

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA



EVALUACION DE LOS BULBOS DE HUMEDECIMIENTO
CON FINES DE GENERAR DATOS PRELIMINARES PARA EL DISEÑO
DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO

SEMINARIO DE GRADUACION PRESENTADO POR :

Santos Rafael Alemán Ortega
Carlos Roberto Bairez Pérez
Carlos Alfredo Hernández Orellana
Orlando Efrén Mena García

PREVIA OPCION AL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO

MAYO 1989

SAN SALVADOR,

EL SALVADOR,

CENTRO AMERICA.

Tesis
A364

EJ. 3

U. E. S. BIBLIOTECA
FACULTAD DE AGRONOMIA



Inventario: 13100065

663

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : LIC. LUIS ARGUETA ANTILLON

SECRETARIO GENERAL : ING. RENE MAURICIO MEJIA MENDEZ

d/ Admin. Academica fac. Ca. Ca. - 09-06-89

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO : ING. AGR. HECTOR APAMANDO MARROQUIN AREVALO

SECRETARIO : ING. AGR. JORGE ALBERTO ULLOA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

JEFE DEL DEPARTAMENTO :

MSc. ING. ELMER DAVID HERNANDEZ

ASESOR :

MSc. ELMER DAVID HERNANDEZ

JURADO CALIFICADOR :

ING. AGR. OSCAR RIGOBERTO DUEÑAS PEÑATE

MSc. ING. ALEXANDRO VALMORE PEREZ ESCOBAR

ING. AGR. CARLOS ALBERTO AGUIRRE CASTRO

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos por la colaboración prestada y de la manera desinteresada al Ing. Agr. Alirio Edmundo Mendoza y al Ms. Ing. Elmer David Hernández, asesores de nuestro trabajo por la orientación ofrecida durante el desarrollo del ensayo.

- A la Señora Marina del Carmen Rodríguez, por su valiosa colaboración en el mecanografiado del trabajo.

- A los trabajadores del Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

- A los señores asesores :
Ing. Agr. Oscar Rigoberto Dueñas
Ms. Ing. Alejandro Valmore Pérez
Ing. Carlos Alberto Aguirre
Por sus valiosas opiniones que sirvieron para mejorar el presente trabajo.

DEDICATORIA

- DEDICO A DIOS, MI TRABAJO POR HABERME DADO LA FE, -
PARA TERMINARLO.

- A MIS PADRES :
Oscar Alemán
Reina Victoria Ortega
Por el apoyo brindado para llegar a culminar mi ca-
rrera académica

- A MIS HERMANAS :
Alcida
Arely
Reina
Mairene

- Y EN FORMA ESPECIAL AL PUEBLO SALVADOREÑO, QUE CON -
SUS LUCHAS ME INSPIRO PARA FINALIZAR TODA MI CARRERA.

DEDICATORIA

- DEDICO EL PRESENTE TRABAJO A YAVE, DIOS, QUE SIEMPRE ILUMINO MI CAMINO.

- A MIS AMADOS PADRES :
Pastor Baires
Rosa Aminta de Baires
Que supieron guiarme duante todo mi estudio

- A MIS QUERIDOS HERMANOS :
Jaime Pastor
Rosa del Carmen
Por su comprensión y cariño mostrado durante el desarrollo del trabajo.

- Y EN ESPECIAL AL HEROICO PUEBLO SALVADOREÑO, QUE A TRAVES DE SUS JUSTAS LUCHAS DE LIBERACION NOS INSPIRARON PARA LLEGAR A UN FELIZ TERMINO NUESTRO TRABAJO.

DEDICATORIA

A DIOS

A MI MADRE : Olimpia Hernández

A MIS HERMANOS : Gloria Vilma
José Raúl
Ana Daysi
Ricardo Antonio
Oscar Adán
Rosi Olimpia

A MI ESPOSA : Ana Melva Herrera Menjivar de Hernández

A MI HIJA : MELVI ALEXANDRA HERNANDEZ HERRERA

A MIS DEMAS PARIENTES Y AMIGOS

A LOS INCANSABLES TRABAJADORES DEL CAMPO Y LA CIUDAD, QUE LUCHAN POR
MEJORES CONDICIONES DE VIDA.

DEDICATORIA

- A DIOS TODOPODEROSO :
Por haberme iluminado en todo momento hasta la finalización de mi carrera.

- A MIS PADRES :
Rosa Amanda y
Orlando de la Cruz
Por su abnegación, amor, sacrificio y sobre todo su fe en Dios.

- A MI HERMANO :
Por su comprensión y cariño

- A MIS FAMILIARES
Mamá Angelina
Tía Salvadora
Abuelita Victoria, y en especial a toda mi familia Menagarcía, por sus ruegos y consejos.

- A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS, POR EL FRATERNAL APOYO QUE ME BRINDARON.

ORLANDO EFREN

I N D I C E

	página
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
1. Importancia y desarrollo de la agricultura bajo riego en El Salvador	3
1.1 Importancia del riego para el desarrollo Agrícola	3
1.2 Objetivos de las obras de riego .	4
1.3 Desarrollo actual del riego en El Salvador	4
1.3.1 Superficie actual bajo riego	5
1.3.2 Perspectivas del desarrollo del riego	6
1.4 Métodos de riego	9
1.4.1 Riego superficial	10
1.4.2 Riego subterráneo	11
1.4.3 Riego por aspersión	11
1.4.4 Riego por goteo	11
1.4.5 Riego por microaspersión .	13

2.	Sistema de riego por goteo	13
2.1	Descripción y manejo del sistema de riego por goteo	13
2.2	Componentes de un sistema de rie- go por goteo	16
2.2.1	Fuente de abastecimiento .	16
2.2.2	Planta de bombeo	16
2.2.3	Cabezal de control	17
2.2.4	Red de tuberías	18
2.2.5	Goterros o emisores	19
2.2.6	Accesorios	20
2.3	Ventajas y desventajas del siste- ma de riego por goteo	21
2.3.1	Ventajas	21
2.3.2	Desventajas	24
3.	Elementos de diseño de un sistema de - riego por goteo	26
3.1	Diseño agronómico	26
3.2	Diseño geométrico	34
3.3	Diseño hidráulico	37

4.	Consideraciones sobre el volumen de <u>sue</u> lo mojado y su importancia en el diseño y eficiencia de un sistema de riego por goteo	40
4.1	Patrón de humedecimiento del suelo.	41
4.1.1	Crecimiento del bulbo hume- decido en suelo arenoso ...	46
4.1.2	Crecimiento del bulbo hume- decido en suelo arcilloso .	47
4.1.3	Crecimiento del bulbo hume- decido en suelo franco	48
4.2	Movimiento del agua en el suelo ..	49
4.3	La estimación con fines de diseño de la forma y dimensiones del volu- men de suelo mojado	51
III.	MATERIALES Y METODOS	53
1.	Localización del ensayo	53
2.	Características generales de la zona ..	53
2.1	Suelos	53
2.2	Clima	55
2.3	Recursos hídricos	59

	página
3. Características del sistema empleado.	60
3.1 Fuente de abastecimiento	60
3.2 Fuente de energía	60
3.3 Cabezal de control	60
3.4 Red de tuberías	60
3.5 Goteros	61
3.6 Accesorios	62
3.7 Disposición del sistema	62
4. Preparación del material experimental.	62
4.1 Construcción de cajas	62
4.2 Preparación del suelo	64
4.3 Llenado de cajas.	64
5. Metodología	64
5.1 Contenido de humedad	65
5.2 Velocidad de infiltración	65
5.3 Gravedad específica aparente ...	66
5.4 Gravedad específica real	66
5.5 Contenido de humedad a capacidad de campo y punto permanente de - marchitez	66
5.6 Textura del suelo	66

	página
5.7 Calibración de los goteros	66
5.8 Curvas de retención de humedad ..	67
5.9 Diámetro humedecido	69
6. Diseño estadístico	72
6.1 Variables evaluadas	72
6.2 Distribución estadística	73
IV. RESULTADOS OBTENIDOS	74
1. Propiedades físicas de los suelos en - estudio	74
1.1 Textura	74
1.2 Contenido de humedad	75
1.3 Velocidad de infiltración	76
1.4 Gravedad específica aparente	76
1.5 Gravedad específica real	76
1.6 Contenido de humedad a capacidad de campo y punto permanente de -- marchitez	76
1.7 Porcentaje de humedad volumétrica.	77
1.8 Porosidad total	79
1.9 Curvas de retención de humedad ..	79
2. Calibración de la descarga de los gote ros	81

3.	Diámetros humedecidos leídos en el cam po	81
4.	Diámetros corregidos	82
4.1	Diámetro superficial	82
4.2	Diámetro interno	82
V.	ANALISIS DE RESULTADOS	92
1.	Evaluación estadística de los resulta- dos	92
2.	Relación entre el volumen de agua apli- cado y la textura en el crecimiento -- del diámetro interno humedecido	94
VI.	APLICACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ...	96
VII.	CONCLUSIONES	105
VIII.	RECOMENDACIONES	107
IX.	BIBLIOGRAFIA	109
X.	APENDICE	112
	GLOSARIO	114

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		página
1	Riego por goteo y sus componentes principales	22
2	Patrón de humedecimiento	43
3	Comportamiento del agua en suelos de -- textura franca, arcillosa y arenosa ...	47
4	Localización del ensayo	54
5	Ubicación de los puntos de recolección - de los suelos	56
6	Disposición del sistema en el campo	63
7	Curvas de retención de humedad	80
8	Comportamiento bidimensional de los bul- bos humedecidos en textura arenosa-fran- cosa	86
9	Comportamiento bidimensional de los bul- bos humedecidos en textura franca-arcillo- sa	87
10	Comportamiento bidimensional de los bul- bos humedecidos en textura franca	88

FIGURA

página

11	Comportamiento y relación que existe - entre el diámetro interno corregido y el volumen de agua aplicado	94
----	--	----

INDICE DE CUADROS

CUADRO		página
1	Estado actual de los proyectos de riego en El Salvador	8
2	Resumen climatológico del Campo Experimental	58
3	Resultados del análisis de suelo por el método del hidrómetro de Bouyoucos	75
4	Resultados promedios de las propiedades físicas de los suelos estudiados	78
5	Calibración de la descarga de los gote-ros	81
6	Diámetros leídos en el campo para textu <u>r</u> a arenosa-franca	83
7	Diámetros leídos en el campo para textu <u>r</u> a franca-arcillosa	84
8	Diámetros leídos en el campo para textu <u>r</u> a franca	85
9	Diámetro superficial leídos en el campo y el diámetro corregido por humedad para suelo de textura arena-franca	89

CUADRO

página

10	Diámetro superficial leído en el campo - y el diámetro corregido por humedad para suelo de textura franca-arcillosa	89
11	Diámetro superficial leído en el campo y el diámetro corregido por humedad para - suelo de textura franca	90
12	Diámetro interno máximo leído en el campo a una profundidad de 20 cm y el <u>corre</u> gido por humedad para suelo de textura - arena-franca	90
13	Diámetro interno máximo leído en el campo a una profundidad de 5.0 cm y el <u>co--</u> rregido por humedad para suelo de textu- ra franca-arcillosa.	91
14	Diámetro interno máximo leído en el campo a una profundidad de 5.0 cm y el <u>co--</u> rregido por humedad para suelo de textu- ra franca	91
15	Porcentaje de área humedecida y número - de goteros por planta, para un lateral simple y recto, caudal de 4 LPH, textura arena-franca y a diferentes tiempos de - aplicación	99

CUADRO

página

16	Porcentaje de arena humedecida y número de goteros por planta, para un lateral simple y recto, caudal de 4 LPH, - textura franca-arcillosa y a diferentes tiempos de aplicación	100
17	Porcentaje de área humedecida y número de goteros por planta, para un lateral simple y recto, caudal de 4 LPH, textura franca y a diferentes tiempos de --- aplicación	101
18	Análisis de varianza (ANVA), en arreglo factorial, para los datos de diámetro - interno corregido para las diferentes - texturas	112
19	Distancias de plantación en árboles frutales	113

R E S U M E N

Los sistemas de riego por goteo normalmente mojan só lo una porción del área de suelo a lo cual se le llama - porcentaje de área humedecida. Este valor depende del - volumen de agua aplicado, espaciamientos de puntos de emi- sión y tipo de suelo que se está regando.

El porcentaje de área humedecida tiene influencia sobre los parámetros de diseño de un sistema de riego por goteo, tal porcentaje no se ha establecido para cultivos de espaciamientos mayores de 1.8 m. Con el estado actual del conocimiento, un objetivo razonable como lo mencionan varios autores (11, 13), es por lo menos mojar entre un tercio y un medio del área total correspondiente a una -- planta. Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar en arreglo factorial 3 x 3 con repeticiones. El total de tratamientos fue de 9, constituidos por la combina- ción del volumen de agua aplicado (12 lts., 24 lts., y 48 lts.), y la textura (Arenoso-franco, Franco-Arcilloso y - Franco). La prueba consistió en aplicar un caudal de --- 4 LPH en tres tiempos (3 h, 6 h, y 12 h), en las texturas en estudio, que se evaluaron en cajas de madera, después - de cada tiempo de aplicación se midió el diámetro del bul- bo humedecido a intervalos de 5 cm de profundidad, hasta cubrir el bulbo humedecido. En este sentido, el presente trabajo tiene por objetivo la determinación del número de

goteros por planta y volumen de agua aplicado que humedezca del 33% al 50% del área total del sistema de raíces. - La determinación de tal porcentaje de humedecimiento contribuirá al desarrollo de la agricultura bajo riego en El Salvador.

Entre los resultados obtenidos en este experimento se pueden mencionar la relación que existe entre el diámetro del bulbo humedecido (Dc) y el volumen de agua aplicado (V), tal relación puede ser expresada matemáticamente mediante una ecuación de tipo exponencial para cada uno de los suelos analizados. Las ecuaciones que representan la relación entre Dc y V, son :

Arena-franca	:	$Dc = 26.9 (V)^{0.27}$
Franca-arcillosa	:	$Dc = 76.4 (V)^{0.27}$
Franca	:	$Dc = 29.3 (V)^{0.38}$

En relación a lo anterior se concluye lo siguiente :

- 1) Que el diámetro del bulbo humedecido está íntimamente ligado con el tipo de suelo y el volumen de agua aplicado.
- 2) Una vez conocido el diámetro del bulbo húmedo y suponiendo un número determinado de goteros se puede estimar el porcentaje de área humedecido.
- 3) Los diámetros leídos en el campo para determinado suelo están influenciados por el contenido de humedad al momento de realizar la prueba.

I. INTRODUCCION

El desarrollo de la agricultura bajo riego en El Salvador depende en gran medida de la adaptación de las diferentes formas de aplicar el agua a los cultivos en función de las condiciones reales de nuestro medio.

El riego por goteo ha alcanzado un nivel de desarrollo tal que ha permitido el uso de tierras marginales, - con problemas de salinidad, fertilidad, pendiente (topografía irregular).

La alta inversión inicial, la carencia de conocimientos técnicos, la falta de criterios y parámetros determinados localmente, impiden la divulgación y empleo de este método en el país.

Para una buena utilización de este método es necesario conocer parámetros de diseño como el número de goteos por planta y el porcentaje de área humedecida.

El porcentaje de área humedecida no ha sido evaluado en el país, puesto que para el diseño de sistemas de riego por goteo son empleadas tablas para encontrar el porcentaje de área humedecida.

Tal situación y la versatilidad del método de riego por goteo, impulsó la presente investigación con el obje

to de determinar localmente la relación que existe entre el volumen de agua aplicado (caudal tiempo), el tipo de suelo y el crecimiento del diámetro del bulbo humedecido.

Para dar respuesta al comportamiento de los bulbos humedecidos, se llevó a cabo el presente trabajo en el Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, en el cual se simularon perfiles con tres tipos de suelo, en cajas de madera, que bajo determinados volúmenes de agua aplicada representan diferentes comportamientos en el crecimiento del bulbo humedecido de acuerdo al tipo de suelo.

II. REVISION DE LITERATURA

1. Importancia y desarrollo de la agricultura bajo riego en El Salvador.

1.1 Importancia del riego para el desarrollo agrícola.

El desarrollo económico y social del país depende principalmente de sus posibilidades de alcanzar una producción agropecuaria adecuada, para satisfacer la demanda interna y además generar excedentes que permitan incrementar las exportaciones y a su vez generar divisas.

La producción agrícola en nuestro país revista características singulares ya que se explotan la mayoría de tierras de vocación agrícola e inclusive zonas marginales, únicamente durante la estación lluviosa y en la época seca la mayor parte de las tierras dedicadas a cultivos anuales permanecen ociosas, provocando por consiguiente una reducción de la producción agrícola y escasez de las fuentes de trabajo.

Por otra parte, aún en la estación lluviosa se presentan períodos de sequía (cunículas) que contribuyen a agravar la precaria situación que actualmente existe. En forma resumida, las condiciones prevalecientes son :

- a) Reducida frontera agrícola.
- b) Mala distribución de la riqueza.
- c) Bajos niveles de ingresos de la población rural.

- d) , Agricultura tradicional de subsistencia
- e) Marcada dependencia de los cultivos de café y caña de azúcar.
- f) Deforestación indiscriminada, que afecta la disponibilidad de agua superficial y subterránea.

Para contribuir a solventar estos problemas es necesario adoptar prácticas de manejo de agua, del suelo y de cultivos, de manera que se desarrolle una agricultura bajo riego que garantice una alta productividad agropecuaria en forma continua (4).

1.2. Objetivos de las obras de riego.

El objetivo fundamental, que se persigue al construir cualquier sistema de riego, es el aprovechamiento racional de los recursos agua-suelo-planta, trabajo y capital con el objeto de maximizar su utilización para contribuir al incremento del ingreso nacional a través del aumento de la productividad agrícola y mejorar el nivel de vida de las familias rurales y darle estabilidad a la producción agropecuaria. Sin embargo, para alcanzar ese objetivo fundamental es necesario cumplir con -- otros de carácter específico que pueden agruparse en: sociales, agro-económicos, físicos y político-administrativos (4).

1.3. Desarrollo actual del riego en El Salvador.

Existen en el país unas 264,000 hectáreas factibles de ser

regadas, de acuerdo a su topografía, disponibilidad del agua, calidad del suelo, de las cuales solamente un 10% se cultiva bajo riego.

Sin embargo, en los últimos años el gobierno ha emprendido diversos programas para habilitar más tierras. Actualmente se encuentran en pleno desarrollo el Distrito de Riego de Zapotitán (4,500 Hás), y el Distrito de Riego de Atiococho (4,000 Hás), y con estudios preliminares bastante avanzados los proyectos que se muestran en el Cuadro 1.

El organismo encargado de la formulación y ejecución de los proyectos de riego es la Dirección General de Riego y Drenaje, organismo oficial que también presta asesoría para el desarrollo de obras de riego a nivel de finca y es la unidad encargada de la aplicación de la legislación en materia de riego y drenaje (15).

1.3.1 Superficie actual bajo riego.

Se estima que actualmente existen en el país unas 35,000 Hás bajo riego, esta superficie representa el 13% del potencial regable existente.

La incorporación de áreas a una agricultura bajo riego ha sido producto del esfuerzo tanto del sector público como del sector privado; la mayor participación corresponde al sector privado ya que aproximadamente el 72% del área total ha sido

producto del esfuerzo de este sector.

Por su parte el sector público ha puesto bajo riego una superficie de 9,819 Hás lo que representa el 28% del área total, a través de la construcción de los Distritos de Riego de Zapotitán y Atiocoyo y de 41 pequeñas obras de riego en el sector reformado (15).

