *Tabla N° 26* y en la *Fig. N° 29* se presentan las dimensiones de profundidades y radios del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

Tabla N° 26: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con cinco horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	8,3	3,0	10,8	3,0	9,3
5,0	10,3	5,0	13,1	7,0	11,9
7,0	12,7	10,0	14,4	10,0	14,4
10,0	14,7	15,0	15,9	15,0	16,6
15,0	16,3	20,0	16,5	20,0	17,7
20,0	20,0	25,0	17,0	25,0	18,5
25,0	21,7	30,0	17,4	30,0	19,3
30,0	23,5	35,0	17,3	35,0	20,1
35,0	25,0	40,0	17,9	40,0	20,8
40,0	26,8	42,0	18,6	46,0	21,0
44,0	27,7				

Figura N° 29: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en cinco horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo, para cinco horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio disminuyó 9,1 cm y la profundidad 2 cm. Se observa en el segundo caudal que la forma del bulbo es más alargada y uniforme en su base comparado con el primer caudal donde la base es más angosta y más ancha en la superficie. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el radio aumentó 2,4 cm y la profundidad 4 cm, observándose variación en radio y profundidad con el aumento de caudal.

4.4.6 Forma y dimensión del bulbo húmedo con caudal 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, aplicando para seis horas de riego

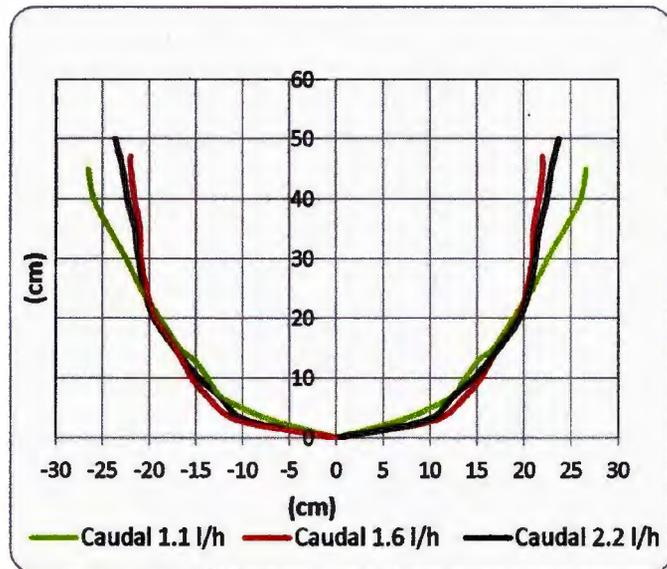
En la *Tabla N° 27* y en la *Fig. N° 30* se presentan las dimensiones de profundidades y radios del bulbo húmedo para caudales 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h.

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo, para seis horas de riego entre el caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h el radio de disminuyó 4,6 cm pero la profundidad aumentó 2 cm. Se puede observar en el segundo caudal que la forma del bulbo es más alargada y uniforme en su base comparado con el primer caudal donde la base es más angosta y más amplia en la superficie; conforme aumentó el caudal aumentó la profundidad. Entre el caudal 1,6 l/h y 2,2 l/h el radio aumentó 1,7 cm y la profundidad 3 cm, observándose incremento en radio y profundidad conforme aumentó el caudal.

Tabla N° 27: Variación de dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo con seis horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Radio (cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,9	3,0	10,6	3,0	9,7
5,0	10,1	5,0	13,8	7,0	12,5
7,0	12,4	10,0	15,4	10,0	14,7
10,0	13,8	15,0	17,2	15,0	17,3
15,0	16,8	20,0	19,4	20,0	19,5
20,0	18,8	25,0	20,3	25,0	20,6
25,0	20,9	30,0	20,9	30,0	21,2
30,0	22,5	35,0	21,0	35,0	21,6
35,0	24,3	40,0	21,6	40,0	22,4
40,0	26,0	45,0	22,0	45,0	22,9
45,0	26,6	47,0	22,0	50,0	23,7

Figura N° 30: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en seis horas de riego para caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h



4.5 COMPARACION DE FORMA Y DIMENSIONAMIENTO DEL BULBO HÚMEDO SEGÚN TEXTURA

En la *Tabla N° 28* se presentan las dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h, con diferentes tiempos de riego.

Tabla 28: Variación de dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando diferentes caudales y tiempos de riego

T1 (caudal 1,1l/h - 1 hora)	13,7	14,5	16,0	23,0
T7 (caudal 1,6l/h - 1 hora)	13,9	13,5	15,0	25,5
T13 (caudal 2,2l/h - 1 hora)	15,2	14,5	19,0	23,0
T2 (caudal 1,1l/h - 2 hora)	15,4	14,8	20,0	30,0
T8 (caudal 1,6l/h - 2 hora)	16,6	17,3	20,0	26,0
T14 (caudal 2,2l/h - 2 hora)	18,5	19,5	26,0	35,0
T3 (caudal 1,1l/h - 3 hora)	15,6	23,0	20,0	38,0
T9 (caudal 1,6l/h - 3 hora)	17,8	17,3	26,0	37,0
T15 (caudal 2,2l/h - 3 hora)	18,6	20,9	27,0	40,0
T4 (caudal 1,1l/h - 4 hora)	17,5	23,0	25,0	43,0
T10 (caudal 1,6l/h - 4 hora)	19,8	18,6	30,0	41,0
T16 (caudal 2,2l/h - 4 hora)	20,9	20,6	29,0	43,0
T5 (caudal 1,1l/h - 5 hora)	20,0	27,7	29,0	44,0
T11 (caudal 1,6l/h - 5 hora)	20,8	18,6	30,0	42,0
T17 (caudal 2,2l/h - 5 hora)	22,0	21,0	30,0	46,0
T6 (caudal 1,1l/h - 6 hora)	22,1	26,6	31,0	45,0
T12 (caudal 1,6l/h - 6 hora)	21,9	22,0	30,0	47,0
T18 (caudal 2,3l/h - 6 hora)	25,0	23,7	32,0	50,0

En la *Fig. N° 31* se presentan las dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, para una hora de riego.

Se puede observar que en el suelo franco la mayoría de los radios son mayores que en el suelo arenoso, mientras que en profundidad todos son menores, notándose que el bulbo húmedo del suelo arenoso es un elipsoide alargado. Para

un caudal 1,1 l/h el radio en el suelo franco es menor en 0,8 cm y la profundidad menor en 7 cm; para un caudal 1,6 l/h el radio es mayor en 0,4 cm y la profundidad menor en 10,5 cm y para un caudal de 2,2 l/h el radio es mayor en 0,7 cm y la profundidad menor en 4 cm.