1.3.2 Perspectivas del desarrollo del riego.

Dado el alto interés que se le ha otorgado al desarrollo de una agricultura bajo riego tanto por el sector público, como por el sector privado, las perspectivas de desarrollo del riego se presentan muy favorables; en el Cuadro 1, se presentan los proyectos en diferentes etapas de desarrollo, de acuerdo a la planificación de incorporación de áreas de riego, realizada por la Dirección General de Riego y Drenaje (D.G.R.D.).

a) Proyectos en ejecución

Actualmente se encuentran en ejecución por la D.G.R.D., el proyecto Lempa-Acahuapa y el Programa Nacional de Riego y Drenaje. El proyecto Lempa-Acahuapa cubre una superficie de --- 2,616 Hás, las cuales serán regadas por gravedad, utilizando aguas del Río Lempa.

El Programa Nacional de Riego y Drenaje, comprende la ejecución de una mediana obra de riego correspondiente al proyecto Bola de Monte, el cual posee una superficie de 462 Hás, y

la construcción de nueve pequeñas obras de riego en el sector reformado cubriendo una superficie de 338 Hás.

La ejecución de las obras anteriormente mencionadas se espera concluir en un período de tres años, de tal forma que para el año 1992, se habrá incorporado al riego un total de --- 3,416 Hás.

b) Proyectos en fase de preinversión.

La fase de preinversión comprende la realización, en una primera etapa, de los estudios para determinar la factibilidad técnica y económica de los proyectos y en una segunda etapa la elaboración de los diseños finales de ingeniería.

En esta fase, actualmente se encuentra un total de 32 proyectos (3 en la etapa de diseño y 29 en la de factibilidad), - los cuales en conjunto alcanzan una superficie de 22,856 Hás.

En la fase de diseños finales se ubican los proyectos Omoa, para el cual se ha completado la elaboración de los diseños y en proceso de formulación se encuentran los proyectos Comalapa y Quelepa.

En la etapa de factibilidad técnica-económica, se encuentran en total 29 proyectos, dos de los cuales corresponden a la categoría de grandes obras y 27 a la de pequeñas obras, todos estos proyectos se encuentran en proceso de formulación; la superficie total en estudio alcanza 8,139 Hás. (15).

Cuadro 1. Estado actual de los proyectos de riego en El Salvador.

I Fase : Ejecución

<u>Proyecto</u>	<u>Localización</u>	<u>Superficie (Hás)</u>
Lempa-Acahuapa	Departamentos de San Vicente y Usulután.	2,616
Bola de Monte	Departamento de Ahuachapán.	462
9 pequeñas obras.	A nivel nacional	338
TOTAL :		3,416 (Hás)

II Fase : Preinversión

1. Diseños finales de ingeniería.

<u>Proyecto</u>	<u>Localización</u>	<u>Superficie (Hás)</u>
Omoa	Departamento de Santa Ana.	728
Comalapa	Departamentos de La Paz y La Libertad.	11,606
Quelepa	Departamento de San Miguel.	2,383
TOTAL :		14,717 (Hás)

2. Factibilidad técnica-económica :

<u>Proyecto</u>	<u>Localización</u>	<u>Superficie (Hás)</u>
San Francisco Gotera	Departamento de Mo razán.	1,800
Paz - El Rosario	Departamento de -- Ahuachapán.	4,821
27 pequeñas obras en sector reformado.	A nivel nacional.	1,518
TOTAL :		8,139

1.4 Métodos de riego.

Cuando se habla de método se refiere al modo de hacer alguna cosa, o bien, a como se hará; en el caso de los métodos de riego el como regar implica que método de riego se piensa utilizar, o bien como se aplicará el agua en el suelo.

En general, los métodos de riego, pueden variar según las condiciones de suelo y topografía existentes, tipo de cultivo y su valor comercial, agua disponible en cantidad y calidad, - preparación del suelo y grado de mecanización empleada asociada a prácticas culturales, según el cultivo. No debe adoptarse un método, sólo por ser el más común a una zona; cada finca presenta suelos y topografías diferentes y se deben seleccionar métodos de riego que más se adapten a cada una en particular; por lo mismo, en una finca bajo riego, existirán probable

mente dos o más métodos de riego.

Los métodos de riego, se pueden clasificar, según la forma de aplicar el agua al suelo o bien de acuerdo a la cantidad de agua que utilizan, con todas las variaciones existentes en cuanto a formas de regar. En general, de acuerdo a la forma de aplicar el agua, los métodos se clasifican en :

- Superficiales
- Subterráneos
- Aéreos
- Goteo

1.4.1 Riego superficial

El agua se aplica por sobre el suelo el cual es humedecido por inundación, tratándose de mojar el 100% del suelo cultivado. El agua se mueve desde puntos más altos a los más bajos, por efecto de la gravedad y se aplica por surcos, corrugaciones (surcos más pequeños), melgas o piletas. La distribución se hace por lo general por canales abiertos. Combinando esta distribución y los métodos de riego superficiales, menos de la mitad del agua desviada desde la fuente, llega a los cultivos, obteniéndose eficiencias de riego muy bajas, que en el país -- pueden llegar al 20 ó 30%, con el agravante de grandes pérdidas de suelo por erosión, si se tienen pendientes fuertes.

....

1.4.2 Riego subterráneo.

También llamado sub-irrigación, en el cual el agua se aplica por debajo de la superficie del terreno. La distribución se hace a través de canales profundos o por tuberías perforadas de doble propósito, riego-drenaje.

1.4.3 Riego por aspersión.

Consiste en un riego aéreo en el cual se simula la lluvia en todos sus aspectos, con la excepción de que esta lluvia simulada se puede controlar, tanto en tiempo, como en su intensidad. El agua es conducida a presión, por medio de tuberías, hasta llegar a otras de menor diámetro, que son portátiles, fáciles de manejar y en ellas van los aspersores, instalados a distancias fijas según el tipo de suelo, cultivo y tipo de aspersor.

Se puede aplicar este sistema en el país a gran variedad de cultivos tales como pastos, caña, okra, frutales, etc.; y también se le puede emplear para riegos de pre-siembra.

La adopción de este sistema de riego, dependerá de los costos de operación, incluyendo los de bombeo (combustible o energía eléctrica) y de la rentabilidad del cultivo a establecer

1.4.4 Riego por goteo.

Este sistema se clasifica dentro de lo que se llama micro-

irrigación, pues para regar, se requieren pequeños volúmenes de agua, la cual se aplica al suelo en forma localizada sólo en la zona de crecimiento de raíces.

El método consiste en una dispersión lateral del agua sobre la superficie regada, conduciendo el agua a presión, hasta una red de salidas espaciadas a distancias relativamente cortas y descargando el líquido a través de salidas, emisores o goteros a una presión prácticamente nula. Los goteros dosifican el agua y el fertilizante líquido u otro tipo de agroquímicos solubles en agua, pudiendo aplicarse el agua sobre la superficie o por debajo de ella. Tanto el tipo de emisores (con distintos caudales), como el número a poner en el campo, dependerá de las necesidades del cultivo a explotar y el tipo de suelo. El sistema consiste en una unidad central o cabezal de control, con válvulas, indicadores de presión, medidores de agua, sistema de filtrado y fertilización líquida, líneas de conducción, principal, secundaria, tuberías múltiples o manifold y tuberías laterales o líneas regantes que llevan los goteros, ya sea insertados (goteros de botón), montados, sobre la línea o integrados al interior de la línea. Aún cuando el costo inicial de este sistema es alto, sus ventajas son muchas en cuanto a aumentos de producción de una gran variedad de cultivos, sin que el suelo sea una limitante severa como es el caso en los sistemas de riego superficiales, por lo que muchos productores en el país lo están adoptando.

1.4.5 Riego por micro-aspersión.

Este sistema es el más reciente, dentro de la micro-irrigación y se basa en el mismo principio de la aspersión, pero con la diferencia que se pueden aplicar bajos caudales de agua y en forma localizada, en el caso de frutales por ejemplo, cítricos.

También es utilizada para riego de hortalizas y flores en forma no localizada. A diferencia de la aspersión, conservando el equipo básico, se pueden emplear boquillas y por lo tanto caudales diferentes, con una alta eficiencia y uniformidad de riego. Según las necesidades del cultivo, tipo de suelo, y de explotación, se pueden emplear nebulizadores, aptos para refrescar ambientes en gallineros o humedecer invernaderos, rociadores fijos o micro jets, aptos para riego localizado y micro-aspersores giratorios, que son los que más se parecen a los aspersores tradicionales (7).

2. Sistema de riego por goteo.

2.1 Descripción y manejo del sistema de riego por goteo.

El riego por goteo se describe como una aplicación frecuente de un pequeño volumen de agua al suelo a través de dispositivos mecánicos llamados goteros o emisores, localizados en puntos seleccionados a lo largo de la tubería distribuidora del

agua. El agua es conducida por medio de tuberías desde la fuente de suministro hasta los goteros. Para humedecer la superficie cercana a la planta, el agua que vierte el gotero se dispersa en forma radial, mojando un volumen de suelo, que tiene forma elíptica denominado "bulbo húmedo". La función del gotero es la de aplicar al suelo un volumen de agua muy bajo y dispersar la presión que existe en la tubería de distribución, esto se consigue al hacer pasar el agua a través de orificios muy pequeños o haciéndola circular por senderos tortuosos (laberinto).

El goteo se practica esencialmente con equipos fijos, la permanencia del equipo depende del cultivo :

- a. Cultivos perennes : Equipo fijo durante toda la vida de la plantación.
- b. Cultivos anuales : Permanencia durante la temporada y retiro del equipo antes o después de la cosecha.

La mejor práctica para mantener un sistema de riego por goteo que opere eficientemente, es hacer todo lo que sea práctico para prevenir la obstrucción de tubos y goteros.

- Tratar el agua químicamente si fuera necesario.
- Seleccionar el tipo de gotero que se adapta mejor para el uso con el suministro de agua disponible.
- Filtrar el agua suficientemente para asegurar una operación ininterrumpida de los goteros que se usan.
- Mantener el sistema de filtros de tal manera que los goteros reciban ya sea 100% de agua filtrada o en su efecto no

2.2 Componentes de un sistema de riego por goteo.

Un sistema de riego por goteo consta de :

2.2.1 Fuente de abastecimiento de agua.

La proveniencia del agua de riego puede ser un pozo profundo, un canal, un río, un lago o un manantial. Lo importante es que el agua esté libre de sólidos en suspensión, que -- tenga una baja concentración de bacterias y que su concentración de sales esté dentro de los límites de tolerancia aceptables para el riego por goteo.

2.2.2 Planta de bombeo.

La unidad de bombeo, consta de dos componentes principales: el motor y la bomba. El motor tiene como función transformar la energía eléctrica (cuando el motor es eléctrico), en energía mecánica de rotación para impulsar la bomba. En el caso de que el motor fuese de combustión interna, la energía liberada por la quema de los combustibles fósiles, se transforma en energía mecánica de rotación. La función de la bomba, es la de transformar la energía mecánica que le transmite el motor en energía hidráulica; esta energía a su vez se descompone en tres tipos de energía a saber: de posición, de velocidad y de presión. De acuerdo a las necesidades de estos tres tipos de ener

gía, así será la selección de la bomba.

2.2.3 El cabezal de control.

Está formado por un conjunto de dispositivos que se describen a continuación:

- Válvula de entrada central: Cierra y abre el flujo de -- agua proveniente de la unidad de bombeo.
- Medidor volumétrico del caudal : Mide en forma automática la cantidad de agua utilizada en el riego.
- Válvula check : Sirve para evitar el retorno en sentido - contrario al flujo, en caso de producirse succión en la línea alimentadora.
- Válvula de paso de acción triple : Deja pasar el agua libremente cuando no se fertiliza y crea una diferencia de - presión necesaria para hacer funcionar el tanque fertilizante.
- Válvula de aire: Provee de aire el sistema en caso de producirse succión.
- Manómetros: Sirve para medir la presión en diferentes puntos claves del sistema.
- Mangueras de conexión al tanque fertilizante: Son de plástico, de diferente diámetro de acuerdo a las condiciones - requeridas.
- Tanque fertilizador: Depósito que sirve para mezclar y disolver fertilizantes y otro tipo de agroquímicos.

- Filtros : Garantiza que el agua llegue limpia de impurezas a los goteros. En el mercado se encuentran varios tipos de filtros; pero los más utilizados son :
- a) Filtro de separación : Llamados hidrociclón, trabajan por el principio de la centrifuga y separan a las partículas más pesadas que el agua, por diferencia de peso específico, muy efectivo para la separación de grava y arena.
 - b) Filtro de malla : Basados sobre elementos perforados. El grado de filtración depende de la densidad de perforación, el área activa (libre), la forma y distribución de las perforaciones. Son los filtros de uso común bajo condiciones normales.
 - c) Filtros de anillos: Elementos de filtración compuestos de anillos, los cuales retienen partículas finas tanto sobre su superficie como en su interior.
 - d) Filtro de grava (absorción) : absorben las partículas sobre la extensa superficie que poseen. Filtros especiales para remover impurezas especiales como algas, sulfatos y arcilla.

2.2.4 Red de tuberías.

Sirven para conducir el agua desde la fuente de abastecimiento hasta los goteros o emisores. Dependiendo del tamaño del sistema podemos encontrar líneas principales, secundarias, múltiples y regaderas.

- a) Tubería principal : Su función es transportar agua -

desde la bomba a cada una de las líneas laterales. Generalmente la tubería principal debe ir enterrada y se prefieren aquellas que son fabricadas en PVC, los diámetros corrientes utilizados son: 3, 4, 6 y 8 pulgadas.

b) Tubería secundaria : Su función es transportar el agua de la tubería principal a las líneas de distribución o múltiples, el material de estas tuberías es generalmente PVC y deben ir enterradas, los diámetros más utilizados son: 2, 3, 4 y 6 pulgadas.

c) Línea múltiple o de distribución : Su función es transportar el agua desde la tubería secundaria hasta las líneas regantes. El material recomendado para estas tuberías es el polietileno el cual va reforzado de sustancias químicas que le permiten resistir los agentes del intemperismo, van sobre la superficie del suelo, los diámetros utilizados varían desde 25 mm hasta 75 mm.

d) Línea regante: Su función es conducir el agua de la línea de distribución a cada uno de los goteros. Son fabricadas exclusivamente de polietileno de baja densidad, tipo flexible, van sobre el suelo y los diámetros más utilizados son de 12, 16, 20 y 25 mm.

2.2.5 Goteros o emisores :

Son dispositivos mecánicos diseñados para disipar la presión del agua de las tuberías regantes de manera tal que per-

mita la salida de un pequeño caudal. Se clasifican por sus características de operación y se dividen en goteros de regulación manual, automático, de carga constante, automático de carga variable, autocompensables y compensadores de presión.

Se clasifican según la forma en que disipan la presión en: goteros de sendero largo, de recorrido corto, de orificio tipo Vortex, auto lavado, tubería de doble pared, tubería porosa, emisor de línea, en línea sobre la línea, con extensión, subterráneo y salidas múltiples sobre líneas.

2.2.6 Accesorios.

El sistema de riego por goteo está integrado por una gran cantidad de elementos adicionales, denominados "accesorios". Se dividen según la posición que ocupan en el sistema.

- Accesorios de la bomba : Granada, válvula de pie, codos curva larga, acoples flexibles, reductores excéntricos, brida adaptadora, válvula de paso, válvula check, codos 90°, codos 45°, unión T, reductores, manómetro, reguladores de presión, válvulas de aire.
- Accesorios tuberías principales y laterales: Válvulas de paso, adaptadores hierro-PVC y PVC-polietileno, uniones T lisas y recortadas, codos 90°, codos 45°, unión simple, adaptadores hembras, adaptadores machos, tapón hembra y macho, crucero, codos reductores bushing, unión universal, niple, adaptador macho, compresión T lisa, compresión T --

rosca, compresión sillas abrazaderas.

- Accesorios línea múltiple: Válvula de acople rápido, válvula oblicua, acople, compresión, adaptador polietileno, PVC rosca macho, acople compresión simples, uniones T, -- adaptador bridado, regulador de presión, manómetro, tapón final.
- Accesorios línea regadera: Conector de línea regante, co nector en T, conector roscado macho, niple roscado, camisa, T rosca macho, codo roscado M x H, codo H x H liso, T. hem bra con rosca, silla abrazadera, conectores de 2, 3, 4 y 6 salidas con rosca H ó M, reguladores de presión, válvula - reguladora de línea, tapón de goteo, terminal de línea, pun zones, adaptadores y reductores. (Ver Fic. 1) (1, 9).

2.3 Ventajas y desventajas del sistema de riego por goteo.

2.3.1 Ventajas :

- a) Economía del agua: Debido al aporte de agua de acuerdo a las necesidades específicas de las plantas, percolación - reducida, evaporación superficial leve, disminución de pér didas en la conducción y a la eficiente aplicación.
- b) Economización de mano de obra, de energía y de costos debi do al funcionamiento a baja presión, menor cantidad de agua a bombear, después de instalar el equipo de irrigación úni camente se requiere de trabajo de control, posibilidad de -

RIEGO POR GOTEO Y SUS
COMPONENTES PRINCIPALES

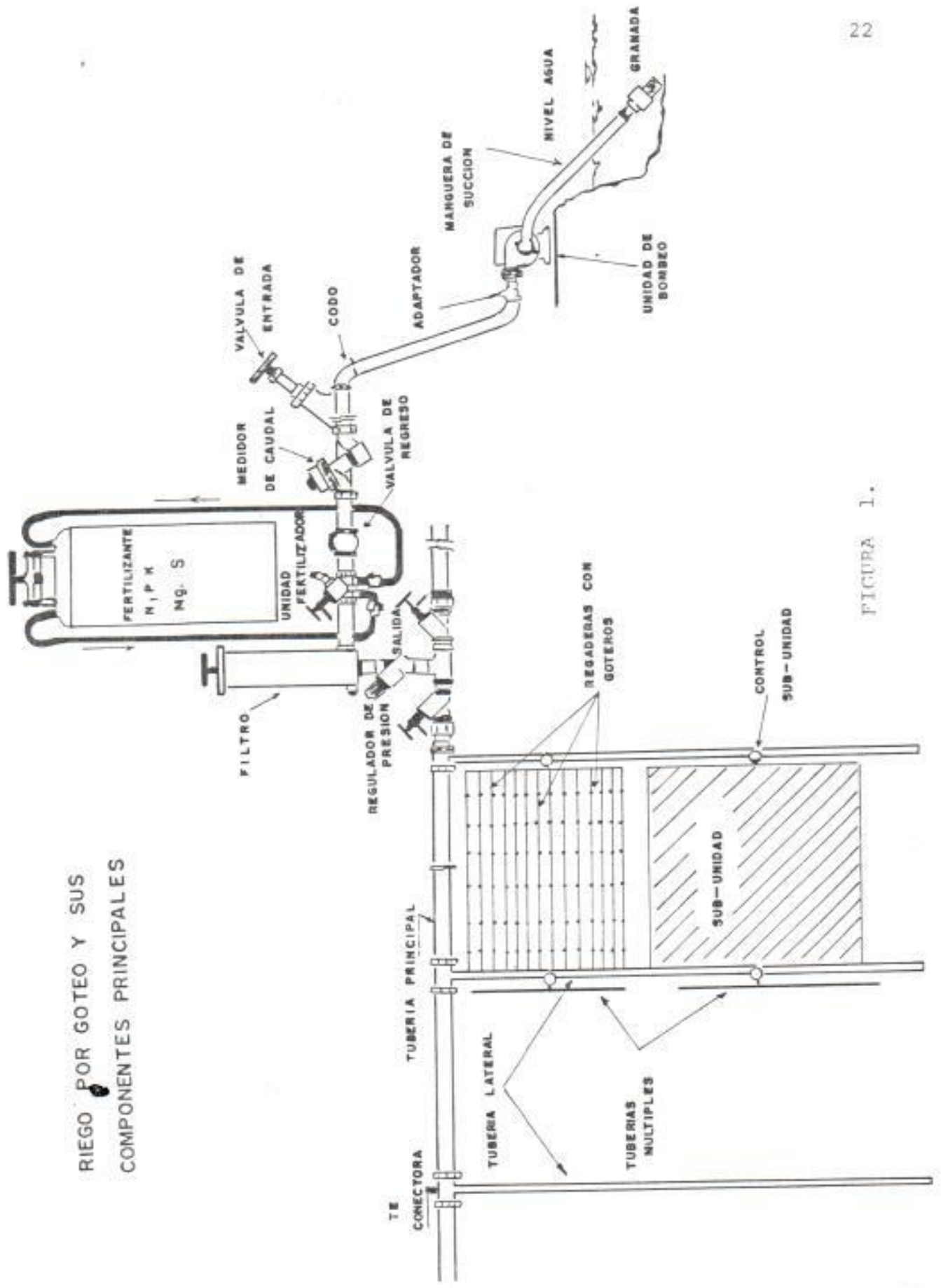


FIGURA 1.