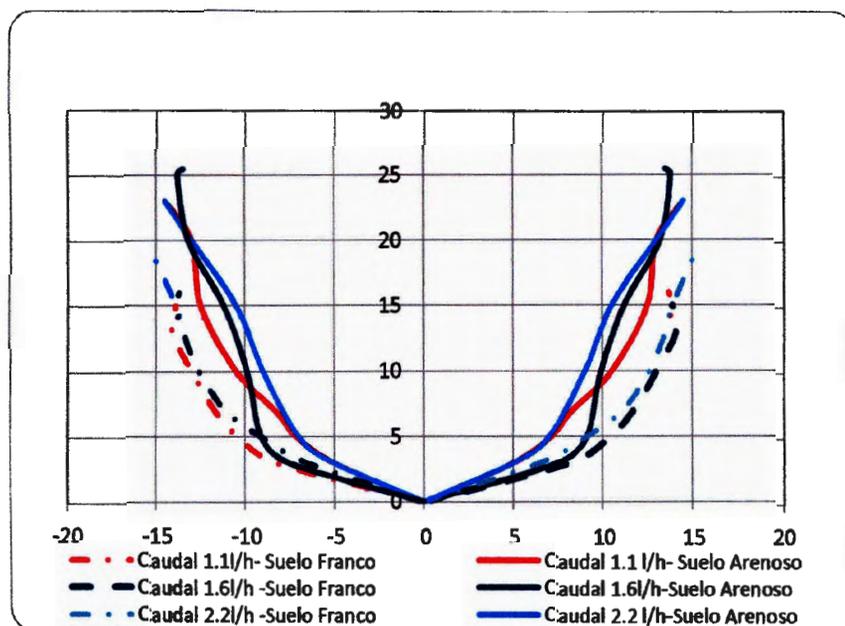


Figura 31: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con una hora de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h

En la Fig. N° 32 se presentan las dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, para dos horas de riego.

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para dos horas de riego se puede observar que en el suelo franco solo una dimensión de radio es mayor que en el suelo arenoso mientras que en profundidad todas son menores. El bulbo húmedo del suelo arenoso es un elipsoide alargado que tiene más profundidad que el del suelo franco. Para un caudal 1,1 l/h el radio aumenta en 0,6 cm en el suelo franco y la profundidad disminuye 10 cm; para un caudal 1,6 l/h el radio del suelo franco disminuye 0,7 cm y la profundidad 6 cm, con respecto al suelo arenoso y para un caudal de 2,2 l/h el radio es menor en 1cm y la profundidad también menor en 9 cm. Se pudo

apreciar que hay variación notable en profundidad comparando mismo caudal pero diferente textura.

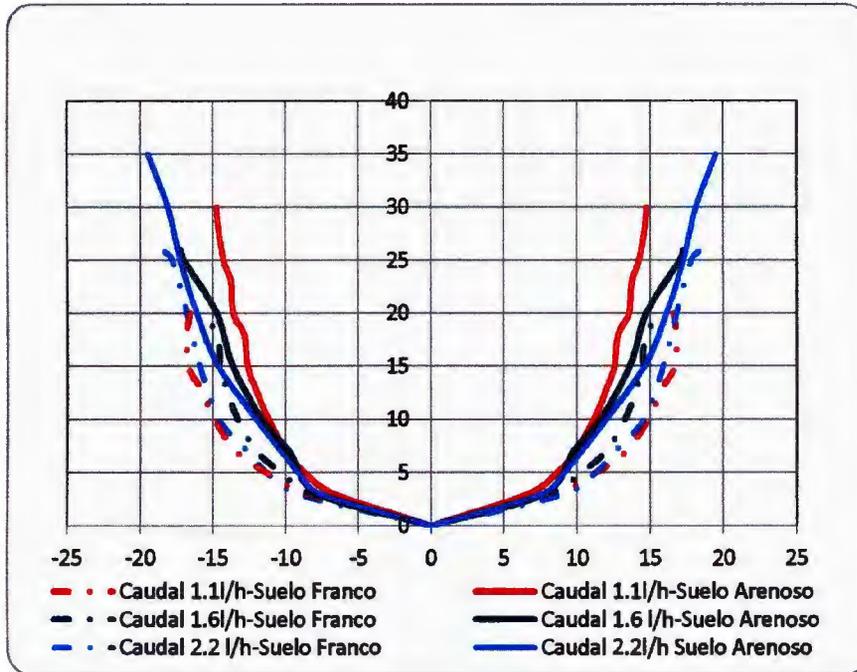


Figura 32: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con dos horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h

En la Fig. N° 33 se presentan las dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, para tres horas de riego.

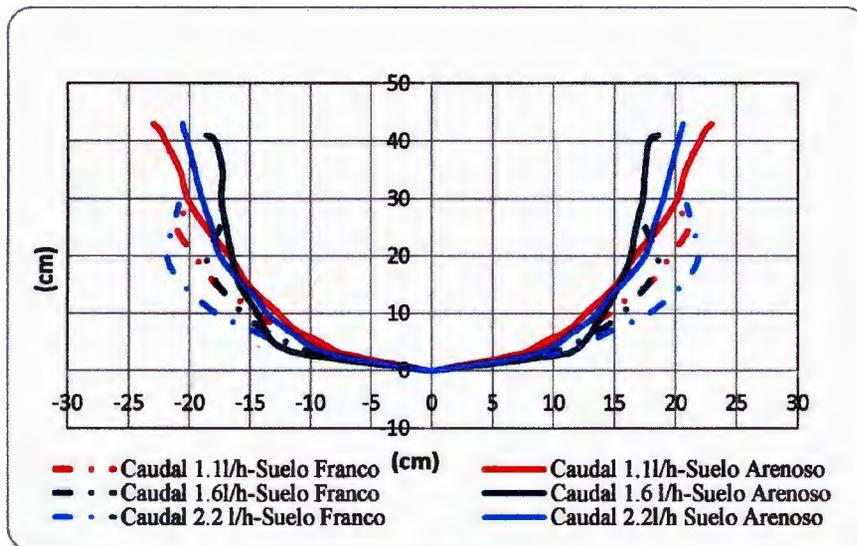


Figura 33: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con tres horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para tres horas de riego se puede observar que en un suelo franco casi todas las dimensiones de radio y todas las profundidades son menores que en un suelo arenoso, observándose que el bulbo húmedo del suelo arenoso es un elipsoide alargado. Para un caudal 1,1 l/h el radio del suelo franco disminuye 7,4 cm y la profundidad en 18 cm con respecto al suelo arenoso; para un caudal 1,6 l/h el radio aumenta 0,5 cm y la profundidad disminuye 11 cm, mientras que para un caudal de 2,2 l/h el radio es menor en 2,3 cm y la profundidad en 13 cm. Se pudo observar también que hay variación notable en profundidad comparando mismo caudal pero diferente textura.