- combinar irrigación con fertilización, economización de una fase de trabajo-fertilización-herbigración
- c) Buena adaptabilidad a los cultivos: El sistema se puede usar en cualquier clima, en todos los tipos de suelos agrícolas y prácticamente en todos los cultivos. Sin embargo, por su alto costo es recomendable su utilización para el riego de cultivos de alta rentabilidad.
- d) Aumenta la productividad en cantidad y calidad. Debido a la relación hídrica óptima en la zona radicular, que se mantiene cercana a la capacidad de campo. Con este método la planta tiene que hacer un mínimo esfuerzo para absorber el agua y los nutrientes, razón por la cual las plantas ocupan mayor cantidad de energía disponible para producir.
- e) Explotación de suelos problemáticos : El hecho que el goteo humedece únicamente un volumen limitado del suelo y su capacidad de lavar las sales hacia la periferia del "bulbo" han causado una revolución en la explotación de suelos poco profundos, pedregosos, calcáreos y salinos.
- También este método es conveniente cuando se trata de regar terrenos con topografía accidentada, los cuales no pueden ser regados con otros métodos
- f) Evita problemas fitopatológicos. El hecho de que la lluvia y el riego por aspersión humedecen el follaje, ha presentado un grave problema para algunos cultivos. En cambio el riego por goteo al no mojar el follaje de los cultivos reduce los riesgos de ataque de hongos.

- g) Acceso de maquinaria y transporte : El hecho de que el goteo no causa escurrimiento facilita el mantenimiento de los caminos. Una gran parte de la superficie se mantiene seca y permite el paso de maquinaria agrícola durante y después del riego.
- h) Uso de aguas negras o servidas : El uso de aguas servidas es posible con el riego por goteo, ya que no se contamina la parte vegetativa de la planta.
- i) Uso de aguas salinas. El uso de aguas salinas tiene efectos negativos sobre el follaje, sobre todo cuando éste se seca al sol. El riego por aspersión limita el uso de estas aguas mientras que el riego por surco y por goteo lo facilitan. Sin embargo, el riego por goteo tiene una ventaja adicional sobre el riego por gravedad, dada su capacidad de crear una zona húmeda sin sales alrededor de la planta, y el hecho de mantener el suelo a capacidad de campo - limita las posibilidades de someter a estrés al cultivo, - debido a un gradiente negativo de potencial osmótico (1, 3, 9).

2.3.2 Desventajas :

- a) Inversión inicial : Es sumamente alta y requiere un análisis económico del cultivo. Este análisis debe tomar en cuenta tres factores :
- a. La contribución del goteo al rendimiento en kg/Ha.
 - b. La contribución del goteo a la mejor calidad de la planta.

- c. El precio unitario del producto.
- b) Obstrucción de los goteros: Es el problema más serio que tiene el riego por goteo. Las causas son de naturaleza física, química y biológica.
- c) La fauna (animales): El problema de los daños causados por animales, roedores y pájaros carpinteros, es considerable. Apparently, los animales buscan el agua y el material plástico blando les facilita obtenerla.
- d) Anclaje de plantas :
Para muchos cultivos, la red radicular cumple también la función de mantener el equilibrio de la planta. El problema se ve agravado en plantas altas con frutos en la parte alta. La restricción intencional del volumen húmedo y de la zona radicular puede crear un problema de equilibrio para las plantas.
- e) Protección contra la erosión por el viento : Constituye un problema para los suelos totalmente arenosos, debido a que solamente se humedece el área que circunda a la planta, dejando el resto sin humedecer, favoreciendo el transporte de partículas por el viento.
- f) No es recomendable para cultivos de crecimiento denso (pajoto, arroz, kudzú, cebada, etc.).
- g) Control de funcionamiento dificultado en caso de sistemas subterráneos.
- h) Para la fertigación se apropian fertilizantes totalmente solubles en agua. De la gama de los fertilizantes de suelo

usuales, varios fertilizantes nitrogenados y potásicos cumplen el requisito de ser suficientemente solubles. En cambio, los fertilizantes fosfatados simples, no son lo suficientemente solubles al agua. Los residuos insolubles ocasionan en corto tiempo, primero el taponamiento de los filtros y luego de los orificios de goteo. A esto se le agrega la dificultad de encontrarlos en el mercado (1, 3, 9).

3. Elementos de diseño de un sistema de riego por goteo.

Para fines de diseñar un sistema de riego por goteo, es necesario determinar algunos elementos básicos que permitan su dimensionamiento de acuerdo con las condiciones climáticas, edáficas y de cultivos, entre estos elementos tenemos los siguientes :

3.1 Diseño agronómico

El diseño agronómico consiste en la determinación de los factores prácticos de riego por goteo, que se describen a continuación :

a) Requerimientos de agua del cultivo.

Las estimaciones convencionales de requerimiento de agua asumen que parte del agua aplicada, se va a perder como uso consuntivo no beneficioso.

El riego por goteo reduce el uso consuntivo no beneficioso a un mínimo, de tal forma que la mayor parte de agua se pierde por transpiración del cultivo de interés (11), y además la evaporación es prácticamente inexistente, dado que sólo se riega una pequeña parte del suelo y que generalmente está bajo sombra de la planta. Por lo tanto, toda el agua que la planta necesita es la que transpira. Las estimaciones de uso consuntivo que asumen el mojado de todo el campo tienen que ser modificadas para riego por goteo. La -

transpiración diaria máxima promedio, en riego por goteo - es una función del uso consuntivo diario promedio computado convencionalmente durante el mes de uso pico y la extensión del follaje de la planta.

b) Lámina máxima de riego.

Es la lámina que va a reponer el déficit de humedad del suelo, cuando éste es igual al déficit de manejo permitido. Este valor se computa como la lámina sobre el área total de cultivo, no sólo el área humedecida, pero no obstante tiene que tener en cuenta el porcentaje de área de mojado.

c) Déficit de manejo permitido, umbral de riego o porcentaje de agotamiento.

Cada especie y variedad vegetal tiene su capacidad particular de extraer agua del suelo; además, una misma planta presenta un comportamiento distinto según sus distintas fases de desarrollo. Por lo tanto no es posible dar una regla general para conocer el momento crítico (13). Sin embargo, en el riego por goteo, debido a que existe la facilidad de mantener los niveles de humedad del suelo cercanos a la capacidad de campo, es recomendable establecer los valores de umbral de riego entre el 10% y el 20%.

d) Porcentaje de área humedecida.

Es el porcentaje horizontal de área humedecida en la parte superior de la zona radical como porcentaje del área de cultivo total.

Como los sistemas de goteo normalmente mojan sólo una porción del área de suelo, el porcentaje de área mojada, P_w comparado al total del área cultivada depende del volumen y caudal de descarga en cada punto de emisión, espaciamiento de puntos de emisión y tipo de suelo que se está regando. El área mojada en cada punto de emisión generalmente es bastante pequeña en la superficie del suelo y se expande algo con la profundidad para formar una sección en forma de bulbo. Por lo tanto, P_w se determina a partir de un área promedio de mojado a una profundidad de 15-30 cm - debajo de los goteros dividiendo por el área total cultivada que cubre el gotero (13).

Una forma de evaluar el volumen de suelo mojado ha sido propuesta por KARMELI y KELLER (1974); consiste en medir el área mojada y referirla porcentualmente al área total de cultivo. MERRIAM y KELLER (1978), estandarizan la medida del área mojada a una profundidad de 30 cm; según estos autores, no ha sido establecido un valor mínimo absoluto del porcentaje de suelo mojado y tentativamente aconsejan, para cultivos ampliamente espaciados, porcentajes superiores al 20% en zonas de alta precipitación, donde el riego actúa como apoyo durante los períodos de sequía (generalmente cortos) y entre el 33% y el 50% en zonas de baja precipitación (13).

El problema se presenta principalmente en cultivos de plantación a espaciamientos medios o amplios, pues en culti

vos de alta densidad de plantación, el hecho de aplicar -- agua al sistema radicular de cada planta se traduce, normalmente, en unos valores de Pw elevados.

HERNANDEZ ABREU (11), modifica la definición de porcentaje de suelo mojado, dada anteriormente, midiendo el -- área media mojada por planta y refiriéndola al valor medio del área sembrada por la planta. Con esta modificación se pretende encontrar valores de Pw independientes de la distancia entre plantas y de la edad de los árboles en el caso de plantaciones frutales.

HENRI BLAIR, citado por (11), propone que para cultivos permanentes y semipermanentes el Pw sea igual al 40% y para cultivos anuales y hortalizas el Pw sea igual al 100%.

e) Área sombreada.

Es la fracción del suelo recubierta por la sombra de la planta cuando el sol se encuentra en el cenit. --- Este valor se puede estimar marcando el área asignada a -- una planta en el campo y observando el porcentaje del área sombreada.

f) Lámina neta de riego o lámina de reposición.

Se define como la lámina de agua necesaria para satisfacer los requerimientos de uso consuntivo, cuyo valor dependerá de la velocidad de transpiración diaria promedio - durante el mes de uso pico y del intervalo de riego.

g) Lámina bruta de riego.

Tiene que incluir suficiente cantidad de agua para --

compensar la falta de uniformidad, pérdidas inevitables o requerimientos de lavado. Este valor de lámina bruta representa la lámina de agua que es necesario derivar de la fuente de agua para que cada planta tenga la lámina de reposición. Se calcula dividiendo la lámina neta de riego entre la eficiencia del sistema.

h) Relación de transpiración del período de uso consuntivo.

Es la lámina neta de agua de riego que se tiene que aplicar al área a fin de satisfacer exactamente la velocidad de transpiración diaria promedio durante el mes de uso pico dividida por la lámina de agua realmente transpirada. Esto representa el agua extra que se tiene que aplicar aún durante el período de uso pico para compensar las pérdidas inevitables por percolación profunda. Estas pérdidas se deben a excesos de movimiento vertical de agua debajo de la zona de raíces activas, el cual es inevitable en materiales porosos y poco profundos cuando se quiere alcanzar suficiente humedecimiento lateral.

i) Uniformidad de emisión.

Es necesario conocer la eficiencia del sistema de riego de tal forma que se pueda establecer la relación entre cantidad bruta y neta de riego que se suministra a las raíces. La uniformidad de emisión es uno de los componentes de la eficiencia de riego. En la fase de diseño, no es posible medir los caudales de emisión del sistema. La variación que se espera en los caudales de emisión se debe es

timar mediante algún procedimiento analítico. Desafortunadamente no resulta práctico considerar en una fórmula para uniformidad de emisión, todos los factores que la influyen tales como obstrucción total o parcial, cambios en la temperatura del agua y envejecimiento de los goteros. No resulta posible en el diseño computar o estimar satisfactoriamente las variaciones impredecibles en los caudales de emisión que puede ser causada por estos factores.

Para medir el coeficiente de uniformidad en el campo se genera la relación entre la descarga mínima y la media del sistema.

j) Requerimientos de lavado.

Es la relación entre la lámina neta de agua de lavado y la lámina neta que se tiene que aplicar para control de salinidad. Representa la cantidad mínima de agua (en términos de fracción de agua aplicada), que tiene que pasar a través de la zona de raíces para prevenir la acumulación de sales; sin embargo, es la cantidad de agua de lavado necesario para prevenir que las sales se acumulen en la zona de raíces y esto se puede determinar sólo mediante el requerimiento de la salinidad del suelo, la cual se relaciona luego con el manejo del agua.

Las sales que se acumulan debajo de los goteros se pueden lavar hacia abajo aplicando riegos diariamente o día -- por medio.

k) Intervalo de riego: La frecuencia de riego real a usar

se es una decisión de manejo, pero se tiene que elegir de tal forma que la lámina de reposición sea igual a la velocidad de transpiración diaria promedio durante el mes pico.

Se recomienda mantener el suelo a capacidad de campo, para esto se requiere que el riego sea diario, para suelos de textura gruesa y para suelos de textura fina se recomienda el riego cada dos días.

l) El coeficiente de variación de fabricación del gotero.

Se usa como una medida de las variaciones anticipadas de caudal en una muestra de goteros. Este valor tiene que ser suministrado por el fabricante, pero se puede determinar a partir de los caudales de una muestra de por lo menos 50 goteros operando a una presión de referencia.

m) El coeficiente de variación de fabricación para el sistema es un concepto útil porque se puede usar más de un punto de emisión por planta. En tal instalación las variaciones en caudal para todos los goteros alrededor de la planta generalmente se compensan entre sí.

n) Volumen bruto de agua requerido por planta y por día.

Este valor depende tanto del espaciamiento entre plantas e hileras como de la lámina bruta de riego.

o) Selección del gotero.

La selección de goteros requiere una combinación de criterios objetivos y subjetivos. Este proceso junto con los requerimientos relativos a tratamientos de aguas, es el aspecto más incierto del proceso de diseño de riego por goteo.

La elección del caudal, espaciamiento y gotero en si mismo son puntos muy importantes en el planeamiento del sistema. Están dictados en parte por datos físicos y también por factores tales como ubicación del gotero, diámetro del lateral y preferencia del usuario.

La selección del gotero requiere de cuatro pasos :

- Primero la evaluación y selección del tipo general de gotero que mejor se ajuste a la necesidad del área a ser humedecida.
- De acuerdo al caudal de descarga requerido, espaciamiento y otras consideraciones de planeamiento se eligen las necesidades específicas del gotero.
- Se determina la variación de presión, AH resulta permisible y va a dar la uniformidad de emisión requerida.

p) Tiempo de aplicación.

La duración de cada riego es el tiempo necesario para aplicar el volumen bruto de agua por planta y por día, por ello, la duración del riego dependerá del número de goteros y del gasto de cada uno.

q) Unidades de riego.

Cada unidad de riego representa la porción de terreno que se regará en forma simultánea. Para obtener un costo mínimo de instalación y de operación es necesario dividir el área total regable en sub-unidades o unidades de riego.

r) Capacidad total del sistema.

También conocida como descarga del sistema, es la can

tividad total de agua que transportarán las tuberías para regar una unidadde riego en la unidad de tiempo.

3.2 Diseño geométrico

Consiste en disponer el sistema de forma tal que la uniformidad de emisión de los goteros se mantengan dentro de un rango aceptable, y además que contribuya a disminuir los costos de instalación y operación.

Para disponer el sistema en el campo deben considerarse los siguientes elementos :

- a) Ubicación de la fuente de abastecimiento; cuando la fuente de agua se encuentra disponible, tal es el caso de un río, lago, pozo construido o canal. La disposición dependerá del buen criterio del diseñador. Pero si hay que construir un pozo, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios :
 - Si el terreno es de topografía relativamente plana, el pozo debe ubicarse en el centro del área de comando.
 - Si el terreno es de pendiente pronunciada, la fuente debe ubicarse en la parte más elevada del área de comando.
- b) Forma del terreno: influye en la disposición y longitud de tuberías.
- c) Factores climáticos: Los vientos predominantes consti

tuyen un elemento para disponer los cultivos que son susceptibles al acame, lo cual influye directamente en la disposición del sistema.

d) Tipo de cultivo: El distanciamiento entre plantas e hileras determina la disposición de tuberías en el campo. Para el riego de cultivos perennes existen muchas disposiciones que se pueden adoptar entre las cuales - se mencionan las más comunes :

- Línea regante con forma de colas de cerdo.
- Línea regante en zig zag.
- Línea regante con círculo envolviendo el árbol.
- Línea regante en cruz.
- Línea regante doble.

e) Topografía.

Las líneas regantes o laterales, en campos donde la pendiente promedio en la dirección de éstas es menor del 3% generalmente es más económico colocar laterales a ambos lados de cada múltiple. Donde las pendientes en la dirección de los laterales (hileras) el múltiple se debiera correr más arriba de la línea central. El propósito es acortar los laterales contrapendiente y alargar los laterales pendiente abajo de tal forma - que la combinación de la pérdida de fricción y diferencias de elevación se equilibran (13).

Generalmente el múltiple se ubica paralelo a la dirección de la línea lateral, la cual deberá ubicarse siem

es directamente proporcional al caudal fluyente, cuando éste disminuye la velocidad baja; también la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad, por lo que se concluye que la disminución del caudal a lo largo de la tubería provoca una disminución de las pérdidas de carga por fricción.

Se ha determinado que el grado de disminución de la pérdida de carga es una función del número de salidas, en este caso sería el número de goteros que están colocados a lo largo de la tubería regante. Por lo que se adiciona a la fórmula de Hazen-Williams el factor de corrección a partir del número de goteros.

Las pérdidas de carga por fricción no deben sobrepasar los límites permisibles o sea que no debe ser mayor del 20% de la presión de trabajo del gotero, para asegurar un funcionamiento uniforme de todos los goteros a lo largo de la línea regante.

c) Diámetro de la tubería distribuidora o múltiple.

Normalmente el múltiple reparte el agua a ambos lados de la entrada del agua que viene del lateral y así mismo puede abastecer líneas regantes colocadas a un lado y a otro de tubería que riegan en direcciones opuestas, tal caso sucede cuando el terreno es plano. Por lo tanto al momento de selección del diámetro adecuado deberán hacerse las previsiones adecuadas para satisfacer estas condiciones.

pre que las condiciones lo permitan siguiendo la curva de nivel. En caso de que la instalación se efectúe en terreno plano, la conexión entre el lateral y el múltiple se ubica en el centro del terreno, de tal manera que cada mitad tiene una pérdida permisible de 0.15 de la presión de trabajo de los goteros. En el caso de que exista una pendiente apreciable la ganancia de presión de la mitad de la tubería colocada a favor de la pendiente se puede balancear reduciendo el diámetro de esta parte de la tubería. Otra alternativa consiste en desplazar la conexión hacia arriba y de esta manera la ganancia de carga de la tubería a favor de la pendiente es balanceada con el incremento del número de líneas regaderas servidas. Por otra parte, la pérdida de presión por efecto de contrapendiente, se puede balancear, reduciendo el número de líneas regaderas servidas o aumentando el diámetro de la parte del múltiple localizada en contrapendiente o por una combinación de ambas soluciones.

Cada múltiple puede abastecer de dos a 20 regaderas, sin embargo, las condiciones de diseño en cada campo determinaron el número máximo de líneas regaderas que pueden ser servidas.

Debido a la ubicación de los puntos de control, la variación de presión en los principales y laterales no afecta la sub-unidad de riego, de tal forma que estas

tuberías puedan ir dispuestas en contra o a favor de la pendiente

3.3 Diseño hidráulico.

Consiste en determinar el diámetro adecuado de las tuberías y las presiones de funcionamiento.

a) Variación de la carga permisible.

Es la variación de carga de presión entre goteros en una subunidad que va a dar la uniformidad de emisión de diseño en la subunidad. Para que a lo largo de todas las líneas regantes y en cada una de las salidas mantenga un flujo constante, teniendo como tolerancia máxima una variación de caudal del 10% entre el primero y el último gotero; debe tenerse una pérdida por fricción máxima del 20% de la carga de operación de gotero, en lateral y secundaria (9).

b) Diámetro y longitud de las líneas laterales.

Para calcular las pérdidas de carga por fricción la fórmula más corrientemente usada para el cálculo de tuberías es la de Hazen-Williams; sin embargo, la fórmula se adapta para cualquier tubería que opere a caudal variable debido a que éste disminuye a lo largo de la tubería por efecto de las pérdidas parciales de caudal a través de los goteros.

Como la velocidad del agua en una tubería de diámetro

es directamente proporcional al caudal fluyente, cuando éste disminuye la velocidad baja; también la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad, por lo que se concluye que la disminución del caudal a lo largo de la tubería provoca una disminución de las pérdidas de carga por fricción.

Se ha determinado que el grado de disminución de la pérdida de carga es una función del número de salidas, en este caso sería el número de goteros que están colocados a lo largo de la tubería regante. Por lo que se adiciona a la fórmula de Hazen-Williams el factor de corrección a partir del número de goteros.

Las pérdidas de carga por fricción no deben sobrepasar los límites permisibles o sea que no debe ser mayor del 20% de la presión de trabajo del gotero, para asegurar un funcionamiento uniforme de todos los goteros a lo largo de la línea regante.

c) Diámetro de la tubería distribuidora o múltiple.

Normalmente el múltiple reparte el agua a ambos lados de la entrada del agua que viene del lateral y así mismo puede abastecer líneas regantes colocadas a un lado y a otro de tubería que riegan en direcciones opuestas, tal caso sucede cuando el terreno es plano. Por lo tanto al momento de selección del diámetro adecuado deberán hacerse las previsiones adecuadas para satisfacer estas condiciones.

Para la selección del diámetro de las tuberías, las pérdidas de carga por fricción no deben ser mayores del 9% de la presión de operación de los goteros. Dichas pérdidas -- por fricción se calculan por medio de la fórmula de Hazen-Willian.

d) Diámetro de las tuberías principales y subprincipales.

Las líneas principales para sistemas de riego por goteo varían desde líneas muy cortas hasta redes intrincadas, dependiendo del tamaño del campo que se desee regar. La tubería principal, debe ser capaz de conducir las cantidades de agua requeridas en todas las zonas de riego a la presión necesaria para operar satisfactoriamente, los laterales bajo las condiciones de flujo máximo.

El problema principal de diseño es la selección de los diámetros de la tubería, con los cuales los gastos de operación resultan más económicos.

El diseño apropiado requiere un análisis de todo el sistema para determinar las necesidades máximas de caudal y -- presión, en los diferentes sitios de desviación del agua.

Las pérdidas de presión causadas por la fricción, es la principal consideración en el diseño de cualquier sistema -- de riego por goteo, las cuales pueden ser calculadas a través de la fórmula de Hazen-Willians.

Hay diferentes alternativas para llegar a obtener una -- respuesta satisfactoria al problema planteado, entre los que se mencionan : el método de la pérdida de carga unitaria, -

método de la velocidad permisible, método de la comparación de costos (económico) y el método del porcentaje de pérdidas permisibles. Para riego por goteo el método más aceptable está basado en que la máxima pérdida de carga permisible sea menor del 15% de la presión de trabajo del gotero.

e) Carga dinámica total.

Consiste en determinar el total de la carga hidráulica, la cual deberá ser satisfactoriamente cubierta por el sistema de bombeo, para que el sistema opere eficientemente. Esta carga hidráulica comprende tanto la energía de posición, así como la energía de presión y de velocidad de sus principales componentes.

f) Potencia necesaria del equipo de bombeo.

La unidad común de potencia es el caballo de vapor (Horse Power), simbolizado por HP, y equivalente a 75 KgF. por segundo. Para determinar este valor es necesario conocer la carga dinámica total y el caudal requerido para regar una sub-unidad; además permite calcular la potencia al freno del motor o BHP (9, 13).

4. Consideraciones sobre el volumen de suelo mojado y su importancia en el diseño y eficiencia de un sistema de riego por goteo.

Una característica inherente a los sistemas de riego por goteo es la de no mojar toda la superficie bajo cultivo y,

más aún, la de no mojar todo el volumen de suelo correspondiente a dicha superficie.

La posibilidad de obtener buenos resultados agronómicos con un sistema de riego por goteo dependerá en gran medida, del balance entre la disminución de la tensión mátrica del suelo y el posible incremento de resistencia total del sistema radicular

A efectos de diseño de instalaciones de riego por goteo, surgen inmediatamente dos preguntas :

- 1) Cuál es la función de producción de un cultivo determinado para un volumen de agua de riego aplicado equivalente a la ET_c , respecto al volumen de suelo mojado?
- 2) Una vez establecido este valor, ¿cómo puede conocerse, a priori, el número de emisores necesarios para obtenerlo en unas condiciones de ET_c , y unas características físicas del suelo determinado?

La carencia de respuestas concretas a estas cuestiones, constituye uno de los problemas más graves, desde el punto de vista agronómico, para el diseño de instalaciones eficientes de riego por goteo y ha sido responsable de algunos fracasos importantes de este tipo de riego en España y particularmente en las Islas Canarias (11).

4.1 Patrón de humedecimiento del suelo.

Cuando el agua es aplicada lentamente al suelo en un --

solo punto, sobre ella actúan fuerzas de gravedad (hacia -- abajo) y capilaridad (exterior radial), produciendo un patrón de humedecimiento característico para cada tipo de sue los y para cada tasa de aplicación (10).

Generalmente alrededor de cada gotero se forma una zona del suelo húmedo denominado "bulbo" por su forma caracterís tica.

Dentro de dicho bulbo se forman tres zonas con distinto contenido de agua y de aire, que a continuación se descri-- ben :

- a) La zona saturada : Debajo y alrededor del gotero, zona en la que existe un exceso de agua y falta de aire.
- b) La zona de equilibrio : En la cual existe una relación óptima entre el agua y el aire.
- c) La zona seca: donde existe un déficit de humedad y un máximo de aire (Ver Figura 2).

Las características del suelo son las que determinan el movimiento del agua bajo el riego por goteo, por ello existe una relación entre la dimensión horizontal (el diámetro de humedecimiento) y la dimensión vertical (la profundidad de humedecimiento) en las cuales se distribuye el agua de riego. Ambas dimensiones constituyen los límites del "bulbo" humedecido (1).

● La infiltración vertical del agua en un medio poroso ho-- mogéneo movido por acción de la succión capilar y gravita--

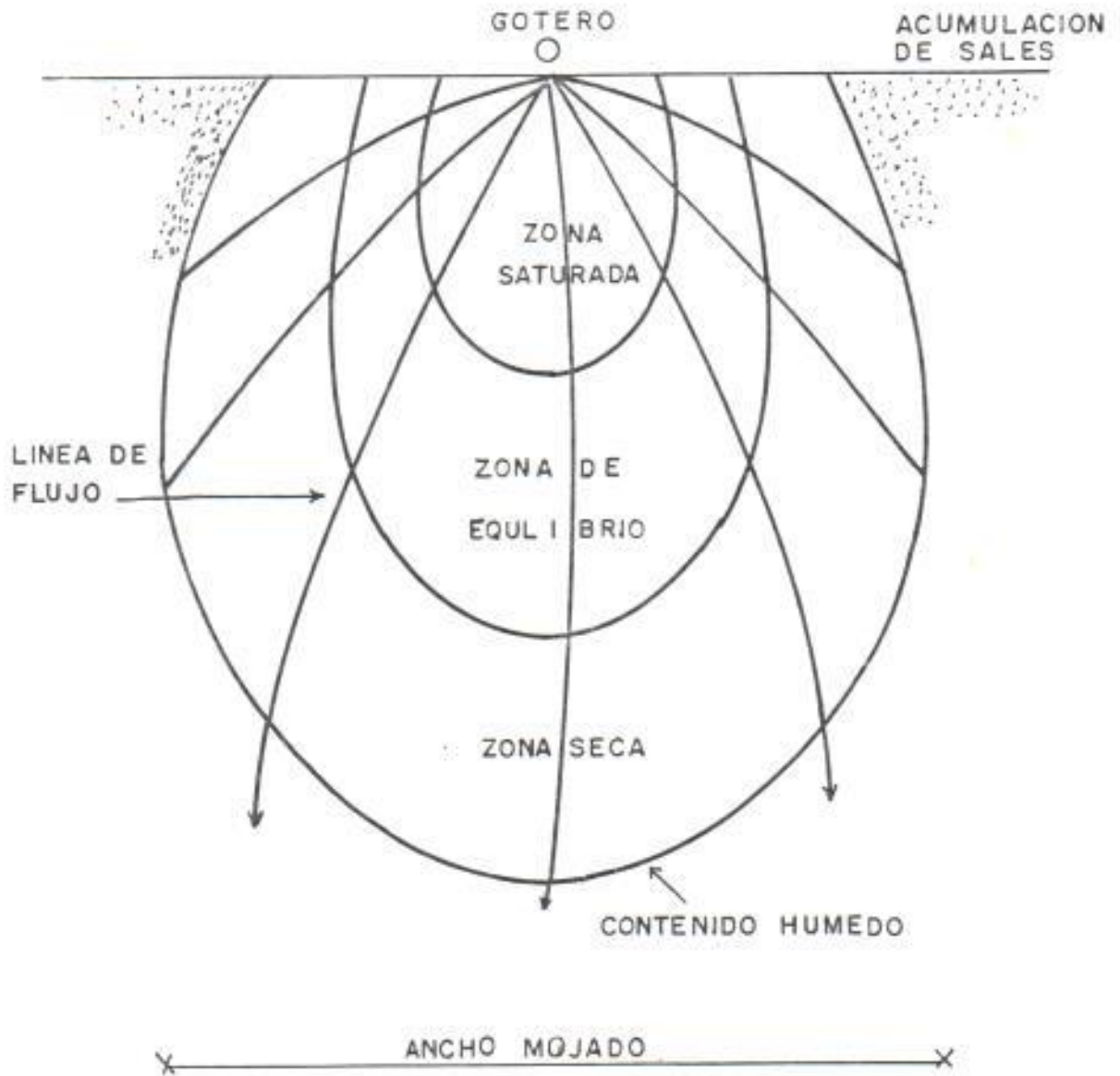


FIG. 2 PATRON DE HUMEDECIMIENTO

cional, fue descrita por Jobling (1973) (12).

$$YV = (25)^{1/2} / \frac{K}{IMD} / \phi(S) t^{\phi/S}$$

Donde :

YV = Penetración vertical del agua en un tiempo dado (cm)

S = Succión capilar promedio del frente de mojado (cm)

K = Conductividad hidráulica a saturación (cm/h).

IMD = Déficit de humedad inicial.

= (Porosidad) - (contenido de humedad inicial).

t = Tiempo de infiltración (h)

ϕS = Es una función de S, la cual es igual a 1.0 cuando S es igual a 0, la cual se aproxima a 1.0 cuando S tiende a infinito.

El movimiento horizontal del agua bajo la acción de la succión capilar fue estudiado por Green y Ampt. en 1911, tal fenómeno puede ser expresado de la siguiente forma : (12)

$$Yh = (25)^{1/2} / \frac{K}{IMD} / 1/2 t^{1/2}$$

Donde :

Yh = distancia horizontal del movimiento del agua (cm).

El dimensionamiento del bulbo húmedo depende de los siguientes factores :

- Suelo : La textura, estructura y características físico-químicas del suelo determinan el tamaño del bulbo húmedo. La dimensión horizontal es favorecida por la atracción capilar del suelo y la dimensión vertical está dominada

por la fuerza de gravedad.

- El volumen de agua aplicado :

La descarga del gotero y la duración del riego, que componen el volumen de agua aplicado tienen influencia en el crecimiento del bulbo húmedo.

La distribución lateral (horizontal) del agua, depende de la descarga del gotero, estos dos factores mantienen una relación directamente proporcional.

Cuando más se prolonga el riego bajo una determinada descarga, más aumenta la dimensión horizontal, hasta un determinado límite, pasado este límite, se pierde el agua por debajo de la zona radicular (10).

En un experimento realizado por Jack Keller (UTHA), el patrón de mojado de una aplicación aproximadamente de 45 litros (12 galones) de agua a un suelo arenoso seco con caudales de alimentación de 4, 8 y 16 LPH (1, 2 y 3 gph), resultó interesante hacer notar que los patrones vertical y horizontal son casi idénticos para los tres caudales para volúmenes de agua aplicada. (13)

- La frecuencia del riego :

A medida que el suelo se seca, aumenta la tensión con la cual el suelo retiene el agua. Tensiones elevadas reducen la velocidad del movimiento del agua en el suelo.

(1).

4.1.1 Crecimiento del bulbo humedecido en suelo arenoso.

Los suelos arenosos se caracterizan por poseer la mayor parte de su espacio aéreo formado por poros no capilares o macroporos, los cuales ejercen relativamente débiles fuerzas de capilaridad y ofrecen poca resistencia al flujo de agua - gravitacional, el resultado de esto es que el movimiento horizontal es limitado, mientras que el movimiento descendente del agua es rápido.

El patrón de humedecimiento para un suelo arenoso sería profundo con un pequeño crecimiento horizontal (Ver Figura 3).

En suelos arenosos la dificultad es alcanzar un suficiente crecimiento lateral del patrón de humedecimiento, esto - puede ser corregido si la aplicación es a una tasa más alta y en un menor tiempo. Aún bajo estas condiciones el patrón de humedecimiento tenderá a ser profundo y angosto debido a la fácil penetración del agua.

Una desventaja de este análisis será la necesidad de flujos altos y las pérdidas causadas por la pobre capacidad de retención de estos suelos, un método más económico de como - conseguir un crecimiento lateral más aceptable será usando - varios goteros de baja descarga.

4.1.2 Crecimiento del bulbo humedecido en suelo arcilloso.

Los suelos arcillosos se caracterizan por poseer la mayor parte de su espacio aéreo formado por poros capilares o microporos, los cuales ejercen relativamente fuertes fuerzas de capilaridad y ofrecen mucha resistencia al flujo del agua en sentido vertical. Como resultado se tiene un patrón de humedecimiento poco profundo y un amplio crecimiento horizontal (Ver Figura 3).

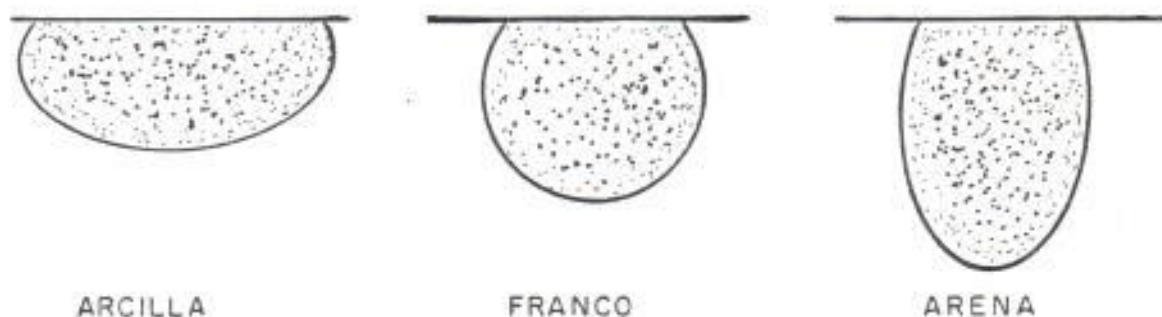


Fig. 3 . Comportamiento del agua en suelos de textura Franca, Arcillosa y Arenosa.

En este tipo de suelos la dificultad es alcanzar la suficiente penetración vertical del agua en el perfil.

Una forma de beneficiar el crecimiento vertical del bulbo húmedo es hacer largas aplicaciones con una descarga baja del gotero.

4.1.3 Crecimiento del bulbo humedecido en suelo franco.

El suelo franco se caracteriza por mantener un equilibrio entre los poros capilares y los no capilares, por lo que sus patrones de humedecimiento se encuentran entre los extremos representados por las arenas y las arcillas (Ver Figura 3).

Las descripciones de los patrones de humedecimiento realizadas anteriormente, pueden sufrir modificaciones bajo --- otras condiciones que presenten los horizontes en el perfil del suelo.

El movimiento del agua en los suelos será afectado por - la condición de la capa superficial del perfil de suelo, la permeabilidad de los sub-suelos, por la variación de las propiedades de los horizontes del suelo, y por la presencia de estratos impermeables (10).

Se realizaron dos ensayos sobre la utilización de los bulbos de humedecimiento en el diseño de un sistema de riego por goteo en 1986. Uno en la finca Jamalich y el otro en la antigua hacienda San Diego. Las texturas fueron : Franco arcillosa en la superficie y arcillosa en los estratos inferiores.

La otra presentó una textura franca arcillo arenosa en la superficie y areno-francosa en los substratos, respectivamente. Para la finca Jamalich, el comportamiento que sigue el crecimiento del diámetro del bulbo humedecido, fue el de una curva exponencial y para la antigua hacienda San Diego, la curva que mejor se ajustó a la tendencia de los datos fue una logarítmica (5).

La S.O.G.R.E.A.H., llevó a cabo un estudio sobre la formación del bulbo, a fin de determinar el espaciamiento de los goteros. Se trabajó con un suelo arenoso en la superficie y de marga arenosa debajo, hasta un nivel profundo. El agua se distribuyó de modo continuo por goteadores durante tres semanas, a tres intensidades de caudal : 0.26 LPH, -- 0.56 LPH, y 0.81 LPH. Se observó que en el suelo había tendencia a la formación de bulbos invertidos con un rápido descenso del agua en profundidad y poco derrame en sentido horizontal. El diámetro de la zona humectada no excedió de 1.5 m, además cuanto más débil era la corriente, mayor era la tendencia del bulbo a extenderse hacia abajo (2).

4.2 Movimiento del agua en el suelo.

El movimiento del agua ocurre cuando hay diferencias de potencial hídrico entre diferentes puntos del sistema (suelo, planta y atmósfera). El agua tiende a moverse de alto

a bajo potencial, ya que la componente de succión (consistente sobre todo de gradientes matriciales, osmótico o termal), puede exceder el componente gravitacional, el agua puede moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo o permanecer sin movimiento cuando la gradiente de succión balancea la fuerza de gravedad.

Según la naturaleza de los procesos y leyes de la fuerza, pueden reconocerse tres fases del movimiento del agua: movimiento del agua en el interior del suelo, movimiento y drenaje del agua a través de un suelo saturado y ajuste del agua en suelos no saturados, incluyendo varios efectos osmóticos y térmicos sobre él (6).