En la Fig. N° 34 se presentan las dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, para cuatro horas de riego.

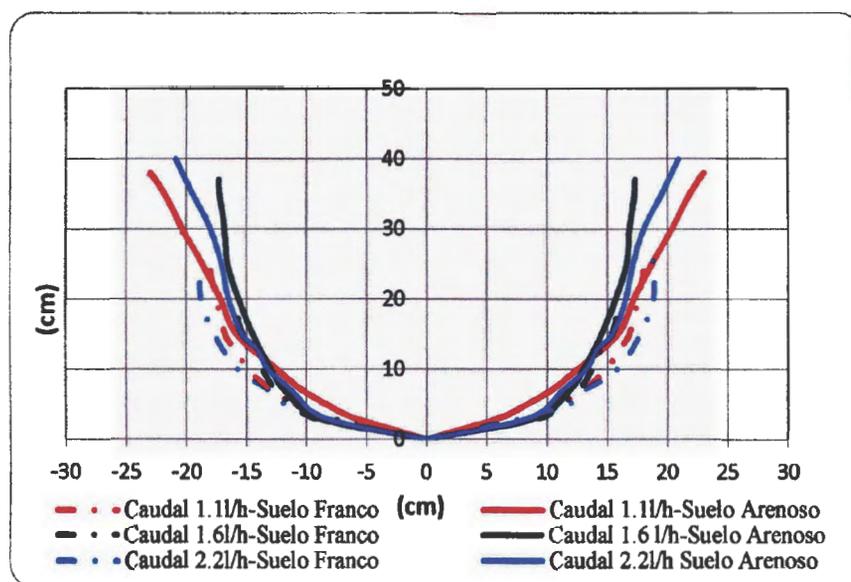


Figura 34: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con cuatro horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para cuatro horas de riego se puede observar que en un suelo franco todas las dimensiones de profundidad son menores que en un suelo arenoso, observándose que el bulbo húmedo del suelo arenoso es un elipsoide alargado desde la base. Para un caudal 1,1 l/h el radio disminuyó en 5,5 cm y la profundidad en 18 cm; para un caudal 1,6 l/h el radio es mayor en 1,2 cm y la profundidad menor en 11 cm, mientras que para un caudal de 2,2 l/h el radio es mayor en 0,3 cm y la profundidad menor en 14 cm. Se pudo observar que la variación es notoria en profundidad comparando los caudales en diferente textura.

En la Fig. N° 35 se presentan las dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, para cinco horas de riego.

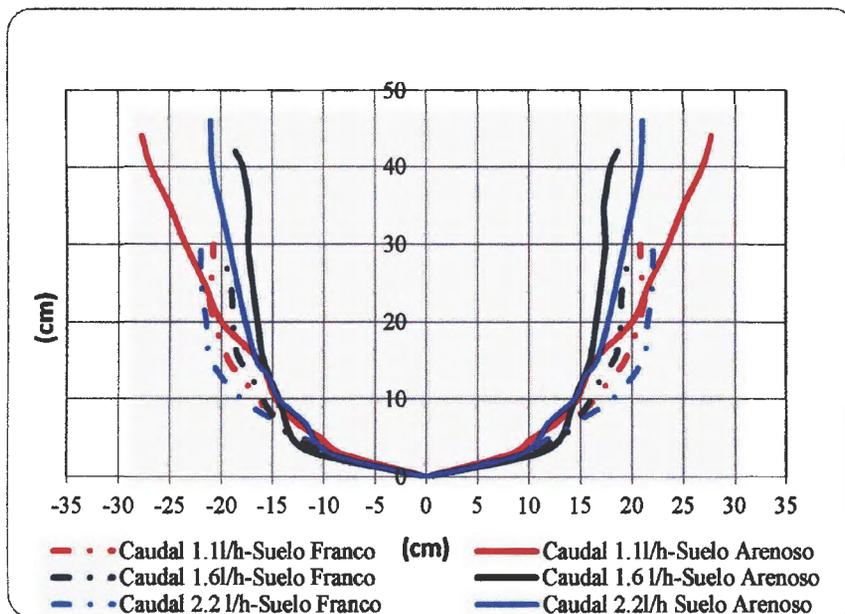


Figura 35: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con cinco horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para cinco horas de riego, se puede observar que en un suelo franco las dimensiones de profundidad son menores que en un suelo arenoso, observándose que el bulbo húmedo del suelo arenoso es un elipsoide alargado desde la base. Para un caudal 1,1 l/h el radio del suelo franco es menor en 7,7 cm y la profundidad en 15 cm, comparado con el suelo arenoso. Con caudal 1,6 l/h el radio es mayor en 2,2 cm y la profundidad menor en 12 cm, mientras

que para un caudal de 2,2 l/h el radio aumenta 1,0 cm y la profundidad disminuye 16 cm. Se observa también que la variación es notoria en profundidad comparando el mismo caudal pero diferente textura.

En la Fig. N° 36 se presentan las dimensiones medias de radio y profundidad del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, aplicando caudales de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, para seis horas de riego.

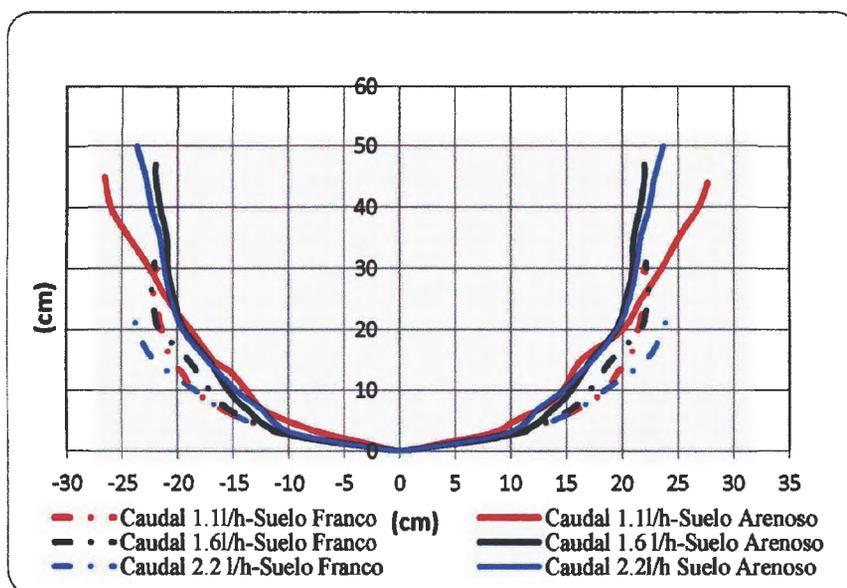


Figura 36: Forma y dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa, con seis horas de riego, aplicando caudales de 1,1 l/h; 1,6 l/h y 2,2 l/h