El modelo de Van Den Honert (1948), para explicar el movimiento del agua en el sistema, concibe el recorrido del -- agua como un conjunto de resistencias en serie, donde la velocidad de flujo en cada sección puede ser considerada constante. Como el flujo obedece a diferencias de potencial del agua, el modelo propone (por analogía con la ley de Ohm), -- omitiendo el potencial gravitatorio del suelo, que el potencial de agua en la hoja es igual al potencial de agua en el -- suelo menos la velocidad de flujo y las resistencias al transporte del agua en el suelo, raíz, xilema, hoja y fase gaseosa.

En condiciones de riego por goteo de alta frecuencia, con potenciales matriciales del agua en el suelo constantemente bajos, se producirá un decremento en el potencial de agua en el

suelo, que permitirá un incremento en la resistencia al flujo de agua en el sistema radicular (11).

4.3 La estimación con fines de diseño de la forma y dimensiones del volumen de suelo mojado.

Los patrones de humedecimiento de cualquier suelo son difíciles de predecir, sólo un indicador confiable será un plan piloto de experimentos. Varios goteros deben ser instalados en una muestra representativa de varios tipos de suelo y operando a una descarga conocida, muestreadores y/o tensiómetros pueden ser usados para determinar el crecimiento vertical y horizontal del patrón de humedecimiento.

- Pruebas de campo

El método más simple y seguro que puede utilizarse, para estimar la forma y dimensiones del volumen de suelo mojado desde un emisor, con fines de diseño, será realizar una prueba en el campo. Si es posible, puede usarse una plantación próxima, con el mismo cultivo y suelo, para realizar la evaluación. Si no, basta con un dispositivo sencillo compuesto de :

- Depósito para agua de unos 100 litros de capacidad.
- Soporte para el depósito de aproximadamente 1.50 m de altura;

- Tubería de polietileno de 12 ó 16 mm de diámetro y de 3 a 5 m de longitud.
- Emisores de flujo turbulento.

Con este equipo puede aplicarse varias veces la cantidad de agua estimada en los cálculos previos como necesaria, con los mismos intervalos a que posteriormente, se aplicarán los riegos. Al final de este proceso, se abre una zanja según una línea recta que pasa por el punto donde estaba situado el emisor y se toman las medidas necesarias para dibujar con exactitud la forma del suelo mojado. Esta medida debe repetirse tantas veces como la variabilidad del suelo aconseje.

Un 10 ó 20% más de profundidad mojada puede ser deseable como fracción de lavado para control de sales (11).

III. MATERIALES Y METODOS

1. Localización del ensayo.

El ensayo se realizó en el Campo Experimental y de -- Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, localizado en el Cantón Tecualuya, Jurisdicción de San Luis Talpa, en el Departamento de La Paz, a 36 km de San Salvador, y - con una elevación de 50 msnm.

Las coordenadas geográficas son: $89^{\circ}05.8'$ longitud oeste, $13^{\circ}28.3'$ latitud norte; Coordenadas planas : 489.6 km longitud oeste, 261.5 km latitud norte.

El 90% del terreno se encuentra en el Cuadrante 2356-II Río Jíboa, y el resto en el 2356-I Olocuilta. (Fig.4)

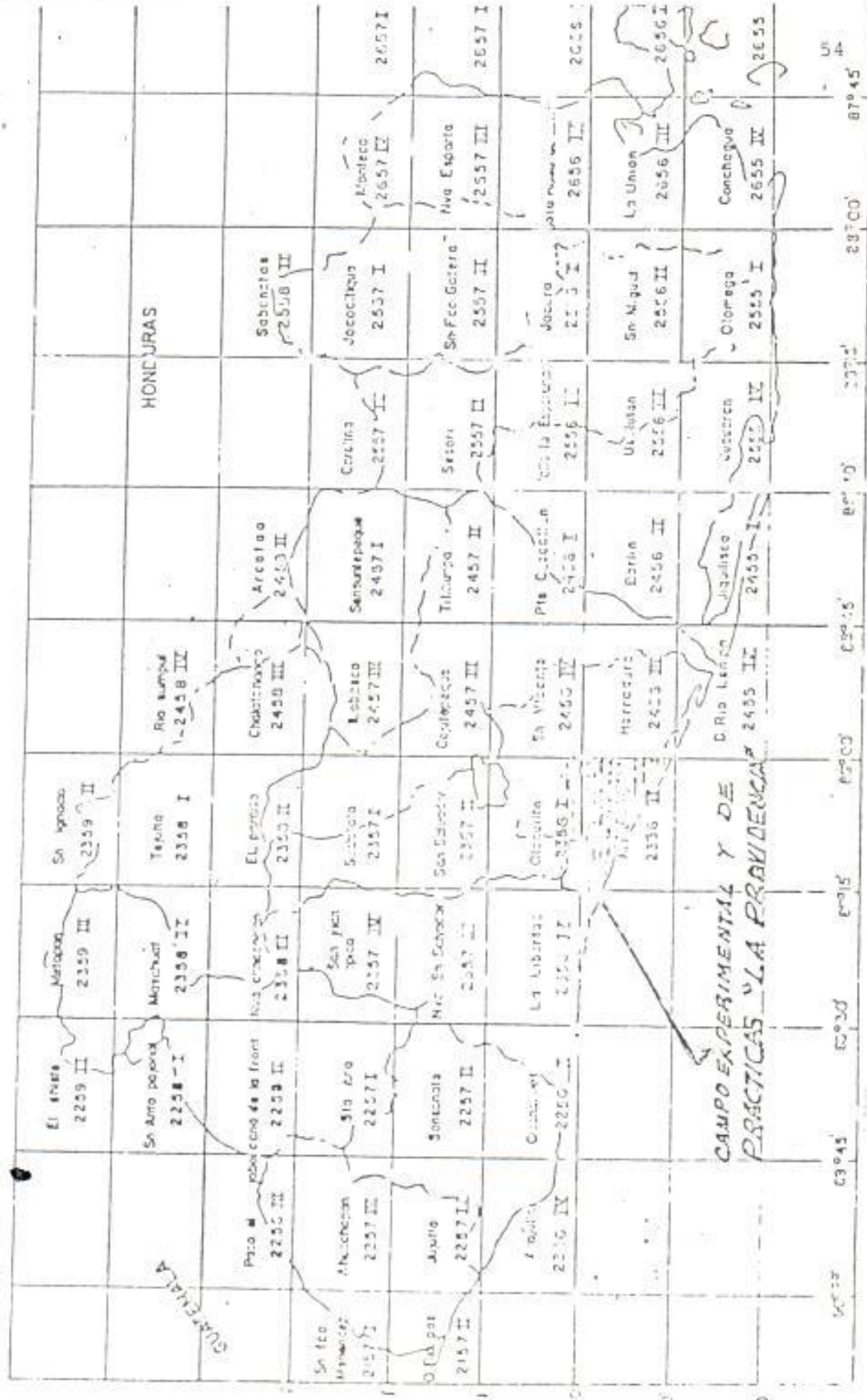
El experimento se ubica en el área destinada a cultivos anuales, en la zona sur, aledaño al lote La Bomba (Fig.5).

2. Características generales de la zona.

2.1 Suelos.

De acuerdo a la antigua clasificación norteamericana del año 1938, se pueden diferenciar tres grandes grupos de ~~S~~uelos:

- a) Aluviales
- b) Regosoles
- c) Litosoles.



El suelo utilizado en el experimento fue recolectado - de los puntos siguientes :

- Suelo Franco : Lote El Mango
- Suelo Arenoso-Franco : Lote El Limón
- Suelo Franco-Arcilloso : Lote La Laguna (Fig. 5).

La topografía predominante es de plana a ligeramente inclinada (menos de 2%), encontrándose también ondulada a alameda.

2.2 Clima

De acuerdo al sistema de clasificación de las zonas - de vida del Dr. L.R. Holdrige, se encuentra la siguiente - zona: bh-S(c) bosque húmedo subtropical (con biotemperatura media anual de 24 °C).

Según la clasificación climática de Köppen, Sapper y - Laver, el Campo Experimental se encuentra en la zona: clima propio de las Sabanas Tropicales Calientes o tierra caliente (0-800 msnm), la clasificación es Awaig.

- Temperatura :

La temperatura promedio anual es de 26.5 °C, registrán - dose la máxima media mensual en los meses de febrero a --- abril (34.2 °C) y la mínima media mensual en los meses de noviembre a febrero (21.4 °C).

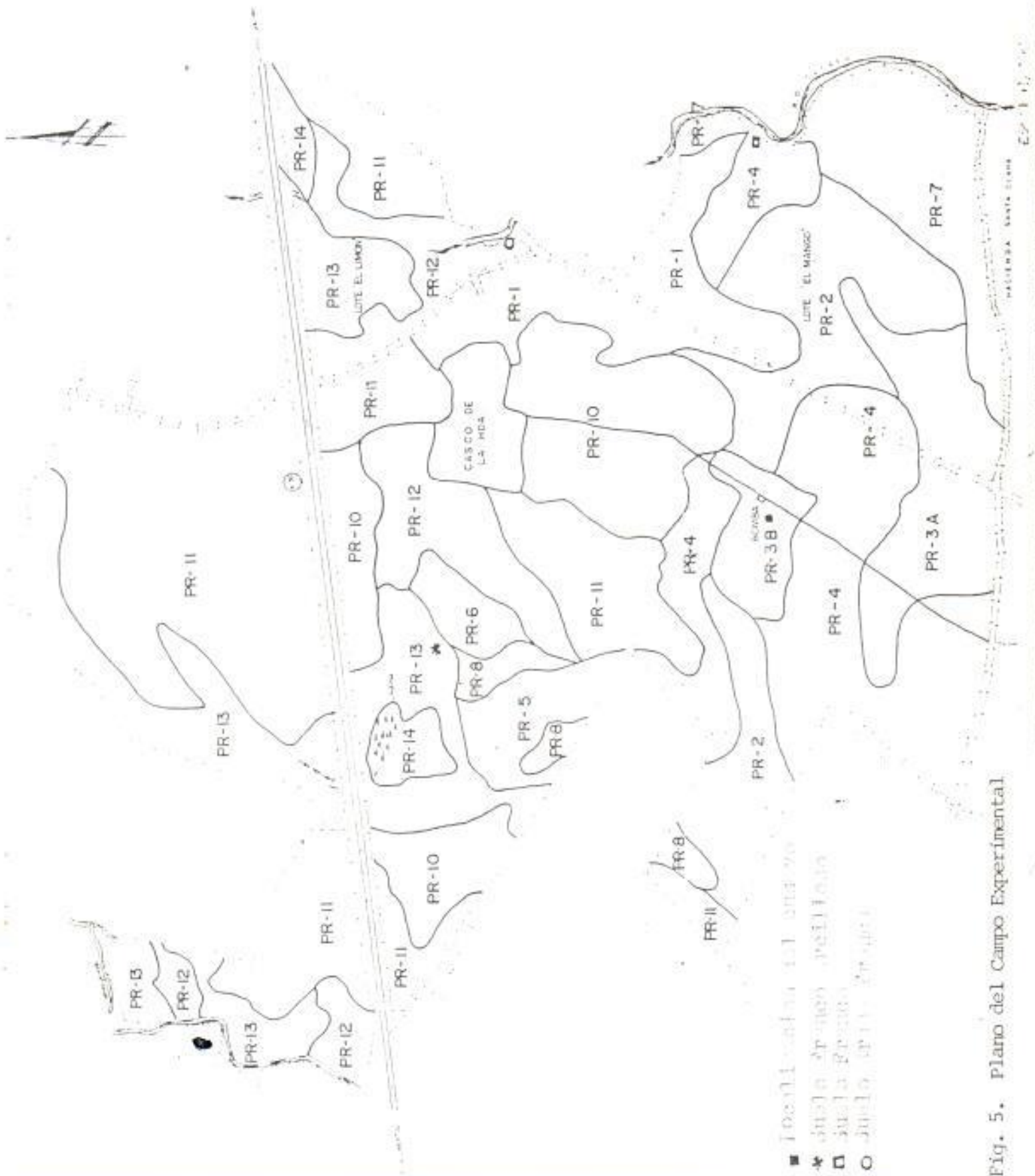


Fig. 5. Plano del Campo Experimental

- Humedad relativa :

La humedad relativa promedio anual es del 74%, registrándose la mínima en el mes de febrero (63%) y la máxima en septiembre (84 %).

- Precipitación :

La suma anual de precipitación es de 1723 mm. Este aporte total se ve incrementado en los meses de mayo hasta octubre, en los cuales se limita la época lluviosa. En el resto del año las precipitaciones son menores de 52 mm mensuales.

- Viento :

La velocidad promedio del viento es de 1.7 en la escala Beaufort que corresponde a 6-11 km/hora. Las ráfagas máximas se registran en los meses de diciembre y enero, y las mínimas en junio (Cuadro 2).

Cuadro 2 . Resumen climatológico del Campo Experimental

ESTACION : "LA PROVIDENCIA" LATITUD : 13°28.3' N HOLDRIGE : bh-S(c)
 LONGITUD: 89°05.8' W ELEVACION : 50 msnm

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Temperatura media.	25.5	26.4	27.0	28.0	27.5	26.8	26.8	26.7	26.0	26.1	26.1	26.2	26.5
Temperatura máxima media.	33.3	34.0	34.2	34.3	32.7	32.3	33.2	33.0	31.6	33.4	32.9	33.4	33.0
Temperatura mínima media.	20.8	21.6	22.2	23.7	23.8	23.1	22.6	22.6	22.5	22.4	21.8	21.3	22.2
Humedad relativa promedio %	65	63	64	68	80	82	79	80	84	81	71	66	74
Precipitación (mm)	8	3	22	28	184	371	273	293	293	190	52	6	1723
Viento promedio (Escala Beaufort)	2.1	1.9	1.5	1.7	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	2.0	1.7
Evaporación Tanque clase A (mm/mes)	215	220	235	216	164	166	197	201	151	154	178	217	2312

FUENTE : Primer Diagnóstico del Campo Experimental y de Prácticas "La Providencia".

- Evaporación

La evaporación anual medida en tanque Clase A, es de - 2312 mm, observándose las mayores pérdidas de agua a la at mósfera en los meses de diciembre hasta abril.

2.3 Recursos hídricos.

Los recursos hídricos superficiales están constituidos por el Río Cacapa, el cual conduce un reducido caudal en - la época seca, por lo cual, su uso para fines agrícolas es limitado.

La fuente de agua actual es un pozo profundo que abastece las demandas de consumo animal, humano y de cultivos, su capacidad es de 280 GPM.

- Calidad del agua

Meq/lt de Ca	:	1.06
Meq/lt de Mg	:	0.2225
C.E.	:	73.5 micro Mohs/cm
Meq/lt de Na	:	8.7
RAS	:	10.86
pH	:	6.4

Según el sistema de clasificación de Riverside es agua C_1S_2 , que son aguas con poca salinidad, se puede usar en el riego de la mayor parte de suelos con poca probabilidad que se desarrolle salinidad en ellos.

3. Características del sistema empleado.

3.1 Fuente de abastecimiento.

La fuente de agua la constituye una cisterna de 2.4 m^3 de capacidad, que es alimentada por la bomba del pozo profundo.

3.2 Fuente de energía.

Se utilizó una bomba centrífuga, impulsada por un motor eléctrico de 1 HP.

3.3 Cabezal de control.

Estuvo formado por un tanque fertilizante y un filtro de malla y válvulas.

3.4 Red de tuberías

- Tubería principal

Se utilizaron 3 tubos de aluminio de 9 m de longitud y 3 pulg. de diámetro. Esta transportó el agua desde la bomba hasta la tubería múltiple.

- Tubería múltiple.

Se utilizó un tubo de polietileno de 4 m de longitud y 1 plg. de diámetro, se operó con 1 salida la cual permitía el paso de agua hasta la línea regante.

- Línea regante

Se usó una tubería de polietileno de 100 m de longitud y 16 mm de diámetro interno. Esta portaba goteros a cada metro de longitud, su función era transportar el agua desde la múltiple hasta los goteros.

3.5 Goteros

Los goteros utilizados se pueden clasificar según el régimen hidráulico de funcionamiento en :

- Por el tipo de régimen, parcialmente turbulento (gotero).
- Por la forma en que tiene lugar la pérdida de carga : de recorrido corto.
- Por la forma de sujeción en la tubería: en derivación (gotero sobre la tubería).
- Por el modo de distribuir el agua: simple (una salida)
- Por el riesgo de obstrucción: débil (diámetro mayor de 1.5 mm).
- Por la forma de limpiarlos: no desmontables.
- Por su regulación de la presión: no regulables.

3.6 Accesorios

En la tubería principal se utilizaron 2 codos de 45° - de 3 plg de diámetro.

En la unión de la tubería principal con la múltiple, - se instaló una unión macho, con válvula de paso y unión T de 1 plg de diámetro. En ésta se conectó la tubería múltiple.

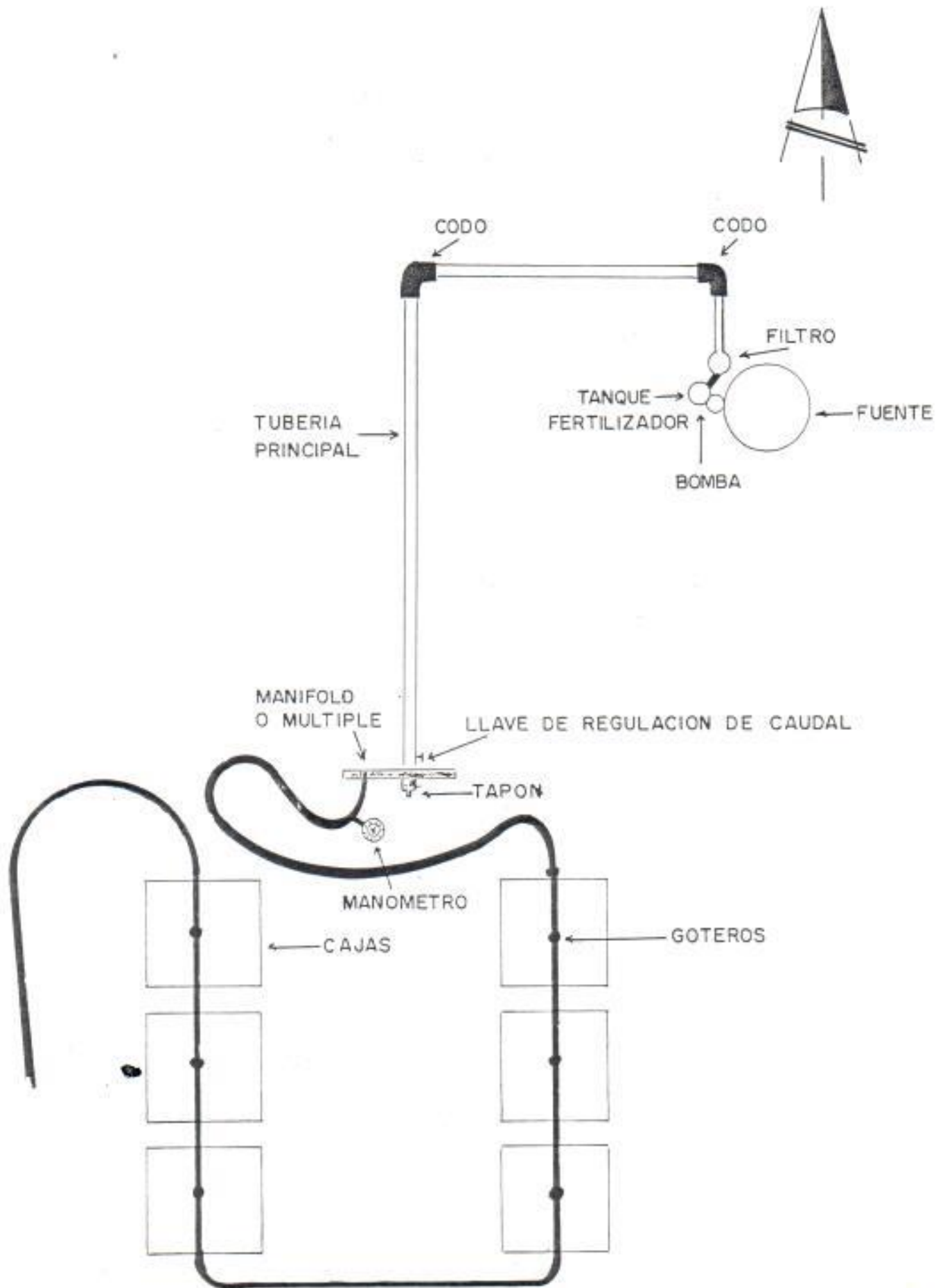
Manómetro de pitot, instalado en la línea regante a 2 m de la unión con la múltiple. Su función consistía en medir la presión de funcionamiento del sistema.

3.7 Disposición del sistema. (Ver Figura 6).

4. Preparación del material experimental.

4.1 Construcción de cajas.

Se construyeron 6 cajas de madera, de las siguientes dimensiones : 1.5 m x 1.5 m x 1.5 m. La función de éstas era mantener un cubo de suelo que simulara un perfil.



4.2 Preparación del suelo.

Pasos :

- Se identificó la textura en el mapa de clasificación - de suelos del Campo Experimental.
- Verificación de la textura al tacto.
- Verificación de la textura en el laboratorio
- Medición de la penetración del suelo en su estado natural, con penetrómetro.
- Recolección de 30.3 m^3 de suelo :
 - Franco : 10.1 m^3
 - Arenoso-franco : 10.1 m^3
 - Franco-arcilloso : 10.1 m^3
- Secado del suelo

El suelo recolectado se secó al aire libre durante 3 - días, con el fin de eliminar humedad.

4.3 Llenado de cajas.

Las cajas se llenaron en capas de 15 cm, compactando y chequeando la penetración. con el fin de darle la misma penetración que tenía el suelo en su estado natural.

5. Metodología

La prueba consiste en aplicar un caudal de 4 LPH, du-

rante un tiempo de 3, 6 y 12 horas, a 3 tipos de texturas, las cuales son: Franca, Franca arcillosa y Arenosa franca, que se evaluaron en las cajas de madera, después de cada tiempo de aplicación se midió el diámetro del bulbo humedecido a intervalos de 5 cm de profundidad, hasta cubrir la profundidad de humedecimiento alcanzada.

Primeramente se evaluaron las texturas Franca y Arenosa franca, y posteriormente se evaluó la textura Franca arcillosa.

Durante el desarrollo de las pruebas que se realizaron en los meses de enero, febrero y marzo de 1989, se efectuaron las siguientes mediciones.

5.1 . Contenido de humedad

Al momento de efectuar la prueba, se procedió a tomar una muestra de suelo, para determinar el contenido de humedad por el método gravimétrico.

5.2 Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración se determinó en base a suelos analizados, que presentaban características de textura similares a los suelos en estudio, para su determinación se empleó el método del doble cilindro.

5.3 Gravedad Específica Aparente (GEA)

Se determinó por medio del método de los cilindros de volumen conocido.

5.4 Gravedad Específica Real (GER)

Se determinó por el método del picnómetro.

5.5 Contenido de humedad a capacidad de campo y -- punto permanente de marchitez.

Estas constantes se determinaron en base a suelos analizados, que presentaban características de textura similares a los suelos en estudio.

5.6 Textura del suelo.

Se verificó la textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos.

5.7 Calibración de los goteros.

Se calibró el caudal de los goteros antes de comenzar cada tiempo de aplicación, por el método volumétrico.

La fórmula empleada fue : $Q = \frac{0.06 \times V}{t}$

Q = Caudal del gotero (LPH)

V = Volumen de agua (cc)

t = Tiempo (min)

5.8 Curvas de retención de humedad

Las curvas de retención de humedad tienen ciertas características que permiten suponer que son curvas del tipo hiperbólico; si se llevan los valores de la tensión y porcentaje de humedad (θ_w) a un papel logarítmico, se alinean siguiendo aproximadamente una recta, por lo menos entre los valores del ppm y de la cc, luego la probable ecuación de la línea es :

$$T = \frac{K}{\theta_w^n} + C \quad (1)$$

Donde :

T = Tensión del suelo (atmósferas)

θ_w = Porcentaje de humedad en base a peso de suelo seco.

n = Exponente que depende de las características físicas del suelo.

K y C = Constantes que también dependen de las características físicas del suelo.

Aplicando varias curvas de retención de humedad de suelos cuya textura varía desde el franco arenoso hasta la arcilla, se encontró una ecuación de regresión entre la capa

· ciedad de campo y la constante "C", cuyo valor obtenido es el siguiente :

$$C = - 0.000014 (cc)^{2.7} + 0.3 \quad (2)$$

Con el conocimiento de dos puntos de la curva es posible despejar los valores de los parámetros n y K. Los puntos que se pueden considerar conocidos, son la cc y el ppm, puesto que para estos valores de porcentaje de humedad, correspondientes a la tensión del suelo, son aproximadamente constantes a 0.3 y 15 atmósferas, respectivamente.

Conociendo los parámetros de la ecuación, es posible calcular aproximadamente la tensión del suelo para valores conocidos de porcentajes de humedad.

La ecuación que relaciona la tensión del suelo con el porcentaje de humedad se puede expresar en su forma logarítmica y queda :

$$\text{Log } (T-C) = \text{Log } K-n \text{ Log } \theta_w \quad (3)$$

n : se puede calcular de la siguiente manera :

$$n = \frac{\text{Log } (T_{ppm}^{-C}) - \text{Log } (T_{cc}^{-C})}{\text{Log } \theta_{wcc} - \text{Log } \theta_{wppm}} \quad (4)$$

Donde :

T_{ppm} = Tensión del suelo a punto permanente de marchitez (atm).

T_{cc} = Tensión del suelo a capacidad de campo (atm)

θ_{wcc} = Porcentaje de humedad a capacidad de campo.

θ_{wppm} = Porcentaje de humedad a punto permanente de marchitez.

El valor de K se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$\text{Log } K = \text{Log } (T_{ppm} - C) + n \text{ Log } \theta W_{ppm} \quad (5)$$

Este procedimiento es aproximado; sin embargo, puede servir para conocer la relación tensión-humedad, cuando se carezca de los medios adecuados para el trazo de las curvas (16).

Para fines prácticos de graficar se despejará θW :

$$\theta W = \left(\frac{K}{T-c} \right)^{1/n} \quad (6)$$

5.9 Diámetro humedecido

Se midió el diámetro del bulbo humedecido a intervalos de 5 cm de profundidad, hasta cubrir la profundidad de humedad alcanzada.

Posteriormente, se graficaron estos valores en papel milimetrado con el objeto de determinar el máximo diámetro alcanzado para determinada profundidad y textura.

Dichos diámetros fueron corregidos aplicando la ecuación de Philip (1957), según cita Añez (17), así :

$$D_c = D'c \left(\frac{\theta_s - \theta_{i1}}{\theta_s - \theta_{i2}} \right) \quad (7)$$

Donde :

D_c = Diámetro corregido por humedad (cm).

$D'c$ = Diámetro leído en el campo, para tramo y caudal dados; y un contenido de humedad volumétrico θ_{i1} (cm).

θ_s = Es el porcentaje volumétrico de humedad del perfil del suelo a saturación.

θ_{i1} = Porcentaje volumétrico de humedad del perfil del suelo en el momento de la prueba.

θ_{i2} = Idem. a θ_{i1} , pero correspondiente al umbral de riego o porcentaje de agotamiento.

El valor de θ_s , puede estimarse a partir de la siguiente ecuación :

$$\theta_s = 100 \left(1.0 - \frac{D_a}{D_r} \right) \quad (8)$$

Donde :

D_a = Densidad aparente del suelo (gr/cc).

D_r = Densidad Real del suelo (gr/cc)

El valor de θ_{i1} , puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación :

$$\theta_{i1} = \theta W_{i1} \times D_a \quad (9)$$

El valor de θW_{i2} se puede calcular mediante la siguiente ecuación :

$$\theta W_{i2} = \theta W_{cc} - \left(\frac{\theta W_{cc} - \theta W_{ppm}}{100} \right) Y. \quad (10)$$

Donde :

θW_{i2} = Porcentaje gravimétrico de humedad del perfil al umbral de riego.

θW_{cc} = Idem a θW_{i2} , pero correspondiente a capacidad de campo.

θ_{wppm} = Idem a $\theta_{w_{i2}}$, pero correspondiente al punto permanente de marchitez.

Y = Umbral de riego (porcentaje).

El valor de θ_{i2} se obtiene a partir de la siguiente ecuación :

$$\theta_{i2} = \theta_{w_{i2}} \times Da \quad (11)$$

La ecuación que se obtiene al representar los datos de diámetro de cobertura, D_c , contra el volumen aplicado, V , es del tipo siguiente :

$$D_c = K \times V^m \quad (12)$$

Donde :

D_c = Diámetro corregido por humedad (cm)

K = Es el intercepto a $V = 1.0$ de la recta en papel Log-Log.

V = Es el volumen que aplica un punto de emisión o un gotero (lt).

El área humedecida por un gotero, A_h , es el área del círculo mojado; que se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$A_h = \frac{\pi \times (D_c)^2}{4} \quad (13)$$

Pero :

$$(D_c)^2 = K^2 \times V^{2m}$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación (13), se tiene:

$$Ah = \frac{\gamma \times K^2 \times V^{2m}}{4} ; \delta$$

$$Ah = K' \times V^{2m} \quad (14)$$

$$K' = \frac{\gamma \times k^2}{4}$$

Los datos de diámetro humedecido corregidos por humedad y volumen aplicado, se plotearon en papel milimetrado para obtener la tendencia de la curva y así generar la ecuación correspondiente a cada tipo de suelo.

6 Diseño estadístico

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar en arreglo factorial 3 x 3 con 3 repeticiones.

6.1 Variables evaluadas.

A. Variables independientes :

- Tiempo de aplicación (T)

$$T_1 = 3 \text{ horas}$$

$$T_2 = 6 \text{ horas}$$

$$T_3 = 12 \text{ horas}$$

- Tipo de textura :

F : Franca

C : Franco arcilloso

A : Arenoso-franco

- B. Variable dependiente :
- Diámetro de bulbo humedecido

6.2 Tratamientos.

Están formados por la combinación de los factores en estudio, de la siguiente manera :

1) FT ₁	4) CT ₁	7) AT ₁
2) FT ₂	5) CT ₂	8) AT ₂
3) FT ₃	6) CT ₃	9) AT ₃

6.3 Distribución estadística.

<u>Fuente de Variación</u>	<u>Grados de Libertad</u>
Tratamientos	8
Textura	(2)
Tiempo	(2)
Textura y tiempo	(4)
Error	18
<hr/>	
T O T A L :	26
<hr/>	

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados de las mediciones hechas durante el desarrollo del ensayo se dan a conocer a continuación :

1. Propiedades físicas de los suelos en estudio.

Dentro de las propiedades físicas determinadas para los suelos bajo estudio se encuentran: Textura, porcentaje de humedad gravimétrica, velocidad de infiltración, gravedad específica aparente, gravedad específica real, porcentaje de humedad a capacidad de campo y punto permanente de marchitez, humedad volumétrica, porosidad y capacidad de retención. Los resultados de estas mediciones, se dan a conocer como promedios de cada uno de los tiempos de aplicación realizados para cada suelo en el cuadro 4.

1.1. Textura.

Según el análisis del hidrómetro de BOUYOUCOS, los suelos analizados presentaban las siguientes partes de arena, arcilla y limo.

CUADRO 3. Resultados del análisis de suelo por el método del Hidrómetro de Bouyoucos.

Suelo Materiales	1	2	3
Arena (%)	86	37	29
Arcilla (%)	6	29	28
Limo (%)	8	34	45

Al plotear los valores de las partes de los materiales correspondientes a cada suelo en el triángulo textural* se determinó que las texturas fueron las siguientes:

- Suelo 1 : Textura arena-franca
- Suelo 2 : Textura franco-arcillosa
- Suelo 3 : Textura franca

1.2. Contenido de humedad.

Al momento de realizar las pruebas, el contenido de humedad gravimétrico fué: Textura arena-franca 12.4%; Para textura franco-arcilloso 8.7% y para textura franca -- 11.7%.

* Diagrama Textural del Sistema Americano

1.3 Velocidad de infiltración.

Los resultados de la velocidad de infiltración se obtuvieron de suelos analizados con anterioridad, que presentaban características similares a los suelos en estudio.

La infiltración básica promedio para arena-franca es de 5 cm/h.; para franco-arcilloso es 0.8 cm/h y para franco de 0.5 cm/h.

1.4 Gravedad específica aparente.

La gravedad específica aparente en el estrato superficial como representativo del perfil del suelo en las cajas, resultó ser: Para arena-franca de 1.18, para franco-arcilloso de 1.28 y para franco da 1.05.

1.5 Gravedad específica real.

También conocida como densidad relativa real del suelo, resultó ser: para arena-franca 2.54; para franco-arcilloso 2.6 y para franco 2.44.

1.6 Contenido de humedad a capacidad de campo y punto Permanete de marchitéz.

Estas constantes fueron obtenidas de suelos analizados con anterioridad y que presentaban características similares a los suelos en estudio.

El contenido de humedad a capacidad de campo y punto permanente de marchitez son respectivamente de 9% y 4% para arena-franca, de 27% y 13% para franco-arcilloso y de 22% y 10% para franco.

1.7 Porcentaje de humedad volumétrica.

Estos datos fueron calculados utilizando la siguiente fórmula: $\theta V = \theta W \times GEA$

donde:

θV = porcentaje de humedad volúmetrica

θW = porcentaje de humedad gravimétrico

GEA= gravedad específica aparente.

Para suelo Arena-franca resultó ser de 14.6%, para franco-arcilloso de 11.1% y para franco de 12.3%.

CUADRO 4. Resultados promedios de las propiedades físicas de los suelos estudiados.

TEXTURA POR BOUYOCOS	REPETICION	PROPIEDADES				FISICAS			
		1 θw %	2 Ib (cm/h)	3 GEA	4 GER	5 θw cc %	6 θ ppm %	7 θv %	8 n %
ARENA-	1	12.1		1.17	2.54	9	4	14.2	53.9
	2	12.6		1.17	1.54	9	4	14.7	53.9
	3	12.4		1.19	2.54	9	4	14.8	53.2
	x	12.4	5	1.18	2.54	9	4	14.6	53.7
FRANCA-	1	8.5		1.30	2.60	27	13	11.1	50.0
	2	8.8		1.33	2.60	27	13	11.7	48.9
	3	8.8		1.20	2.60	27	13	10.6	53.9
	x	8.7	0.8	1.28	2.60	27	13	11.1	50.9
FRANCA	1	9.4		1.10	2.44	22	10	10.3	54.9
	2	13.0		1.01	2.44	22	10	13.1	58.6
	3	12.7		1.03	2.44	22	10	13.1	57.8
	x	11.7	0.5	1.05	2.44	22	10	12.3	57.1

1/ θw %: Contenido de humedad gravimétrico al momento de la prueba (%)

2/ Ib: Infiltración básica (cm/h)

3/ GEA: Gravedad específica aparente.

4/ GER: Gravedad específica real.

5/ θwcc: Contenido de humedad a capacidad de campo (%)

6/ θppm: Contenido de humedad a punto permanente de marchitez (%)

7/ N: Porosidad (%)

1.8 Porosidad total.

Estos valores fueron calculados utilizando la fórmula siguiente:
$$N = \left(1 - \frac{GEA}{GER} \right) \times 100$$

donde:

N = Porosidad total del suelo

GEA: Gravedad específica aparente

GER= Gravedad específica real

Los resultados fueron: para arena-franca 53.7%; para franco-arcilloso de 50.9% y para franco de 57.1%.

1.9 Curvas de retención de humedad.

Estas curvas fueron obtenidas a partir de la metodología propuesta por Palacios Velez (16) que se describe en el capítulo de metodología de este trabajo.

Los resultados se presentan en la figura 7, donde se observa que las curvas varían con respecto a la textura siendo mayor en la textura franca-arcillosa por tener mayor capacidad de retención de humedad; le sigue la textura franca y por último la textura arena franca que tiene baja capacidad de retención.

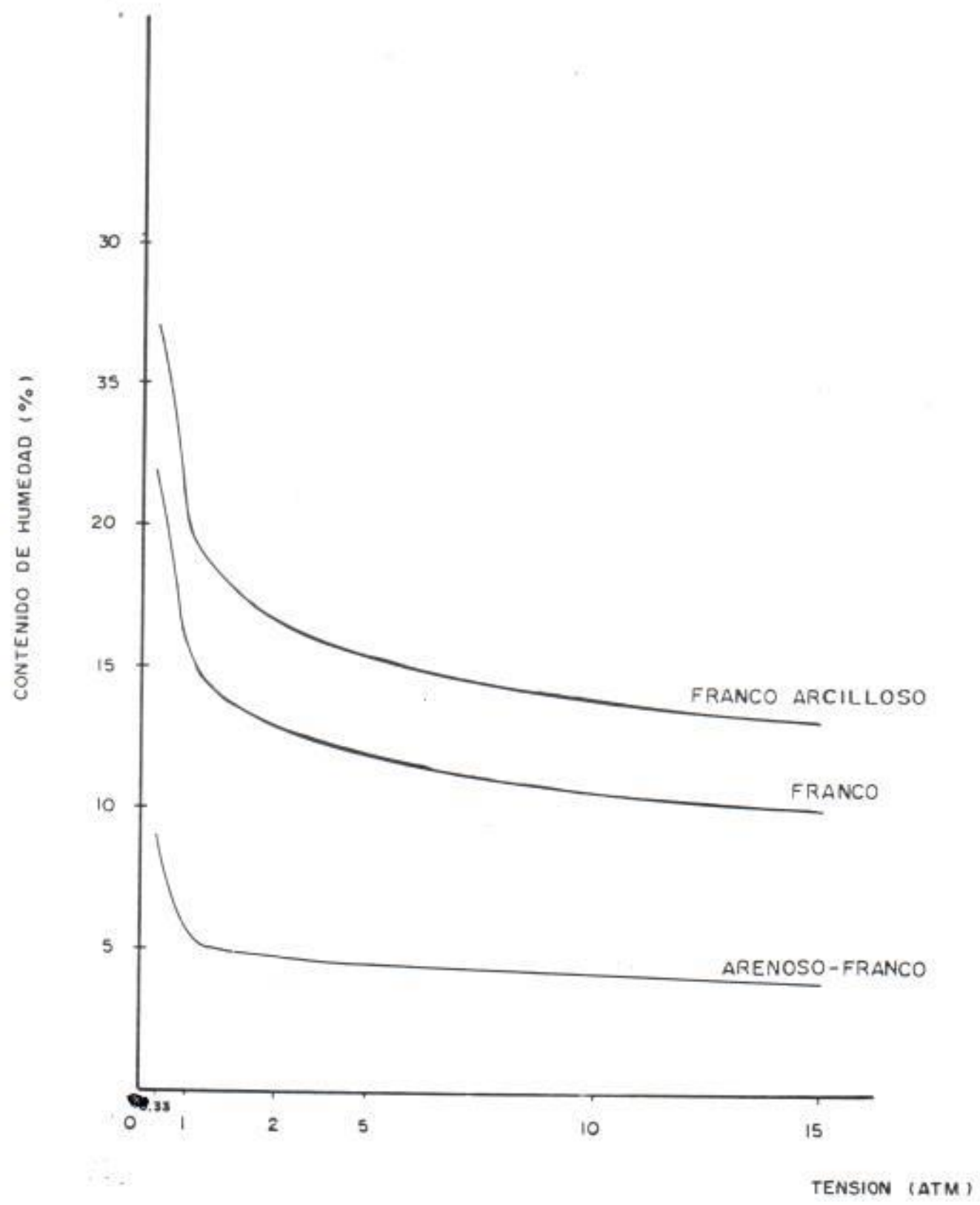


Fig. 7. Curvas de retención de humedad.