De acuerdo a los datos registrados de las pruebas de campo para seis horas de riego se puede observar que en un suelo franco las dimensiones de profundidad son menores que en un suelo arenoso, observándose que también el bulbo húmedo del suelo arenoso es un elipsoide alargado desde la base. Para un caudal 1,1 l/h el radio del suelo franco es menor en 4,5 cm y la profundidad en 14 cm, comparado con el suelo arenoso. Para un caudal 1,6 l/h el radio disminuye 0,1 cm y la profundidad 17 cm y para un caudal 2,2 l/h el radio aumenta 1,3 cm y profundidad disminuye 18 cm. Se pudo observar que la variación es notoria en profundidad comparando los tres caudales con diferente textura.

4.6 GRAFICO DE RESULTADOS FINALES

En el grafico se observa las dimensiones de radio y profundidad evaluados en tres caudales diferentes 1.1l/h, 1.6l/h y 2.2 l/h y con seis tiempos de horas de riego diferente respectivamente en los dos suelos.

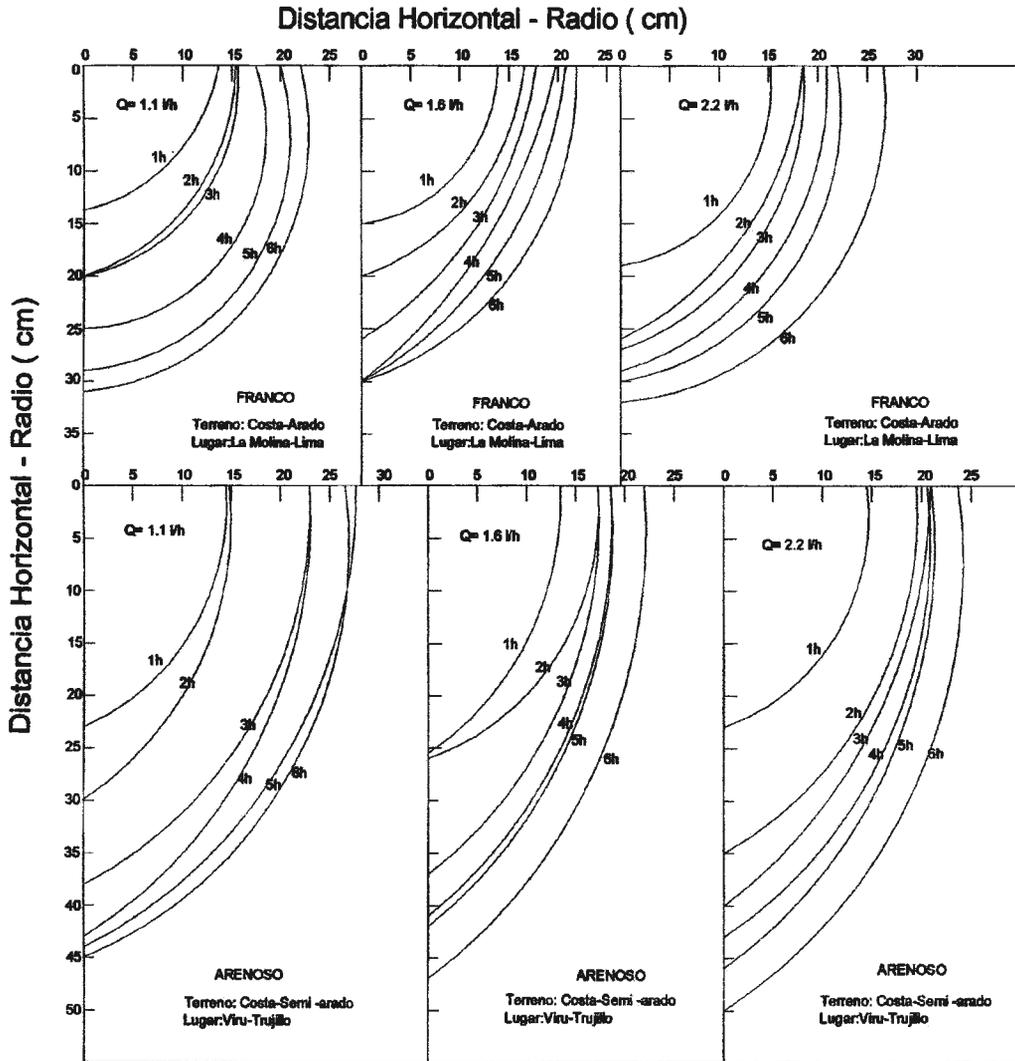


Figura 37: Grafico de dimensiones del bulbo húmedo en texturas franca y arenosa.

4.7 ANALISIS ESTADISTICO DE RADIO Y PROFUNDIDAD SEGÚN CAUDAL Y TIPO DE SUELO.

Obtenidos los datos de campo, ordenados y procesados mediante las bases de la estadística establecida, R. A. Fisher 1920. Nos permite desarrollar el análisis de ANOVA (R project) de las dimensiones de radio y profundidad del bulbo húmedo según caudal y tipo de suelo. De los cuales se obtuvo:

Diferencia de radio en suelo arenoso y franco.

SUELO	N	Media	Desv.Est.	estándar
FRANCO	108	18.41	3.39	0.33
ARENOSO	108	19..69	4.55	0.44

Diferencia = μ (AA) - μ (BB)

Estimado de la diferencia: -1,284

IC de 95% para la diferencia: (-2,361; -0,207)

Valor T = -2,35 Valor P = 0,020 GL = 197.

Se puede concluir que si existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de radio entre dos tipos de suelo y diferentes horas de riego.

Diferencia de profundidad en suelo arenoso y franco.

	N	Media	Desv.Est.	estándar
FRANCO	108	24,76	5.53	0.53
ARENOSO	108	37.78	9.63	0.93

Diferencia = μ (AA) - μ (BB)

Estimado de la diferencia: -13,02

IC de 95% para la diferencia: (-15,13; -10,91)

Valor T = -12,18 Valor P = 0,000 GL = 170

Se puede concluir que si existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de profundidad entre dos tipos de suelo y diferentes horas de riego.

Diferencia de radio – caudal en suelo franco.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CAUDAL	2	18.7	9.4	0.81	0.447
ERROR	105	1214.1	11.6		
TOTAL	107	1232.9			

Se puede concluir que no existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de radio entre tres tipos de caudal en suelo franco.

Diferencia de profundidad – caudal en suelo franco.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CAUDAL	2	168.1	84	2.84	0.063
ERROR	105	3109.7	29.6		
TOTAL	107	3277.7			

Se puede concluir que no existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de profundidad entre tres tipos de caudal en suelo franco.

Diferencia de radio – caudal en suelo arenoso.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CAUDAL	2	105.4	52.7	0.56	0.571
ERROR	105	9823.3	93.6		
TOTAL	107	9928.7			

Se puede concluir que no existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de radio entre tres tipos de caudal en suelo arenoso.

Diferencia de profundidad – caudal en suelo arenoso.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CAUDAL	2	289.3	144.6	7.9	0.001
ERROR	105	1923.1	18.3		
TOTAL	107	2212.4			

Se puede concluir que si existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de profundidad entre tres tipos de caudal en suelo arenoso.

Diferencia de radio – tiempo de riego en suelo franco.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CAUDAL	5	942.39	188.48	66.18	0
ERROR	102	290.48	2.85		
TOTAL	107	1232.88			

Se puede concluir que existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de radio entre tres tipos de caudal en suelo franco.

Diferencia de profundidad – tiempo en suelo franco.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CAUDAL	5	2571.41	514.28	74.27	0
ERROR	102	706.33	6.92		
TOTAL	107	3277.74			

Se puede concluir que existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de profundidad entre tres tipos de caudal en suelo franco.

Diferencia de radio – caudal en suelo arenoso.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CAUDAL	5	1258.59	251.72	26.92	0
ERROR	102	953.76	9.35		
TOTAL	107	2212.36			

Se puede concluir que existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de radio entre tres tipos de caudal en suelo arenoso.

Diferencia de profundidad – caudal en suelo arenoso.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CAUDAL	5	9118.78	1823.76	229.69	0
ERROR	102	809.89	7.94		
TOTAL	107	9928.67			

Se puede concluir que si existe diferencia significativa a un 95% de confianza en los promedios de profundidad entre tres tipos de caudal en suelo arenoso.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La forma geométrica que describe el bulbo húmedo en superficie plana sin vegetación bajo goteros auto compensados de 1,1 l/h, 1,6 l/h y 2,2 l/h, en un suelo franco es de un elipsoide truncado mientras que en un suelo arenoso es de un elipsoide alargado truncado, donde el corte es la superficie plano del suelo.
- En suelo franco las dimensiones de radio y profundidad con diferentes caudales no varían de forma proporcional. Con caudal de 1,1 l/h con dos y tres horas de riego las dimensiones son muy parecidas, con cuatro hasta seis horas se observa que el agua avanza de forma homogénea tanto vertical como horizontalmente. Para un caudal 1,6 l/h, hasta tres horas de riego la profundidad es mayor al radio y con cuatro a seis horas la profundidad se mantiene y el radio aumenta ligeramente. Para un caudal 2,2 l/h, hasta dos horas de riego la variación de profundidad es mayor que el radio, aumentando las horas de riego la variación de radio y profundidad es mínima, en promedio 1,5 cm para ambas.
- En suelo arenoso las dimensiones de radio y profundidad con diferentes caudales no varían de forma proporcional, para todas las horas de riego la profundidad aumenta rápidamente mientras que los radios crecen ligeramente. Para un caudal de 1,1 l/h, entre dos y tres horas de riego la variación es notoria tanto en profundidad como en radio. Para un caudal de 1,6 l/h, entre una y dos horas de riego la variación del radio es mayor, manteniéndose la profundidad casi constante. Para un caudal de 2,2 l/h, entre una y dos horas de riego la variación de radio y profundidad es muy notoria.
- En suelo franco las dimensiones de radio y profundidad son muy semejantes para una y dos hora de riego con caudal 1,1 l/h y 1,6 l/h; para tres y cuatro horas de riego con caudal de 1,6 l/h y 2,2 l/h; para cinco y seis horas de riego con los tres caudales.
- En suelo arenoso las dimensiones de radio y profundidad son muy semejantes para una hora de riego con caudal de 1,1 l/h y 2,2 l/h; para dos horas de riego con caudal de 1,1 l/h y 1,6 l/h la profundidad disminuye y el radio aumenta; para tres,

cuatro y cinco horas de riego con los tres caudales la profundidad y el radio disminuyen; para seis horas de riego con caudal de 1,1 l/h y 1,6 l/h la profundidad aumenta y el radio disminuye.

- Las profundidades son mayores en el suelo arenoso que el suelo franco, mientras que las dimensiones de radio no siempre son mayores en el suelo franco.
- En suelo franco los resultados con el programa WetUp son similares en profundidad mas no en radio. En suelo arenoso con el caudal de 1,19 l/h hay mucha similitud en radio mas no en profundidad pero no hay mucha similitud con los caudales de 1,48 l/h y 2,3 l/h.
- No siempre un mismo volumen de agua con diferentes características de riego va a tener las mismas dimensiones de radio y profundidad, todo dependerá de la distribución del agua en el bulbo de humedecimiento.
- Se concluye un gráfico de resultados finales con fines prácticos para el diseño agronómico.
- Se puede concluir a un 95% de confianza que existe suficiente evidencia estadística para concluir que existe una diferencia significativa en promedio caudal del emisor* tiempo de riego en cuanto a radio y profundidad en los dos tipos de suelo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se debe continuar esta línea de investigación, con vegetación para mejorar la eficiencia del riego por goteo y la producción.
- Realizar trabajos de investigación en la aplicación del riego deficitario, como se sabe las raíces crecen de acuerdo a la profundidad de humedecimiento del suelo.
- Obtenidos de la aplicación para los fines de orientación del diseño agronómico, seleccionar las dimensiones del radio y profundidad del bulbo húmedo reportados, para su aplicación de acuerdo al objetivo que se desea.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, V.M., 2002 Sprinkler irrigation systems design usig ISADim., CIGR XV th World Congress-Chicago.
- Claude H., Pair. 1983. Irrigation. 5ª ed., editor. Irrigation Association. USA.
- Ferreyra Raúl, Selles Gabriel y Pimstein Agustín, 1997, Diseño, Manejo y Mantención de Equipos de Riego Localizado de Alta Frecuencia. Boletín INIA - Chile.
- Fuentes Yagüe, José Luis. 1992. Técnicas de riego. Madrid
- Fernández Gómez, Rafael. 2010. Riego localizado. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.
- Gil-Marín, José Alexander. 2010. Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana-Venezuela.
- Gispert Folch, J.R. y García Fábrega, J.A. 1999. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Importancia y evaluación. Departamento de Arboricultura Mediterránea. Centro de Mas Bove-Constanti. Institut de Recerca i tecnologia Agrolimentaries (IRTA) Centro de Mas Bové – Constantí (Tarragona)
- Gómez, P. Riegos a presión, aspersión y goteo. Editorial AEDOS. Barcelona, España.
- Hernández y Rodrigo J. 1991 El Riego por goteo. Publicación Num.11-12/77HD Ministerio de Agricultura y Alimentación. Dirección General de Investigación y Capacitación Agraria. Madrid, España.
- Ocwus.us.es Hidráulica y Riego.2008. Ultimo acceso_08 de octubre del 2013, disponible en: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_03.htm.
- Hidráulica y Riegos, tutorial 02-2007, Universidad de Sevilla. Editorial-España.
- Keller, J. and Karmeli D. 1974. Trickle irrigation design. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation. Glendora..
- Keller, J. 1978. Trickle irrigation. SCS. Engineering Handbook. California- USA.