2. Calibración de la descarga de los goteros.

El caudal promedio de los goteros utilizados se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO 5. Calibración de los goteros

GOTERO	ARENOSO-FRANCO q (LPH)	FRANCO-ARCILLOSO q (LPH)	FRANCO q (LPH)
1	3.95	3.84	4.20
2	4.17	4.08	4.36
3	4.09	4.03	4.22
\bar{x}	4.07	3.98	4.26

3. Diámetros humedecidos leídos en el campo.

Los resultados de la medición de los diámetros de los bulbos humedecidos a diferentes profundidades, se dan a conocer en los cuadros 6, 7 y 8 que corresponden a cada suelo en estudio.

Con el objeto de representar el comportamiento bidimensional de los bulbos humedecidos se han ploteado los valores de diámetros y profundidad en un eje de coordenados, tal como se muestra en las figuras 8, 9 y 10.

4.0 Diámetros corregidos.

Los diámetros leídos en el campo tanto superficial como interno fueron corregidos por humedad utilizando la ecuación de Philip (7), que se describe en el capítulo de metodología de este trabajo.

4.1 Diámetro Superficial.

Los diámetros superficiales leídos en el Campo, como promedio de las tres repeticiones, fueron corregidos por humedad. Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros 9, 10 y 11, que corresponden a cada textura.

4.2 Diámetro Interno.

El promedio de las tres repeticiones de los diámetros leídos en el campo para cada textura y tiempo de aplicación, fué corregido por humedad. Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros 12, 13 y 14.

Para estimar la profundidad a la que se realizó la lectura del diámetro interno, se tomó como parámetro aquella en la cual se encontró el diámetro máximo por repetición.

CUADRO 6. Diámetros de los bulbos humedecidos leídos en el campo para textura arenosa-franca (descarga del gotero 4 LPH).

PROFUNDIDAD (cm)	3 HORAS			6 HORAS			12 HORAS		
	Repeticiones			Repeticiones			Repeticiones		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	42	50	48	65	64	61	85	86	84
5	54	60	54	68	69	68	86	91	82
10	57	61	58	67	69	68	88	89	82
15	58	63	60	66	73	68	90	89	82
20	58	62	62	66	71	69	91	92	82
25	53	58	61	65	67	69	89	95	84
30	49	48	59	60	62	66	88	96	86
35	33	40	55	51	60	61	88	93	86
40	20	40*	45	40	50	55	89	89	90
45	41*		35	25	39	48	87	87	90
50			50*	50*	20	40	84	87	90
55					52*	24	80	83	88
60						56*	78	82	87
65							70	81	87
70							60	79	81
75							50	62	72
80							30	43	72
85							83*	28	65
90								90*	53
95									38
100									100*

* Profundidad alcanzada (cm).

CUADRO 7. Diámetros de los bulbos humedecidos leídos en el campo para textura Franca-arcillosa: (descarga del gotero 4 LPH).

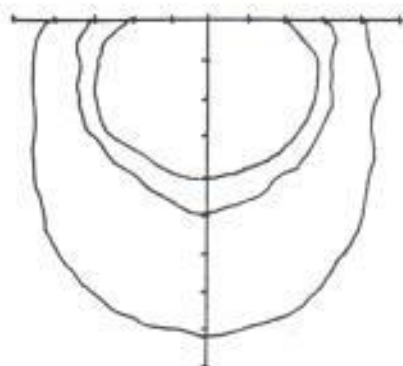
PROFUNDIDAD (cm)	3 HORAS			6 HORAS			12 HORAS		
	Repeticiones			Repeticiones			Repeticiones		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	78	74	67	82	85	96	117	100	102
5	77	74	66	81	84	86	116	98	101
10	62	59	57	71	74	75	107	94	97
15	15*	14*	15*	51	45	55	90	83	80
20				17*	17*	16*	20*	58	20*
25								23*	

* Profundidad alcanzada (cm)

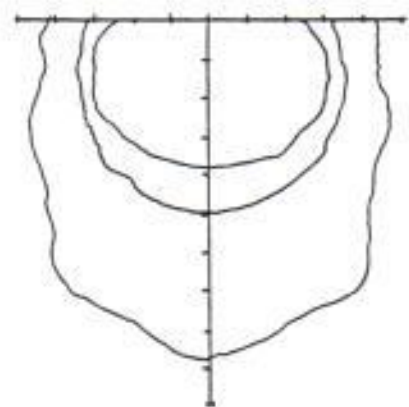
CUADRO 8. Diámetro de los bulbos humedecidos leídos en el Campo para textura franca (descarga del gotero 4 LPH).

PROFUNDIDAD (cm)	3 HORAS			6 HORAS			12 HORAS		
	Repeticiones			Repeticiones			Repeticiones		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	54	55	60	93	88	80	91	94	102
5	55	56	58	90	87	80	92	93	102
10	49	52	54	86	85	80	92	91	102
15	45	47	48	80	81	75	88	87	98
20	38	40	34	75	66	68	83	81	94
25	12	21	25*	57	50	54	78	71	86
30	27*	28*		30*	30*	31	73	51	72
35						33*	65	37	62
40							46	40*	30
45							24		41*
50							47*		
55									
60									

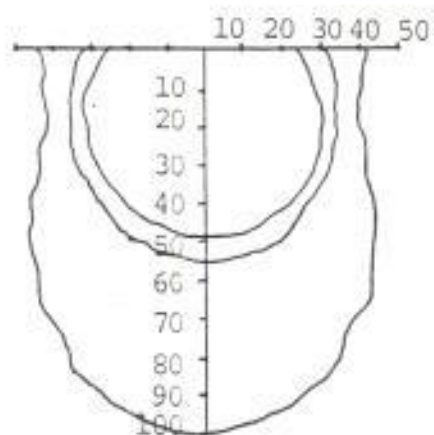
* Profundidad alcanzada (cm)



Repetición 1

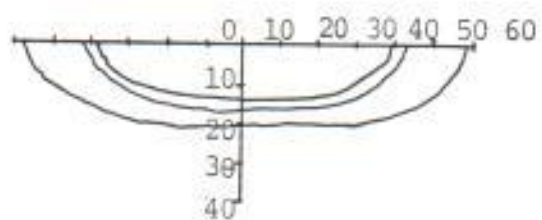


Repetición 2

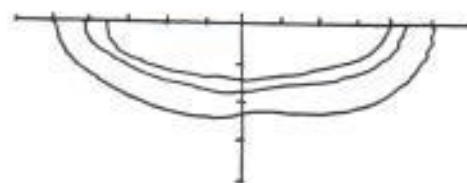


Repetición 3

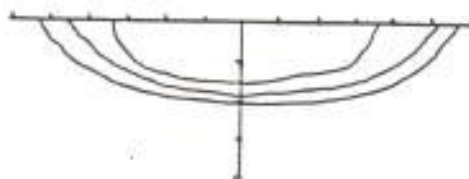
Fig. 8.- Comportamiento bidimensional de los bulbos humedecidos en textura arena franca.



Repetición 1

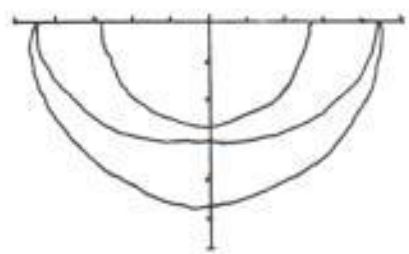


Repetición 2

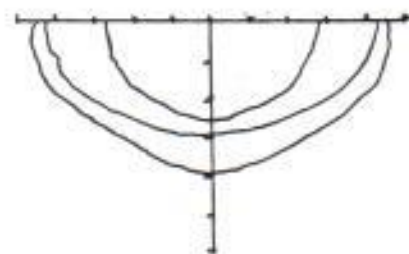


Repetición 3

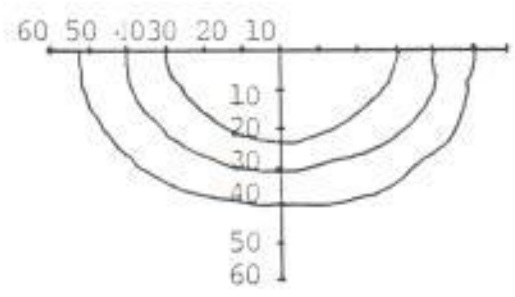
Fig. 9. Comportamiento bidimensional de los bulbos humedecidos en la textura franca-arcillosa.



Repetición 1



Repetición 2



Repetición 3

Fig. 19. Comportamiento bidimensional de los bulbos humedecidos en textura franca.

CUADRO 9. Diámetro superficial leído en el campo y el diámetro corregido por humedad para suelo de textura arena-franca.

Vol. Aplicado \ Diámetro	D'C (cm)	DC (cm)
12 Lts.	46.67	41.48
24 Lts.	63.33	56.28
48 Lts.	85.00	75.54

D'C = Diámetro leído

DC = Diámetro corregido

CUADRO 10. Diámetro superficial leído en el campo y el diámetro corregido por humedad para suelo de textura franca-arcilloso.

Vol. Aplicado \ Diámetro	D'C (cm)	DC (cm)
12 Lts.	73.00	152.52
24 Lts.	87.67	183.17
48 Lts.	106.33	222.16

D'C = Diámetro leído

DC = Diámetro corregido.

CUADRO 11. Diámetro superficial leído en el campo y el Diámetro corregido por humedad para suelo de textura franca.

Vol. Aplicado \ Diámetro	D'C (cm)	DC (cm)
12 Lts.	56.33	70.33
24 Lts.	87.00	108.62
48 Lts.	95.67	119.44

D'C = Diámetro leído

DC = Diámetro corregido

CUADRO 12. Diámetro interno máximo leído en el campo a una profundidad de 20 cms y el corregido por humedad para suelo de textura arena-franca.

Vol. Aplicado \ Diámetro	D'C (cm)	DC (cm)
12 Lts	60.67	53.92
24 Lts	68.67	61.03
48 Lts	88.33	78.50

D'C = Diámetro leído

DC = Diámetro corregido

CUADRO 13. Diámetro interno máximo leído en el campo a una profundidad de 5.0 cms y el corregido por humedad para suelo de textura franca-arcillosa

Vol. Aplicado	Diámetro	
	D'C (cm)	DC (cm)
12 Lts.	72.33	151.12
24 Lts.	83.67	174.81
48 Lts.	105.00	219.38

D'C = Diámetro leído

DC = Diámetro corregido

CUADRO 14. Diámetro interno máximo leído en el campo a una profundidad de 5.0 cms. y el corregido por humedad para suelo de textura franca.

Vol Aplicado	Diámetro	
	D'C (cm)	DC (cm)
12 Lts.	56.33	70.33
24 Lts.	85.67	106.96
48 Lts.	95.67	119.44

D'C = Diámetro leído

DC = Diámetro corregido.

V. ANALISIS DE RESULTADOS

1. Evaluación estadística de los resultados.

Del análisis de varianza se puede concluir que los tratamientos en estudio, formados por las combinaciones de los factores textura y volumen aplicados (tiempo de aplicación x caudal) ejercen influencia altamente significativa al 1% de probabilidad sobre el crecimiento del diámetro interno del bulbo humedecido.

El volumen de agua aplicado tiene influencia altamente significativa en el crecimiento del diámetro de los bulbos humedecidos lo que coincide con Armoni (1).

Al analizar la textura puede observarse que sus efectos son altamente significativos al 1%, por lo tanto este factor tiene influencia en el crecimiento de los diámetros de los bulbos humedecidos, coincidiendo este resultado con los estudios mostrados por Hardie (10).

Al analizar la interacción de los dos factores en estudio (volumen de aplicación y textura) se observa que en ambos tienen influencia altamente significativa en el crecimiento del diámetro del bulbo humedecido y estos a su vez no pueden actuar independientemente uno del otro (Cuadro 18).

2. Relación entre el volumen de agua aplicado y la textura en el crecimiento del diámetro interno humedecido.

Con el objeto de determinar la relación existente entre el volumen de agua aplicado y la textura, en el crecimiento de los diámetros internos humedecidos corregidos, se plotearon, los valores promedios de las tres repeticiones correspondientes a cada tiempo de aplicación y textura para lo cual se representa en el Gráfico # 11.

Es necesario aclarar que solamente se tomaron tres tiempos de aplicación (3, 6 y 12 horas) debido a la limitante que presentaban las dimensiones dadas a las cajas, ya que para mayores tiempos de aplicación, el crecimiento lateral del bulbo se hubiera visto restringido.

Se observa en el gráfico que la tendencia de las curvas en las tres texturas es del tipo exponencial, cuyas ecuaciones calculadas a través del método de los mínimos cuadrados fueron las siguientes:

$$\text{Textura Arenosa-franca : } DC = 26.9 (V)^{0.27}$$

$$\text{Textura Franca-Arcillosa: } DC = 76.4 (V)^{0.27}$$

$$\text{Textura Franca : } DC = 29.3 (V)^{0.38}$$

Donde:

DC = Diámetro corregido en cms.

V = Volumen de agua aplicada en litros

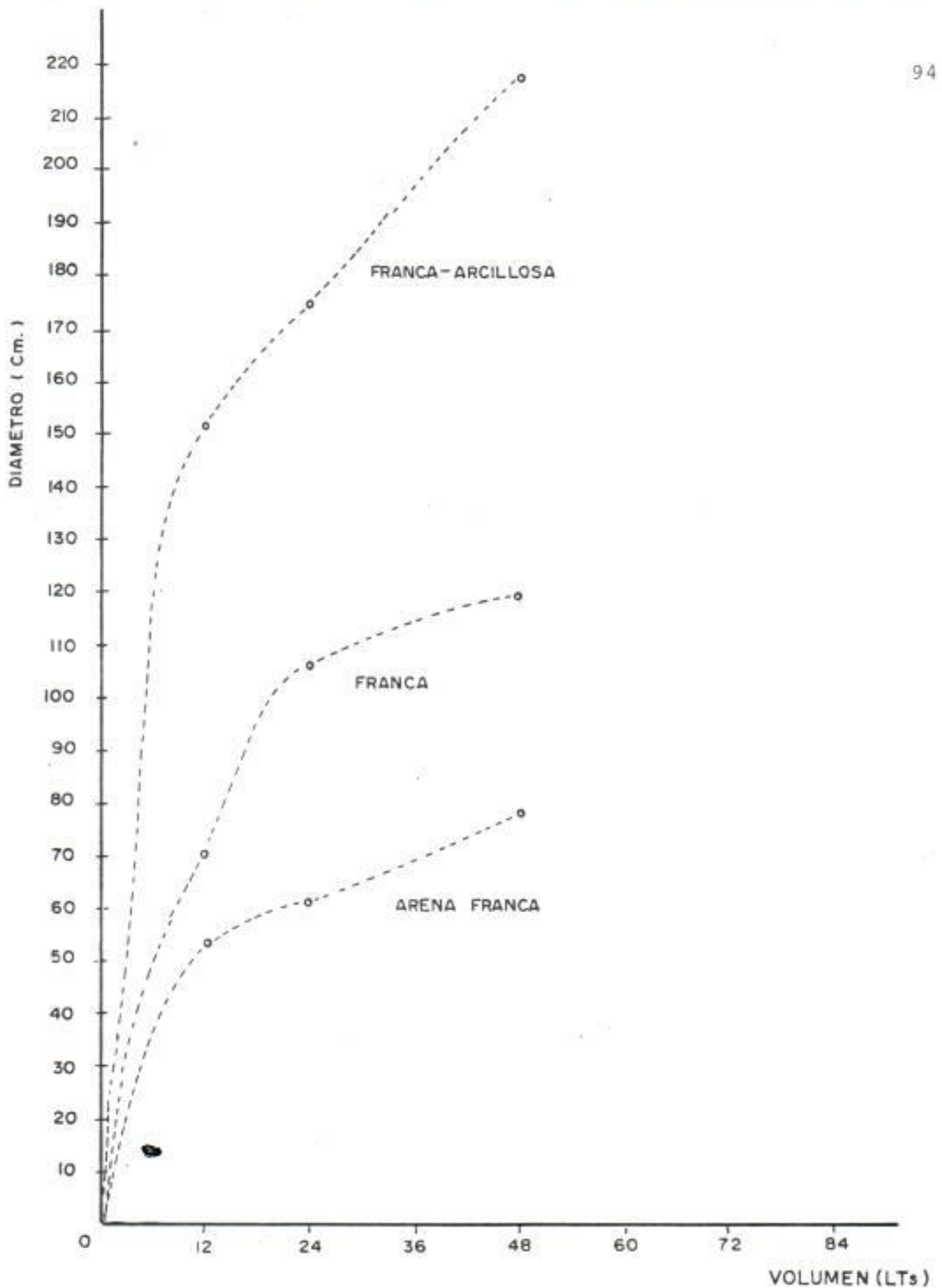


Fig. 11. Comportamiento y relación que existe entre el diámetro interno corregido y el volumen de agua aplicado.

- Para el suelo de textura arena-franca, se observa que durante los primeros 12 lts. de agua aplicada, se dá un incremento acelerado del diámetro del bulbo humedecido, obteniéndose un valor de 54 cms, posteriormente existe una disminución de los incrementos en el crecimiento del diámetro a medida que se aplican mayores volúmenes de agua, así se tiene que entre los 12 y 48 lts de agua aplicada el diámetro se incrementó en 25 csm.

- En el suelo de textura franco-arcillosa, se observa que durante los primeros 12 lts de agua aplicada, el incremento en el diámetro es acelerado alcanzando un valor de 151 cm. Posteriormente se observa que al aumentar el volúmen de agua aplicada el incremento en el crecimiento del diámetro es menor, así se tiene que en el intervalo de 12 y 48 lts de agua aplicada, el crecimiento del diámetro es de 68 cms.

- En la textura franca se observa un incremento acelerado en el diámetro del bulbo, hasta los 24 lts de agua aplicada, después se observa que los incrementos de crecimiento en el diámetro tienden a disminuir así se tiene que en el intervalo de 24 a 48 lts se dá un incremento de 12 cms.

- Al realizar una comparación de las tendencias de las curvas de crecimiento en las diferentes texturas se tiene que para los mismos volúmenes de agua aplicados, el crecimiento de los diámetros en la textura franca-arenosa, resultó ser menor que en la textura franca y ésta a su vez menor que en la franca-arcillosa, este fenómeno concuerda con lo mencionado en el manual de microirrigación (10).