- Keller J. and Merriam, J.L., 1978 Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management. Utah State Univ-Logan.
- López, R; Hernández. J.M; Pérez, A; Gonzáles, J.F. 1992. Riego Localizado. Ediciones Mundi-Prensa- Madrid, España.
- Medina San Juan, J.A. 1979. Riego por goteo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Medina San Juan, J.A. 1988 Riego por goteo, 3ra. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Netafim.com 2008. Las historias de riego por goteo de Netafim, Ultimo acceso_ 8 de octubre del 2013, disponible en www.netafim.com.mx/Quienes_somos.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. 1982. Clasificación de las Tierras del Perú. Lima. ONERN.
- Osorio, A. 1996. Riego por goteo. Conceptos y criterios de diseño. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, -México.
- Peña, C.M y Brown M.O. 2000. Forma y dimensiones geográficas del bulbo húmedo bajo los goteros en suelos ferri líticos rojos Publicación Ingeniería Hidráulica y Ambiental. -Cuba.
- Pinot, R, H. 2000. Manual de Edafología. Ed. Computec. Chile.
- Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia. 3ª Edición.. Ediciones Mundi-Prensa-Madrid, España.
- Razuri R, Luis. 1988. Diseño de riego por goteo. Centro Interamericano de desarrollo integral de aguas y tierras. C.I.D.I.A.T. Serie riego y drenaje. Mérida - Venezuela.
- Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias vol.21 no.4 (oct.-dic. 2012.) Editorial Científico Técnico -San José de las Lajas-Cuba.
- BuenasTareas.com 2012 Sistemas de riego por goteo. BuenasTareas.com, Fecha de última actualización 02-2012. Disponible en [http://www.buenastareas.com/ensayos/Sistemas-De-Riego-Por-goteo_3439196/html](http://www.buenastareas.com/ensayos/Sistemas-De-Riego-Por-goteo_3439196.html).

Anexo 2

2.1 Datos de las dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo en un suelo franco.

Pruebas de campo con un caudal de 1.1 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.

T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Profundidad	Radio										
(cm)	(cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	6,5	3	8,2	3	9,4	3	9,3	3	9,4	3	10,5
5	9,1	5	10,3	5	11,1	5	11,9	5	12,9	5	13,3
7	11,1	7	12,0	7	12,6	7	13,8	7	14,5	7	15,5
10	12,6	10	13,3	10	13,7	10	15,6	10	16,0	10	17,1
13	13,5	13	14,1	13	14,5	13	16,9	13	17,1	15	19,0
15	13,9	15	14,5	15	15,3	15	17,7	15	18,2	20	21,6
16	13,7	17	14,6	17	15,7	17	18,1	17	18,7	23	22,1
		20	15,4	20	15,6	20	18,6	20	18,9	25	22,5
						25	17,5	25	19,1	27	22,3
								29	20,0	31	22,1

2.2 Pruebas de campo con un caudal de 1.6 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.

T7		T8		T9		T10		T11		T12	
Profundidad	Radio										
(cm)	(cm)										
0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0	0,0
3	8,2	3	8,6	3	8,1	3	7,9	3	9,7	3	10,6
5	10,4	5	11,3	5	11,0	5	10,0	5	12,4	5	13,6
7	11,7	7	13,4	7	13,0	7	12,0	7	14,0	7	16,1
10	13,0	10	14,9	10	14,9	10	14,6	10	16,4	10	18,5
13	14,1	13	15,9	13	16,0	13	16,3	13	18,1	13	19,6
15	13,9	15	16,7	15	16,8	15	17,8	15	19,3	15	20,6
		18	16,8	20	17,5	20	19,6	20	20,7	20	21,4
		20	16,6	24	18,0	24	20,9	24	21,3	24	21,9
				26	17,8	26	21,2	26	20,9	28	22,4
						28	20,3	28	20,8	30	21,9
						30	19,8	30	20,8		

2.3 Pruebas de campo con un caudal de 2.2 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.

T13		T14		T15		T16		T17		T18	
Profundidad	Radio										
(cm)	(cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	8,4	3,0	9,2	3,0	7,9	3,0	10,2	3,0	9,3	3,0	10,9
5,0	10,4	5,0	11,3	5,0	11,8	5,0	12,8	5,0	11,9	5,0	13,8
7,0	11,3	7,0	12,6	7,0	13,1	7,0	14,8	7,0	14,4	7,0	16,1
10,0	12,3	10,0	14,6	10,0	15,8	10,0	17,8	10,0	18,0	10,0	18,4
13,0	13,5	15,0	15,9	15,0	17,7	15,0	20,6	15,0	21,0	15,0	22,1
17,0	14,4	20,0	16,8	20,0	18,8	20,0	21,9	20,0	21,5	20,0	23,6
19,0	15,2	25,0	17,8	25,0	18,8	25,0	21,4	25,0	22,0	24,0	24,1
		26,0	18,5	27,0	18,6	29,0	20,9	30,0	22,0	28,0	24,5
										30,0	24,4
										32,0	25,0

2.4 Datos de las dimensiones medias del radio y profundidad del bulbo húmedo en un suelo arenoso.

Pruebas de campo con un caudal de 1.1 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.

T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Profundidad	Radio										
(cm)	(cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	5,0	3,0	6,7	3,0	6,0	3,0	7,3	3,0	8,3	3,0	6,9
5,0	7,1	5,0	8,7	5,0	8,3	5,0	9,2	5,0	10,3	5,0	10,1
7,0	8,3	7,0	9,9	7,0	10,3	7,0	11,2	7,0	12,7	7,0	12,4
10,0	10,5	10,0	11,2	10,0	12,5	10,0	12,7	10,0	14,7	10,0	13,8
15,0	12,5	15,0	12,6	15,0	15,8	15,0	15,2	15,0	16,3	15,0	16,8
20,0	13,0	21,0	13,6	20,0	17,2	20,0	16,7	20,0	20,0	20,0	18,8
23,0	14,5	25,0	14,3	25,0	18,7	25,0	18,7	25,0	21,7	25,0	20,9
		30,0	14,8	30,0	20,3	30,0	20,2	30,0	23,5	30,0	22,5
				35,0	21,8	35,0	20,8	35,0	25,0	35,0	24,3
				38,0	23,0	40,0	22,0	40,0	26,8	40,0	26,0
						43,0	23,0	44,0	27,7	45,0	26,6

2.5 Pruebas de campo con un caudal de 1.6 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.

T7		T8		T9		T10		T11		T12	
Profundidad	Radio										
(cm)	(cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	7,5	3,0	7,8	3,0	9,0	3,0	11,0	3,0	10,8	3,0	10,6
5,0	9,1	5,0	9,8	5,0	11,8	5,0	12,5	5,0	13,1	5,0	13,8
10,0	9,9	10,0	11,6	10,0	13,0	10,0	14,1	10,0	14,4	10,0	15,4
15,0	11,2	15,0	13,6	15,0	14,5	15,0	15,4	15,0	15,9	15,0	17,2
20,0	13,2	20,0	14,8	20,0	15,7	20,0	16,3	20,0	16,5	20,0	19,4
25,0	13,8	25,0	17,0	25,0	16,6	25,0	16,8	25,0	17,0	25,0	20,3
25,5	13,5	26,0	17,3	30,0	16,8	30,0	17,3	30,0	17,4	30,0	20,9
				35,0	17,3	35,0	17,5	35,0	17,3	35,0	21,0
				37,0	17,3	40,0	17,8	40,0	17,9	40,0	21,6
						41,0	18,6	42,0	18,6	45,0	22,0
										47,0	22,0

2.6 Datos de pruebas de campo con un caudal de 2.2 l/h con una frecuencia de riego desde 1 hora hasta 6 horas de riego.

T13		T14		T15		T16		T17		T18	
Profundidad	Radio										
(cm)	(cm)										
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	5,0	3,0	7,6	3,0	8,5	3,0	8,5	3,0	9,3	3,0	9,7
7,0	8,3	7,0	9,1	7,0	11,3	7,0	11,8	7,0	11,9	7,0	12,5
10,0	9,0	10,0	12,0	10,0	13,2	10,0	13,6	10,0	14,4	10,0	14,7
15,0	10,5	15,0	14,6	15,0	15,4	15,0	15,6	15,0	16,6	15,0	17,3
20,0	13,0	20,0	16,1	20,0	16,5	20,0	17,5	20,0	17,7	20,0	19,5
23,0	14,5	25,0	17,3	25,0	17,1	25,0	18,2	25,0	18,5	25,0	20,6
		30,0	18,1	30,0	18,0	30,0	19,0	30,0	19,3	30,0	21,2
		35,0	19,5	35,0	19,5	35,0	19,6	35,0	20,1	35,0	21,6
				40,0	20,9	43,0	20,6	40,0	20,8	40,0	22,4
								46,0	21,0	45,0	22,9
										50,0	23,7

2.7 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en una hora de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,5	3,0	8,2	3,0	8,4
5,0	9,1	5,0	10,4	5,0	10,4
7,0	11,1	7,0	11,7	7,0	11,3
10,0	12,6	10,0	13,0	10,0	12,3
13,0	13,5	13,0	14,1	13,0	13,5
15,0	13,9	15,0	13,9	17,0	14,4
16,0	13,7			19,0	15,2

2.8 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en dos horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	8,2	3,0	8,6	3,0	9,2
5,0	10,3	5,0	11,3	5,0	11,3
7,0	12,0	7,0	13,4	7,0	12,6
10,0	13,3	10,0	14,9	10,0	14,6
13,0	14,1	13,0	15,9	15,0	15,9
15,0	14,5	15,0	16,7	20,0	16,8
17,0	14,6	18,0	16,8	25,0	17,8
20,0	15,4	20,0	16,6	26,0	18,5

2.9 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en tres horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	9,4	3,0	8,1	3,0	7,9
5,0	11,1	5,0	11,0	5,0	11,8
7,0	12,6	7,0	13,0	7,0	13,1
10,0	13,7	10,0	14,9	10,0	15,8
13,0	14,5	13,0	16,0	15,0	17,7
15,0	15,3	15,0	16,8	20,0	18,8
17,0	15,7	20,0	17,5	25,0	18,8
20,0	15,6	24,0	18,0	27,0	18,6
		26,0	17,8		

2.10 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en cuatro horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0
3,0	9,3	3,0	7,9	3,0	10,2
5,0	11,9	5,0	10,0	5,0	12,8
7,0	13,8	7,0	12,0	7,0	14,8
10,0	15,6	10,0	14,6	10,0	17,8
13,0	16,9	13,0	16,3	15,0	20,6
15,0	17,7	15,0	17,8	20,0	21,9
17,0	18,1	20,0	19,6	25,0	21,4
20,0	18,6	24,0	20,9	29,0	20,9
25,0	17,5	26,0	21,2		
		28,0	20,3		
		30,0	19,8		

2.11 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en cinco horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	9,4	3,0	9,7	3,0	9,3
5,0	12,9	5,0	12,4	5,0	11,9
7,0	14,5	7,0	14,0	7,0	14,4
10,0	16,0	10,0	16,4	10,0	18,0
13,0	17,1	13,0	18,1	15,0	21,0
15,0	18,2	15,0	19,3	20,0	21,5
17,0	18,7	20,0	20,7	25,0	22,0
20,0	18,9	24,0	21,3	30,0	22,0
25,0	19,1	26,0	20,9		
29,0	20,0	28,0	20,8		
		30,0	20,8		

2.12 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en seis horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	10,5	3,0	10,6	3,0	10,9
5,0	13,3	5,0	13,6	5,0	13,8
7,0	15,5	7,0	16,1	7,0	16,1
10,0	17,1	10,0	18,5	10,0	18,4
15,0	19,0	13,0	19,6	15,0	22,1
20,0	21,6	15,0	20,6	20,0	23,6
23,0	22,1	20,0	21,4	24,0	24,1
25,0	22,5	24,0	21,9	28,0	24,5
27,0	22,3	28,0	22,4	30,0	24,4
31,0	22,1	30,0	21,9	32,0	25,0

2.13 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo Arenoso en una hora de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	5,0	3,0	7,5	3,0	5,0
5,0	7,1	5,0	9,1	7,0	8,3
7,0	8,3	10,0	9,9	10,0	9,0
10,0	10,5	15,0	11,2	15,0	10,5
15,0	12,5	20,0	13,2	20,0	13,0
21,0	13,0	25,0	13,8	23,0	14,5
23,0	14,0	25,5	13,5		

2.14 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en dos horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,7	3,0	7,8	3,0	7,6
5,0	8,7	5,0	9,8	7,0	9,1
7,0	9,9	10,0	11,6	10,0	12,0
10,0	11,2	15,0	13,6	15,0	14,6
15,0	12,6	20,0	14,8	20,0	16,1
21,0	13,6	25,0	17,0	25,0	17,3
25,0	14,3	26,0	17,3	30,0	18,1
30,0	14,8			35,0	19,5

2.15 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en tres horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,0	3,0	9,0	3,0	8,5
5,0	8,3	5,0	11,8	7,0	11,3
7,0	10,3	10,0	13,0	10,0	13,2
10,0	12,5	15,0	14,5	15,0	15,4
15,0	15,8	20,0	15,7	20,0	16,5
20,0	17,2	25,0	16,6	25,0	17,1
25,0	18,7	30,0	16,8	30,0	18,0
30,0	20,3	35,0	17,3	35,0	19,5
35,0	21,8	37,0	17,3	40,0	20,9
38,0	23,0				

2.16 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en cuatro horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	7,3	3,0	11,0	3,0	8,5
5,0	9,2	5,0	12,5	7,0	11,8
7,0	11,2	10,0	14,1	10,0	13,6
10,0	12,7	15,0	15,4	15,0	15,6
15,0	15,2	20,0	16,3	20,0	17,5
20,0	16,7	25,0	16,8	25,0	18,2
25,0	18,7	30,0	17,3	30,0	19,0
30,0	20,2	35,0	17,5	35,0	19,6
35,0	20,8	40,0	17,8	43,0	20,6
40,0	22,0	41,0	18,6		
43,0	23,0				

2.17 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en cinco horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	8,3	3,0	10,8	3,0	9,3
5,0	10,3	5,0	13,1	7,0	11,9
7,0	12,7	10,0	14,4	10,0	14,4
10,0	14,7	15,0	15,9	15,0	16,6
15,0	16,3	20,0	16,5	20,0	17,7
20,0	20,0	25,0	17,0	25,0	18,5
25,0	21,7	30,0	17,4	30,0	19,3
30,0	23,5	35,0	17,3	35,0	20,1
35,0	25,0	40,0	17,9	40,0	20,8
40,0	26,8	42,0	18,6	46,0	21,0
44,0	27,7				

2.18 Datos de radios y profundidades del bulbo húmedo según caudal para el suelo franco en seis horas de riego.

Caudal 1,1 l/h		Caudal 1,6 l/h		Caudal 2,2 l/h	
Profundidad	Radio	Profundidad	Radio	Profundidad	Radio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	6,9	3,0	10,6	3,0	9,7
5,0	10,1	5,0	13,8	7,0	12,5
7,0	12,4	10,0	15,4	10,0	14,7
10,0	13,8	15,0	17,2	15,0	17,3
15,0	16,8	20,0	19,4	20,0	19,5
20,0	18,8	25,0	20,3	25,0	20,6
25,0	20,9	30,0	20,9	30,0	21,2
30,0	22,5	35,0	21,0	35,0	21,6
35,0	24,3	40,0	21,6	40,0	22,4
40,0	26,0	45,0	22,0	45,0	22,9
45,0	26,6	47,0	22,0	50,0	23,7

2.19 Datos de forma y dimensionamiento del bulbo húmedo según textura

Tratamientos	Suelo Franco	Suelo Arenoso	Suelo Franco	Suelo Arenoso
	Radio (cm)	Radio (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)
T1(caudal 1.1l/h -1 hora)	13.7	14.5	16	23
T7(caudal 1.6l/h -1 hora)	13.9	13,5	15	26
T13(caudal 2.3l/h -1 hora)	15.2	14.5	19	23
T2(caudal 1.1l/h -2 hora)	15.4	14,8	20	30
T8(caudal 1.6l/h -2 hora)	16.6	17,3	20	26
T14(caudal 2.3l/h -2 hora)	18,5	19,5	26	35
T3(caudal 1.1l/h -3 hora)	15.6	23,0	20	38
T9(caudal 1.6l/h -3 hora)	17.8	17,3	26	37
T15(caudal 2.3l/h -3 hora)	18,6	20,9	27	40
T4(caudal 1.1l/h -4 hora)	17.5	23,0	25	43
T10(caudal 1.6l/h -4 hora)	19.8	18,6	30	41
T16(caudal 2.3l/h -4hora)	20,9	20,6	29	43
T5(caudal 1.1l/h -5 hora)	20	27,7	29	44
T11(caudal 1.6l/h -5 hora)	20.8	18,6	30	42
T17(caudal 2.3l/h -5 hora)	22	21,0	30	46
T6(caudal 1.1l/h -6 hora)	22.1	26,6	31	45
T12(caudal 1.6l/h -6 hora)	21.9	22	30	47
T18(caudal 2.3l/h -6 hora)	25	23,7	32	50

ANEXO 3

PANEL FOTOGRAFICO



FOTO1

Pruebas de calicata en campo de suelo franco.



FOTO 2

Pruebas de calicata a tres horas de riego con un caudal 1.1 l/h en campo de suelo franco.



FOTO 3

Pruebas de calicata a tres horas de riego con un caudal 1.1 l/h en campo de suelo franco-La Molina



FOTO 4

Pruebas de emisores en dos horas de riego con un caudal 1.1 l/h en campo de suelo franco-La Molina



FOTO 5

Instalación de laterales en el fundo de Viru campo suelo arenoso.



FOTO 6

Inicio de las pruebas de calicata en campo de suelo arenoso, Viru -Trujillo.



FOTO 7

Final de pruebas de calicata en campo de suelo arenoso, Viru -Trujillo.



FOTO 8

Pruebas de calicata a dos horas de riego con un caudal 1.1 l/h en campo de suelo arenoso Viru -Trujillo..



FOTO 9

Pruebas de calicata a cuatro horas de riego con un caudal 1.6 l/h en campo de suelo arenoso Viru -Trujillo.