VI. APLICACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Las ecuaciones matemáticas obtenidas, representan el comportamiento del diámetro del bulbo humedecido. Mediante el uso de las ecuaciones se generan elementos de diseño para sistemas de riego por goteo en laterales simples, tales elementos son: número de goteros por planta y porcentaje de área humedecida, que se presentan en los Cuadros 15, 16 y 17.

Para el cálculo del porcentaje de área humedecida (P_w), es necesario determinar :

- a. Área total correspondiente a una planta.

Para conocer el área total correspondiente a una planta se utilizó la siguiente fórmula :

$$A_t = S_p \times S_o$$

Donde : A_t = Área total correspondiente a una planta (m^2)

Sp = Distancia que existe entre plantas (m)

So = Distancia que existe entre hileras (m)

b. Determinación del diámetro del bulbo humedecido.

Se determina el diámetro interno del bulbo humedecido conociendo el volumen de agua aplicado. Para tal propósito se utilizan las ecuaciones siguientes :

Suelo Arena-Franca : DC = 26.9 (V)^{0.27}

Suelo Franco-Arcilloso : DC = 76.4 (V)^{0.27}

Suelo Franco : DC = 29.3 (V)^{0.38}

Donde :

DC = Diámetro del bulbo humedecido (cm)

V = Volumen de agua aplicado (lt)

c. Número de goteros por planta.

El cálculo del número de goteros por planta se hace por tanteos, hasta encontrar un Pw entre el 33% - 50%.

d. Determinación del porcentaje de área humedecida (Pw)

Para conocer dicho porcentaje se utiliza la fórmula siguiente :

$$P_w = \frac{N_p \times (D_c)^2}{AT} \times 78.5$$

Donde :

N_p = Número de goteros por planta.

Cuadro 15. Porcentaje de área humedecida y número de goteros por planta, para un lateral simple, caudal de 4 LPH, textura arena-franca y a diferentes tiempos de aplicación.

ELEMENTOS DE DISEÑO		TIEMPOS DE APLICACION									
		6 HORAS		8 HORAS		11 HORAS		18 HORAS		22 HORAS	
		Np	Pw %	Np	Pw %	Np	Pw %	Np	Pw %	Np	Pw %
DISTANC. Sp x SO (m)	AREA TOTAL DE UNA --- PLANTA	7	35	6	35	5	35	4	37	4	41
2.5 x 2.5	6.25	9	36	8	37	6	33	5	36	5	40
2 x 4	8.00	5	35	4	33	4	39	3	38	3	43
3 x 1.5	4.50	10	35	9	37	7	34	6	38	5	35
3 x 3	9.00							10	36	9	34
4 x 4	16.00										
6 x 6	36.00										
7 x 7	49.00										
8 x 8	64.00										
9 x 9	81.00										
10 x 10	100.00										

Cuadro 16. Porcentaje de área humedecida y número de goteros por planta, para un lateral simple, caudal de 4 LPH, textura franca-arcillosa y diferentes tiempos de aplicación.

ELEMENTOS DE DISEÑO		TIEMPOS DE APLICACION											
		6 HORAS		8 HORAS		11 HORAS		18 HORAS		22 HORAS			
		Np	Pw %	Np	Pw %	Np	Pw %	Np	Pw %	Np	Pw %		
DISTANC. Sp x So (m)	AREA TOTAL DE UNA -- PLANTA												
2.5 x 2.5	6.25	1	41	1	48	1	57	1	74	1	82		
2 x 4	8.00	2	63	1	37	1	44	1	58	1	64		
3 x 1.5	4.50	1	57	1	66	1	79	-	-	-	-		
3 x 3	9.00	2	57	1	33	1	39	1	51	1	57		
4 x 4	16.00	3	48	2	37	2	44	2	58	1	32		
6 x 6	36.00	5	35	4	33	4	39	3	38	3	43		
7 x 7	49.00	7	36	6	36	5	36	4	38	4	42		
8 x 8	64.00	10	40	8	37	7	39	5	36	5	40		
9 x 9	81.00			10	37	9	39	7	40	6	38		
10 x 10	100.00					10	35	8	37	7	36		

ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE CUADROS 15, 16 y 17

- Como puede observarse en el cuadro 15, correspondiente a un suelo arenoso-franco, los mejores resultados se obtienen a distanciamientos relativamente cortos entre plantas y utilizando un tiempo de operación alto (22 horas), pero cuando existen espaciamientos altos entre plantas no se logra una respuesta satisfactoria pues se aplica un volumen alto de agua y no se cubre el área respectiva, además la mayor parte del agua tiende a perderse por percolación profunda, esto implica un uso deficiente de los recursos con los que se cuenta ya que se incurre en gastos elevados por lo tanto se puede afirmar que en los cultivos que se deseen regar y se encuentren en suelos de esta textura la recomendación es utilizar un distanciamiento adecuado (corto) y un tiempo de operación alto, para lograr una respuesta satisfactoria de los recursos empleados.

- En el cuadro 16, correspondiente a la textura franca-arcillosa puede observarse que en espaciamientos relativamente cortos (2.5x2.5 a 3x1.5) se necesitan pocas horas de operación del sistema, ya que con un gotero funcionando 6 horas, se logra cubrir el porcentaje de área radicular respectivo con lo que hacemos una óptima aplicación del agua, por otra parte, puede observarse que a medida se aumentan

los espaciamientos, se tiene que aumentar el tiempo de aplicación o de operación del sistema, para poder cubrir el % de área total respectivo, así se observa que para -- un espaciamiento alto entre plantas (10 x 10) las horas de operación del sistema son 22, con esto logramos cubrir el % de área radicular correspondiente a este distanciamiento.

También puede notarse que en espaciamientos intermedios (3x3 a 6x6) el tiempo de aplicación en el que mejor resultado se obtiene es en el de 18 horas, ya que se cubre mayor área con pocos goteros.

- En el cuadro 17, correspondiente a la textura franca puede observarse que a medida se aumenta el distanciamiento entre planta tiene que aumentarse los tiempos de aplicación del agua, así tenemos que en cultivos con un distanciamiento relativamente corto (2.5x2.5 a 3 x1.5) el mejor tiempo de aplicación resulta en 18 horas, con esta aplicación de agua, se cubre el % de área radicular respectivo y además se utiliza un solo gotero.

Con espaciamientos entre plantas altos, puede notarse que se tiene que ocupar un número alto de goteros así como un tiempo de aplicación alto (22 horas), por lo que hay que tener un buen criterio agronómico para utilizar estos distanciamientos y poder decidir la mejor forma de aplicar

el agua, para cubrir el área radicular respectiva.

- Para espaciamientos de siembras de cultivos que no aparecen en las tablas 15, 16 y 17, se recomienda determinar los parámetros de diseño (N_p y P_w), utilizando las fórmulas propuestas anteriormente para dicho cálculo.

- Para suelos que presenten propiedades físicas intermedias a los suelos estudiados, se recomienda calcular las ecuaciones de crecimiento del diámetro del bulbo humedecido, aproximando a la textura más representativa que presenta dicho suelo.

VII. CONCLUSIONES

1. Se determinó que existe relación entre el crecimiento del diámetro del bulbo humedecido y el incremento del volúmen aplicado, en los tres tipos de suelos bajo estudio. Esta relación es representada por una ecuación del tipo exponencial: donde se tiene que el incremento del diámetro es mayor en los primeros incrementos de volúmenes de aplicación, pero que a medida se aumenten estos volúmenes el incremento del diámetro va siendo menor, con la tendencia a ser constante.
2. La Textura influye de manera marcada en las dimensiones del bulbo humedecido, tanto horizontal como vertical. En arena-franca el bulbo tiende a desplazarse más en sentido vertical que horizontal; sucediendo lo contrario en suelo de textura franca-arcillosa y el suelo franco se comporta de una forma intermedia entre las texturas antes mencionadas para un mismo volúmen de agua aplicada.
3. El crecimiento en los diámetros de los bulbos humedecidos se ve influenciando por el contenido de humedad en el suelo al momento de realizar la prueba; si el contenido de humedad es elevado los diámetros leídos son me

- nores que si estos suelos tuvieran un contenido de humedad menor.
4. El diámetro interno máximo del bulbo húmedo se alcanza a diferentes profundidades, dependiendo de los tipos de textura evaluadas: de modo que en los suelos de textura arenoso-franco, el mayor diámetro se alcanza a los 20 cm de profundidad y en las texturas franco-arcillosa y franca se alcanza a los 5 cm profundidad.
 5. Existen algunos cultivos de espaciamientos mayores de 1.8 m que para alcanzar un porcentaje de área humedecida entre 33 y 50% del área que ocupa el sistema radicular, es necesario aplicar mayor volúmen de agua que los requeridos por cultivo.

VIII. RECOMENDACIONES

1. En vista de que el contenido de humedad del suelo al momento de realizar las pruebas afecta el crecimiento de los bulbos humedecidos, es necesario llevar a cabo una corrección de los diámetros en función del contenido de humedad, para tal propósito se recomienda utilizar la ecuación del Philip (7).
2. Para el diseño preliminar de sistemas de riego por goteo en laterales simples y rectos se recomienda utilizar los cuadros 15, 16 y 17. Tales cuadros muestran: espaciamiento de siembra, área total del sistema radicular, porcentaje de área humedecida y número de goteros por planta. Y para el diseño definitivo se recomienda utilizar la metodología propuesta por Hernández Abreu (11), la cual representa el método más simple y seguro de estimar la forma y dimensiones del volumen de suelo mojado desde un emisor.
3. Para futuras investigaciones del comportamiento del bulbo humedecido, el dimensionamiento de las cajas para cada unidad experimental deberá estar acorde con el tipo de textura de que se trate, puesto que para evaluar el comportamiento del bulbo en un suelo de textu

- ra franca-arcillosa se debe dar mayor margen al crecimiento lateral que al vertical, lo contrario se debe considerar al evaluar un suelo de textura arenosa, esto permitirá evaluar mayores tiempos de aplicación que los realizados en el presente trabajo.
4. Para el cálculo del porcentaje de área humedecida se recomienda realizar investigaciones de campo, con fines de determinar el área sombreada por los cultivos cuando el sol incide de forma perpendicular sobre ellos, ya que con estos valores se hará una representación más real del porcentaje de área humedecida.
 5. Realizar estudios acerca de la influencia del porcentaje de área humedecida sobre el rendimiento de los cultivos.
 6. Dado que el área actual bajo riego en El Salvador, es del 13% del potencial regable existente, es necesario que las políticas gubernamentales presten mayor atención al desarrollo de la agricultura bajo riego; haciendo mayor énfasis en el riego por goteo, puesto que es el método que hace una mejor utilización de los recursos.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- ARMONI, S. 1984. El riego por goteo; conceptos y características. CINADCO. Israel., S.N.
p. 3-88
- 2.- BUCAREST. COMISION EUROPEA DE AGRICULTURA. 1972.
Riego por goteo; Estudio sobre riego y abonamiento. 14 Ed. Roma, FAO. 159 p.
- 3.- FRITZ, J. 1984. Los sistemas de riego por goteo y su aplicación en la fertilización. Basf Reportes Agrícolas. (Alemania) 1 (84): 3-10.
- 4.- FUSADES. 1988. Importancia y desarrollo del riego en el país. El Diario de Hoy, San Salvador (El Salv.); Jun./19, 26: 12, 9.
- 5.- GARCIA DEL CID, E.M.; JOVEL DELGADO, A.G.; JOSHA GRANI, K.M. RIVAS PACHECO, G. 1986. Utilización de los bulbos de humedecimiento en el diseño de un sistema de riego por goteo. Tesis Ing.Agr. San Salvador, Universidad Politécnica de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. 105 p.

- 6.- GAVANDE, S.A. 1972. Física de suelos; principios y aplicaciones. México, Limusa. p. 199-203.
- 7.- GONZALEZ, N.O. 1988. Los métodos de riego. La Prensa Gráfica, San Salvador (El Salv.); Oct./18: A-10.
8. GONZALEZ OLMEDO, R. 1984. El riego por goteo. San Salvador, El Salvador, D.G.R.N.R. p. 1.1-6.2.
9. GUEVARA MORAN, J.A. 1967. Las características físicas del suelo y su relación con el riego. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. p. 45-49.
10. HARDIE, J. s.f. Micro irrigation design manual. S. L., S.N. p. 2.3-2.10.
11. HERNANDEZ ABREU, J.M. 1979. Algunas consideraciones sobre el volumen de suelo mojado y su importancia en el diseño y eficiencia de sistemas de riego localizado. Brasil, S.N. p. 296-308.
12. JOBLING, G.A. 1974. Trickie irrigation desing manual part 1. 6 ed. New Zeland, Misalonusus publication. p. 25-29.
13. KELLER, J. S.F. Manual de diseño de sistemas de riego por aspersion y goteo. UTHA, (EE.UU.), State University Logan. p. irr.

14. MARROQUIN AREVALO, H.A. 1984. Primer diagnóstico del Campo Experimental y de Prácticas. San -- Salvador, El Salvador, Facultad de Ciencias -- Agronómicas. p. 1-60.
15. MENDOZA, A.E. 1989. Desarrollo actual del riego en El Salvador. San Salvador, Ministerio de Agri-- cultura y Ganadería. Correspondencia personal.
16. PALACIOS VELEZ, E. S.F. Cuánto, cuándo y cómo re-- gar. Memorandum técnico No. 195. D.F. (Méx) - Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. p. 6-9.
17. SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE RIEGO POR GOTEO. (3., 1979, BRASIL). 1979. Uso de los bulbos de humedecimiento para estimar los parámetros preli-- minares de diseño de riego por goteo. Ed. por D. años Reverol. Campiñas, Bra., S.N. p. 443-475.

A P E N D I C E

CUADRO 18: Análisis de varianza (ANVA) en arreglo factorial, para los datos de diámetro interno corregido para las diferentes texturas.

F. de V.	G. L.	S C	C M	F C	F. TABLAS	
					5%	1%
Tratamiento	8	77521.34	9690.1675	127.38**	2.51	3.71
Volúmen Aplicado (A)	2	10042.89	5021.445	16.01**	3.55	6.01
Textura (B)	2	65504.67	32752.335	430.533**	3,55	6.01
Int. (A) x (B)	4	1973.78	493.445	6.486**	2.53	4.58
Error E.	18	1369.33	76.074			
<hr/>						
T O T A L	26	78890.67				

** Altamente significativo.

CUADRO 19: Distancia de plantación en árboles frutales.

ESPECIE	MAXIMA (m)	MINIMA (m)	ESPECIE	MAXIMA (m)	MINIMA (m)
AGUACATE	12 x 12	6 x 6	* Manzano	10 x 10	8 x 8
ALMENDRO	9 x 9	6 x 6	Membrillo	6 x 6	1 x 4
AVELIANO	9 x 9	7 x 7	Naranja	8 x 8	6 x 6
CEREZO	9 x 9	6 x 6	Níspero	7 x 7	6 x 6
CIRUELO	8 x 8	6 x 6	Nogal	18 x 18	9 x 9
CHABACANO	8 x 8	6 x 6	Nopal Tunero	4.5 x 4.5	4 x 4
CHICOZAPOTE	12 x 12	10 x 10	Olivo	12 x 12	8 x 8
DURAZNO	8 x 8	6 x 6	Palma de Coco	8 x 8	7 x 7
FRAMBUEZA	3 x 1.5	3 x 1	Palma Datilera	8 x 12	5 x 8
GRANADO	6 x 6	3 x 3	Papayo	4 x 3	2.5 x 2.5
GUANABANA	7 x 7	6 x 6	Persimonio(Kaki)	7 x 7	4 x 4
GUAYABO	8 x 8	6 x 6	Peral	8 x 8	6 x 6
HIGUERA	10 x 10	8 x 8	Pistacho	10 x 10	10 x 10
JOJOBA	3 x 1.5	3 x 1.5	Plátano	4 x 4	2 x 4
LIMA	8 x 8	6 x 6	Toronja	8 x 8	6 x 6
LIMON	8 x 8	6 x 6	Tamarindo	15 x 15	10 x 10
MANDARINA	12 x 12	10 x 10	Vid	4 x 2	3 x 1.5
MANGO	12 x 12	10 x 10	Zarzamora	3 x 2.5	3 x 1.5

* El Manzano indica que la separación mínima es de 8.0m x 6.0, pero existen Manzanos injertados sobre patrones enanos que se plantan a distancias de 3.0 m x 3.0 m.

G L O S A R I O

- 1.- BULBO HUMEDO: Es el volumen de suelo humedecido con apariencia bulbiforme que se forma debajo de un emisor o gotero.
- 2.- CAPACIDAD DE CAMPO: Es una medida del agua retenida por el suelo frente a la influencia de la gravedad, u porcentaje de humedad correspondiente a una tensión de 0.3 atm.
- 3.- DIAMETRO INTERNO DEL BULBO HUMEDO: Es el ancho del bulbo humedo a la profundidad donde alcanza su mayor dimensionamiento.
- 4.- GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE: Es la relación entre la masa (secada al horno) de las partículas de suelo y el volumen total incluyendo el espacio poroso que ocupan, entre el peso específico del agua.
- 5.- GRAVEDAD ESPECIFICA REAL: Es igual a la masa total de los solidos dividida por el volumen total de ellos, en relación al peso específico del agua.
- 6.- HUMEDAD GRAVIMETRICA: Es la masa de agua contenida por unidad de masa de solidos del suelo expresada en porcentaje.

- 7.- HUMEDAD VOLUMETRICA: Porcentaje de contenido de humedad que resulta del producto entre la humedad gravimétrica y la gravedad específica aparente.
- 8.- PENETRACION: Es la resistencia que opone el suelo a ser penetrado por un objeto con una fuerza determinada.
- 9.- POROS CAPILARES: Es el espacio aéreo existente entre partículas de suelo con un diámetro promedio menor de 0.1 mm. En estos el agua es retenida con mayor fuerza.
- 10.- POROS NO CAPILARES: Espacio aéreo existente entre partículas de suelo con un diámetro promedio mayor de 0.1 mm. En estos el agua drena libremente por efecto de la gravedad.
- 11.- POROSIDAD: Es la relación existente entre el volúmen de los poros llenos de aire con el volúmen total de la muestra de suelo, expresado en porcentaje.
- 12.- POTENCIAL HIDRICO: Este es el trabajo mínimo adicional que el agua en algún punto del sistema suelo-planta, puede hacer en exceso del trabajo que puede realizar el agua pura y libre en este lugar.

- 13.- POTENCIAL MATRICO: Es la porción del potencial de agua que puede atribuirse a la atracción del agua por el suelo o por la "matríz" de la planta.
- 14.- POTENCIAL OSMOTICO: Es la presión negativa, medida, a la que hay que someter una masa de agua pura para que esté en equilibrio a través de una membrana semipermeable (es decir, al agua solamente) con una cantidad de agua con composición idéntica a la del agua del suelo.
- 15.- PUNTO PERMANENTE DE MARCHITEZ: Porcentaje de agua del suelo cuando las plantas se marchitan permanentemente o porcentaje de humedad correspondiente a 15 atm de tensión.
- 16.- SUCCION TOTAL DEL SUELO: Es la suma de las succiones matriciales o del agua en el suelo y, además, la succión osmótica. Es, así, "La presión negativa medida, en comparación con la presión de gas externa sobre el agua en el suelo, que debe someterse una más de agua pura que exista un equilibrio a través de una membrana semipermeable con el agua del suelo.

17.- TEXTURA: Es la relación con el tamaño de las partículas minerales, específicamente se refiere a la porción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo.