

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

EVALUACION DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERION NO  
CONVENCIONALES EN PEPINO (Cucumis sativus) EN SAN LUIS  
TALPA, LA PAZ

POR :

HUGO ADIEL BONILLA LARA  
OSCAR ALFONSO MURILLO VILLANUEVA


REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO

SAN SALVADOR, OCTUBRE DE 1992


JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

  
ING.AGR. SABAS ALBERTO ARGUETA PALACIOS

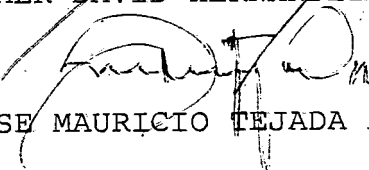
ASESOR:

  
ING.AGR. ALIRIO EDMUNDO MENDOZA

JURADO EXAMINADOR:

  
ING.AGR. ALEXANDRO VALMORE PEREZ ESCOBAR

  
ING.AGR. ELMER DAVID HERNANDEZ HENRIQUEZ

  
ING.AGR. JOSE MAURICIO TEJADA ASENCIO

## RESUMEN

En El Salvador muchas de las áreas con posibilidades de riego no son irrigadas ya que este recurso es utilizado únicamente por los grandes agricultores debido a su alto costo. Esta situación deja bien claro que la búsqueda de alternativas viables que permitan un mayor uso del riego, se convierte en una necesidad inminente si se quiere incrementar el área cultivada y consecuentemente la productividad. El presente trabajo consiste en la formulación de alternativas tecnológicas por medio de las cuales el riego está al alcance del pequeño agricultor, a través de métodos de riego mucho más baratos que los convencionales, constituidos por componentes artesanales, fabricados de materiales descartables.

El ensayo correspondiente se realizó en la Estación Experimental de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en zona costera; en la fecha comprendida entre los meses de febrero a abril; se utilizó el cultivo de pepino (Cucumis sativus) como indicador. Se evaluaron tres métodos, entre ellos dos de goteo y uno de microaspersión. Entre los de goteo se evalúan casquillos de bala calibre 22 (Método Rocío) y aplicadores descartables de suero, como emisores (Método Regulador). En el caso del método de microaspersión el emisor utilizado es un dispositivo giratorio en forma de mariposa (Método Mariposa), elaborado ma-

manualmente con P.V.C. y tubos de plumones,

El cultivo no se tutoró y se dispuso en tres parcelas de 300 m<sup>2</sup>, una para cada método de riego. Dentro de cada parcela se distribuyeron al azar cinco sub parcelas para efectos de muestreo y toma de datos. Los parámetros evaluados por medio de análisis estadístico fueron: Longitud de guía al inicio de la floración, longitud de frutos, número de frutos totales y número de frutos de primera, segunda y tercera clase, la información obtenida de estos parámetros se sometió al análisis estadístico; utilizando el diseño de bloques al azar con cinco repeticiones.

Se determinaron la mayor parte de características hidráulicas de cada método. La lámina de reposición se determinó utilizando un 15% y 30% de agotamiento permisible para los métodos de goteo y microaspersión respectivamente.

Los rendimientos presentados por el cultivo fueron 1016.8 qq/ha, 1269.38 qq/ha, 1008.4 qq/ha para el método regulador, rocío y mariposa respectivamente. En función de esto y al menor costo presentado se puede decir que el método rocío resultó mejor; pero con base a las características hidráulicas, resultó mejor el método regulador.

En conclusión el riego no convencional viene a ser una alternativa de riego relativamente barata con la cual el pequeño agricultor que posee parcelas aptas para riego puede aumentar la productividad de la misma, haciendo uso de cual-

✓

quiera de los métodos propuestos, especialmente el método -  
regulador y rocío.

## AGRADECIMIENTOS

- Agradecemos de manera especial por el trabajo realizado, a Dios Padre Eterno y a las personas e instituciones que lo hicieron posible.
- A cada uno de nuestros padres, que hicieron posible nuestra superación intelectual, con su sacrificio y dedicación incomparable en cada momento que fué necesario.
- A la Universidad de El Salvador y Facultad de Ciencias Agronómicas, por su valiosa colaboración a nuestra formación profesional; particularmente a nuestro asesor, Ing. Agr. Alirio Edmundo Mendoza, por su interés y excelente cooperación en el desarrollo del presente trabajo, de igual manera al jurado examinador y Jefe del Departamento.
- A los compañeros y amigos que de una u otra manera colaboraron para que nuestra meta fuera una realidad.
- A doña Marinita Rodríguez, por su colaboración en el mecanografiado del presente trabajo.

Muchas; pero muchas gracias a todos.

## DEDICATORIA

- A DIOS TODOPODEROSO:

Por haberme dado la vida y permitirme terminar con éxito mi carrera.

- A MI MADRE : Celia Bonilla

Por su sacrificio, amor, dedicación y consejos que me fortalecieron en todo momento para continuar a pesar de las adversidades en todos mis años de estudio, sin los cuales este triunfo no lo hubiera podido alcanzar.

- A MI PADRE : Buenaventura Lara

Por su comprensión, consejos y apoyo, sin los cuales no hubiera sido posible llegar al final de esta meta.

- A MIS HERMANOS : Ricardo, Martha Lillian, Vilma Gloria, Ana Telma, Sonia Cristabel.

Con amor y respeto por su valioso apoyo brindado durante toda mi carrera.

- A MIS SOBRINOS : Kimberli, Mario Gerber, Edgar Manuel.

Con mucho cariño.

- A MI NOVIA : Sandra Lorena Martínez

Con mucho amor y cariño.

- A TODOS MIS COMPAÑEROS :

Por los momentos inolvidables compartidos y que de una u otra manera hicieron posible mi éxito, especialmente a aquellos estudiantes de Agronomía que murieron luchando por mejores condiciones de vida para el pueblo salvadoreño.

Hugo Adiel Bonilla Lara

## DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico al único y sabio Dios, que supo guiar mis pasos y que además de darme la vida, me ha permitido alcanzar la meta más grande... mi carrera; también lo dedico de manera muy especial a la persona que lo ha sido todo para mí.

- A mi madrecita  
Sra. Juana Antonia Murillo  
Por su enorme sacrificio, abnegación, dedicación, amor y sus sabios consejos que fueron un apoyo, en los momentos más difíciles como estudiante; sin los cuales mi formación profesional, no hubiera sido posible.
- Al Sr. Juan Antonio Villeda  
Por su sacrificio, dedicación e interés que siempre mostró por mi superación.
- A todos mis hermanos :  
Manuela de Jesús Murillo V.  
Rafael Antonio Murillo V.  
María Julia Murillo V.  
Gladis Isabel Murillo V.  
Sofía del Carmen Murillo V.  
Anastasio Alberto Murillo V.  
Por el apoyo que de una u otra manera me ofrecieron.
- A todos mis sobrinos  
Con todo cariño y aprecio.
- A todos mis maestros, amigos y compañeros :  
Por haber compartido todos esos días de estudiante, donde su apoyo hizo posible que culminara mi carrera; tam-



bién con todo respeto a los que ofrendaron su vida por -  
conquistar un El Salvador más justo.

Oscar Alfonso Murillo Villanueva  
va

# I N D I C E

	Página
RESUMEN .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
INDICE DE CUADROS .....	xxiii
INDICE DE FIGURAS .....	xxvi
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA .....	3
2.1. El riego .....	3
2.1.1. Historia del riego .....	3
2.1.2. Agua de riego .....	4
2.1.3. Sistemas de riego .....	4
2.2. Importancia del riego en la agricultura salvadoreña .....	5
2.3. Métodos de riego y su clasificación .....	6
2.3.1. Generalidades .....	6
2.3.2. Métodos de riego por superficie .....	6
2.3.2.1. Definición .....	6
2.3.2.2. Descripción .....	7
2.3.2.3. Adaptabilidad .....	7
2.3.2.3.1. Topografía .....	7
2.3.2.3.2. Suelos .....	7
2.3.2.3.3. Cultivos .....	7
2.3.2.3.4. Agua .....	8
2.3.2.3.5. Recursos económicos .....	8

	Página
2.3.2.4. Formas de humedecimiento .....	8
2.3.2.5. Eficiencia de riego .....	8
2.3.2.6. Clasificación de los métodos de riego por gravedad .....	9
2.3.2.6.1. Riego por surcos .	9
2.3.2.6.2. Riego por melgas .	11
2.3.3. Riego por aspersión .....	12
2.3.3.1. Definición .....	12
2.3.3.2. Descripción .....	12
2.3.3.3. Adaptabilidad .....	13
2.3.3.3.1. Suelo .....	13
2.3.3.3.2. Cultivo .....	13
2.3.3.3.3. Topografía .....	14
2.3.3.3.4. Caudal .....	14
2.3.3.3.5. Viento .....	14
2.3.3.4. Formas de humedecimiento .....	14
2.3.3.5. Pluviometría .....	15
2.3.3.6. Uniformidad de distribución - (DU) .....	17
2.3.3.7. Coeficiente de uniformidad -- (CU) .....	17
2.3.3.8. Eficiencia de riego .....	18
2.3.3.9. Requerimientos de presión ...	18
2.3.4. Riego por goteo .....	19
2.3.4.1. Definición .....	19

	Página
2.3.4.2. Descripción .....	19
2.3.4.3. Adaptabilidad .....	20
2.3.4.3.1. Suelos .....	20
2.3.4.3.2. Topografía .....	21
2.3.4.3.3. Cultivo .....	21
2.3.4.3.4. Caudal .....	21
2.3.4.4. Formas de humedecimiento .....	21
2.3.4.5. Uniformidad de emisión (EU) ..	23
2.3.4.6. Eficiencia de riego .....	23
2.3.4.7. Requerimientos de presión .....	24
2.3.5. Microaspersión .....	24
2.3.5.1. Definición .....	24
2.3.5.2. Descripción .....	25
2.3.5.3. Adaptabilidad .....	25
2.3.5.3.1. Topografía .....	25
2.3.5.3.2. Tipo de suelo .....	26
2.3.5.3.3. Cultivo .....	26
2.3.5.3.4. Caudal .....	26
2.3.5.3.5. Condiciones económi cas .....	26
2.3.5.4. Forma de humedecimiento .....	27
2.3.5.5. Uniformidad de distribución ..	28
2.3.5.6. Eficiencia de riego .....	28
2.3.5.7. Requerimiento de presión .....	28

	Página
2.3.6. Métodos de riego no convencionales ....	30
2.4. Conceptos básicos de planeamiento de sistemas de riego .....	33
2.4.1. Generalidades .....	33
2.4.2. Programación de riego .....	33
2.4.2.1. Factores topográficos .....	34
2.4.2.2. Factores edáficos .....	34
2.4.2.2.1. Textura .....	34
2.4.2.2.2. Estructura .....	35
2.4.2.2.3. Densidad .....	35
2.4.2.2.4. Velocidad de infil- tración .....	35
2.4.2.2.5. Capacidad de reten- ción .....	36
2.4.2.2.6. Capacidad de campo.	36
2.4.2.2.7. Punto permanente de marchitez .....	37
2.4.2.3. Factores climáticos .....	37
2.4.2.3.1. Temperatura .....	37
2.4.2.3.2. Humedad relativa ..	37
2.4.2.3.3. Radiación .....	37
2.4.2.3.4. Luz solar .....	38
2.4.2.3.5. Viento .....	38
2.4.2.3.6. Evapotranspiración.	38

	Página
2.4.2.3.7. Evapotranspiración potencial .....	39
2.4.2.3.8. Evapotranspiración real .....	39
2.4.2.4. Recursos hídricos .....	39
2.4.2.5. Requerimientos de agua del cul <u>tivo</u> .....	40
2.4.2.5.1. Coeficiente de cul <u>tivo</u> .....	40
2.4.2.5.2. Uso consuntivo ...	40
2.4.2.5.3. Ciclo fenológico .	41
2.4.2.5.4. Profundidad radicu <u>lar</u> .....	41
2.4.2.5.5. Lámina máxima de - riego .....	42
2.4.2.5.6. Lámina de reposi <u>ción</u> .....	42
2.4.2.5.7. Lámina bruta .....	43
2.4.2.5.8. Intervalo de riego..	43
2.4.2.5.9. Período de riego ...	43
2.4.2.6. Otra información .....	44
3. MATERIALES Y METODOS .....	45
3.1. Descripción del área .....	45
3.1.1. Ubicación .....	45
3.1.2. Características del clima .....	45

	Página
3.1.2.1. Clasificación climática .....	45
3.1.2.2. Temperatura .....	45
3.1.2.3. Humedad relativa .....	46
3.1.2.4. Viento .....	46
3.1.2.5. Luz solar .....	46
3.1.2.6. Evapotranspiración potencial .	46
3.1.3. Suelos .....	47
3.1.3.1. Clasificación .....	47
3.1.3.2. Textura .....	47
3.1.3.3. Estructura .....	47
3.1.3.4. Drenaje .....	47
3.1.4. Recursos hídricos .....	49
3.1.5. Topografía .....	49
3.1.5.1. Plano de distribución .....	49
3.1.6. Cultivo .....	49
3.1.6.1. Descripción botánica del pepi- no .....	50
3.1.6.2. Fenología .....	50
3.1.6.3. Requerimientos de agua .....	51
3.2. Descripción de los métodos de riego empleados.	51
3.2.1. Método regulador .....	51
3.2.1.1. Componentes .....	55
3.2.1.2. Características del método de riego .....	55

	Página
3.2.1.2.1. Dispositivos de -- aplicación .....	55
3.2.1.2.2. Principio de fun- cionamiento .....	55
3.2.1.2.3. Características de humedecimiento y - distribución del - agua .....	56
3.2.1.2.4. Disposición en el campo .....	56
3.2.1.2.5. Materiales para su construcción .....	56
3.2.2. Método rocío .....	57
3.2.2.1. Componentes .....	58
3.2.2.2. Características del método de riego .....	58
3.2.2.2.1. Dispositivos de -- aplicación .....	58
3.2.2.2.2. Principio de funcio- namiento .....	59
3.2.2.2.3. Características de humedecimiento y distribución del agua.	59
3.2.2.2.4. Disposición en el - campo .....	59



	Página
3.2.2.2.5. Materiales para su construcción .....	60
3.2.3. Método mariposa .....	60
3.2.3.1. Componentes .....	62
3.2.3.2. Características del método de riego .....	62
3.2.3.2.1. Dispositivos de -- aplicación .....	62
3.2.3.2.2. Principio de funcionamiento .....	65
3.2.3.2.3. Características de humedecimiento y -- distribución del -- agua .....	68
3.2.3.2.4. Disposición en el campo .....	69
3.2.3.2.5. Materiales para su construcción .....	69
3.2.3.2.6. Costos de riego ..	72
3.3. Establecimiento del cultivo .....	74
3.3.1. Preparación del suelo .....	74
3.3.2. Siembra .....	74
3.3.3. Raleo .....	74
3.3.4. Colocación del Mulch .....	74

	Página
3.3.5. Control de malezas .....	74
3.3.6. Control de plagas y enfermedades .....	75
3.3.7. Fertilización .....	76
3.3.8. Cosecha .....	76
3.4. Variable en estudio y metodología de determi nación .....	76
3.4.1. Propiedades del suelo .....	76
3.4.1.1. Densidad aparente .....	77
3.4.1.2. Capacidad de campo .....	77
3.4.1.3. Punto de marchitez permanente	78
3.4.2. Métodos de riego .....	78
3.4.2.1. Lámina de riego .....	78
3.4.2.2. Caudales de aplicación .....	79
3.4.2.3. Presión de operación .....	79
3.4.2.4. Eficiencia de aplicación .....	80
3.4.2.5. Uniformidad de emisión .....	81
3.4.2.6. Tiempo de aplicación .....	81
3.4.2.7. Diámetro de humedecimiento ..	82
3.4.2.8. Pluviometría .....	83
3.4.2.9. Coeficiente de uniformidad ..	83
3.4.3. Cultivo .....	85
3.4.3.1. Evapotranspiración .....	85
3.4.3.2. Fecha de floración .....	85
3.4.3.3. Tamaño de la guña al inicio - de la floración .....	88

	Página
3.4.3.4. Presencia de malezas .....	88
3.4.3.5. Longitud de fruto .....	88
3.4.3.6. Producción .....	88
3.4.3.7. Costos de producción .....	89
3.4.3.8. Valor de la producción .....	89
3.4.4. Metodología estadística .....	90
3.4.4.1. Diseño estadístico .....	90
3.4.4.2. Modelo estadístico .....	91
3.4.4.3. Distribución estadística .....	91
3.4.4.4. Factor en estudio .....	93
3.4.4.5. Tamaño de las parcelas .....	93
3.4.4.6. Parámetros evaluados .....	93
4. RESULTADOS .....	94
4.1. Generalidades .....	94
4.1.1. Información básica .....	94
4.1.2. Características independientes .....	94
4.1.3. Variables respuesta .....	95
4.2. Información básica .....	95
4.2.1. Características de suelo .....	95
4.2.2. Características agroclimáticas .....	96
4.3. Características independieentes .....	97
4.3.1. Evaluación hidráulica .....	97
4.3.2. Evaluación agronómica .....	100
4.3.3. Evaluación económica .....	100

	Página
4.4. Variables respuestas .....	102
4.4.1. Evaluación agronómica .....	102
5. DISCUSION DE RESULTADOS .....	105
5.1. Información básica .....	105
5.2. Características independientes .....	105
5.2.1. Análisis de las características hidráu- licas para los tres métodos de riego .	106
5.2.1.1. Caudal de aplicación del emi- sor .....	106
5.2.1.2. Caudal de entrada al múltiple y descarga total .....	108
5.2.1.3. Presión de operación .....	110
5.2.1.4. Presión mínima .....	110
5.2.1.5. Presión máxima .....	112
5.2.1.6. Pérdidas promedio de presión en laterales .....	113
5.2.1.7. Uniformidad de emisión .....	114
5.2.1.8. Pluviometría .....	115
5.2.1.9. Coeficiente de uniformidad ..	116
5.2.1.10. Diámetro superficial del bul- bo de humedecimiento .....	116
5.2.1.11. Ancho faja humedecida .....	116
5.2.1.12. Alcance del diámetro de moja- do .....	117
5.2.1.13. Eficiencia de riego .....	117

	Página
5.2.1.14. Tiempos de aplicación .....	118
5.2.2. Análisis de los resultados agronómicos .....	120
5.2.2.1. Días a floración .....	120
5.2.2.2. Incidencia de malezas .....	120
5.2.3. Evaluación económica .....	120
5.2.3.1. Costos de irrigación .....	121
5.2.3.2. Costos de producción .....	122
5.2.3.3. Valor de la producción .....	122
5.3. Variables respuesta .....	122
5.3.1. Tamaño promedio guías .....	122
5.3.2. Número de pepinos .....	124
5.3.3. Longitud de pepinos .....	125
5.3.4. Número de pepinos de primera, segunda y tercera clase .....	125
6. CONCLUSIONES .....	126
7. RECOMENDACIONES .....	129
8. BIBLIOGRAFIA .....	133
9. ANEXOS .....	139

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Resumen de los elementos climáticos para la Estación La Providencia para un período de once años (1976-1987) .....	48
2	Distribución estadística del error experimental .....	91
3	Características físicas de suelo obtenidas para tres profundidades y el promedio de éstas .....	96
4	Características agroclimáticas de la zona de ubicación del ensayo para el cultivo de pepino .....	97
5	Características hidráulicas presentadas por los métodos de riego regulador, rocío y mariposa en pruebas realizadas en la Estación Experimental en la fecha comprendida entre el 21 de febrero al 23 de abril de 1992 ...	99
6	Días a floración e incidencia de malezas - presentadas en los tres métodos de riego - evaluados .....	100
7	Costos de irrigación para parcela tipo -- (1 ha); costos de producción y valor de la producción por área útil y por hectárea ..	101

Cuadro		Página
8	Variables respuesta de la evaluación agronómica en cada método de riego empleados, por parcela útil y por hectárea .....	103
9	Tiempos de aplicación recomendados para diferentes cultivos en tres tipos de suelo para cada método de riego evaluado .....	132
A-1	Determinación de la densidad aparente .....	140
A-2	Cálculo de la humedad a capacidad de campo (cc) a tres estratos: 0-15; de 15-30 y de 30-45 cm .....	141
A-3	Cálculo de la humedad a punto de marchitez permanente (P.m.p.) a tres estratos de 0-15; de 15-30 y de 30-45 cm .....	142
A-4	Datos de aforo en el campo para goteros en el método regulador (l/h) .....	143
A-5	Datos de aforo en el campo para goteros en el método rocío (l/h) .....	146
A-6	Diámetro en la superficie del suelo del -- bulbo de humedecimiento (cm) .....	148
A-7	Descarga de emisores medido para efecto de determinar patrón de humedecimiento (l/h) ..	149
A-8	Valores de coeficiente de cultivo (Kc) para varios cultivos en sus diferentes estadios de desarrollo .....	150

Cuadro		Página
A- 9	Presupuesto de los costos de producción para 300 m <sup>2</sup> .....	151
A-10	Valores de presión y pérdidas producidas, a lo largo de los laterales sin considerar la topografía del terreno (m.c.a.) .....	152
A-11	Descarga promedio de emisores, descarga promedio del lateral para los métodos de riego empleados (l/h) .....	153
A-12	Costos de irrigación para parcela tipo (1 hectárea) .....	154
A-13	Resumen de las variables de cultivo por repetición y por tratamiento obtenidos para el pepino en la Estación Experimental en el período comprendido del 21 de febrero al 23 de abril de 1992, ordenados para el análisis estadístico .....	159
A-14	ANVA para longitud promedio de guías .....	160
A-15	ANVA para número total de frutos .....	160
A-16	ANVA para longitud promedio de frutos .....	161
A-17	ANVA para número de frutos de primera clase.	161
A-18	ANVA para número de frutos de segunda clase.	161
A-19	ANVA para número de frutos de tercera clase.	162



## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Patrón de humedecimiento de riego por superficie para diferentes condiciones .....	10
2	Formas de humedecimiento en el perfil del suelo de acuerdo a condiciones de viento y presión dadas .....	16
3a	Bulbo de humedecimiento en riego por goteo.	22
3b	Distribución de las distintas zonas que se forman en el bulbo de humedecimiento .....	22
4	Formas de humedecimiento en el perfil del suelo para diferentes condiciones .....	29
5	Aplicador descartable de suero insertado en la tubería lateral .....	53
6	Plano de distribución en el campo de los componentes del sistema, para el método regulador y rocío .....	54
7	Casquillos de bala calibre 22 .....	61
8	Inserción en la tubería lateral de los casquillos de bala calibre 22 y su funcionamiento .....	61
9	Corte longitudinal de la mariposa .....	63

Figura		Página
10.	Plano de distribución en el campo de los componentes del sistema para el método Mariposa.	64
11.	Componentes de la Mariposa .....	66-67
12.	Alcance del diámetro de mojado de la Mariposa .....	70
13.	Desplazamiento de microaspersores en método Mariposa .....	71
14.	Perfil promedio de distribución de agua del microaspersor .....	84
15.	Kc medio en la fase inicial, en función del nivel medio de la ETo (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego para el cultivo de pepino .....	86
16.	Cálculo de Kc para el cultivo de pepino sembrado el 21 de febrero en San Luis Talpa ....	87
17.	Parcela útil, parcela de muestreo; su dimensionamiento y distribución de tratamientos en el campo .....	92
18.	Presión de operación, presión mínima, presión máxima y pérdidas promedio de presión en laterales para los tres métodos de riego empleados .....	111

Figura		Página
19	Cantidad de frutos producidos de la. 2a, y - 3a. clase para cada método de riego .....	123
A-1	Plano de distribución en el campo de los - tres métodos de riego .....	155
A-2	Parcela tipo para los métodos Regulador y Rocío .....	156
A-3	Parcela tipo para el método Mariposa .....	157
A-4	Distribución del pluviómetro en el campo y cantidades recolectadas en ml/20 min .....	158

## I. INTRODUCCION

El incremento poblacional en El Salvador, exige a la agricultura un aumento en la producción para cubrir la creciente demanda alimenticia. Esta situación sumada a la limitada extensión territorial, provoca una gran presión sobre todos -- los recursos naturales existentes, y si a esto se agrega que hay recursos subutilizados, la situación es aún más complicada; por lo que se hace necesaria la búsqueda de mecanismos -- que permitan hacer un mejor uso de los recursos naturales, -- principalmente la tierra y el agua.

Gran parte de las tierras cultivables del país, son utilizadas únicamente en la estación lluviosa, permaneciendo ociosas durante toda la época seca, esto es debido esencialmente, a la falta de acceso al riego por parte del pequeño y mediano agricultor, ya que el costo de un sistema de riego convencional, resulta ser muy elevado para sus bajas condiciones económicas. Desde este punto de vista es necesario que se busquen alternativas a través de las cuales se pueda aplicar el agua a los cultivos eficientemente y que resulte económica.

El presente trabajo ofrece nuevas alternativas de riego por goteo y microaspersión de tipo no convencional que están al alcance del pequeño y mediano agricultor; en los cuales se usa como goteros, vainillas de bala calibre 22 y aplicadores descartables de suero; y como microaspersores tubos de plumones y piezas de PVC.

El manejo de estos métodos puede hacerlo cualquier agricultor, ya que no se requiere de grandes conocimientos técnicos para tal efecto. Esto aunado a lo anterior hace posible que este tipo de irrigación se perfile como una de las alternativas más viables, sencillas y baratas de aumentar la producción por el uso intensivo de la tierra.

Para el uso de los métodos de riego evaluados se dan recomendaciones prácticas que permitan su implementación adecuada y un mejor aprovechamiento de los recursos involucrados, por parte del agricultor que lo adopte. Estas recomendaciones -- emanan de los resultados obtenidos, concluyendo que los métodos de riego artesanal son una nueva forma de aplicación de agua a los cultivos y que vale la pena utilizar.

## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. El riego

El riego es una práctica que ha sido empleada por las civilizaciones para el incremento de la producción. Unos autores lo definen como la aplicación controlada de agua a las tierras arables para suplir las necesidades de los cultivos que no fueron satisfechas por la lluvia (26).

Para Israelsen (25), el riego es la aplicación artificial de agua al suelo con el propósito de suplir la humedad esencial para el crecimiento de las plantas.

#### 2.1.1. Historia del riego

El origen de la irrigación data desde los tiempos más antiguos, ya que muchos imperios (chinos, egipcios) lo usaban a gran escala, puesto que conocían los beneficios que con él se podía obtener (31, 41).

En general, el suministro de agua a los cultivos es una práctica que el hombre ha desarrollado desde tiempos antiguos, desde los tradicionales métodos por inundación de los egipcios hasta los modernos sistemas de riego presurizado que usan los Estados Unidos e Israel (24).

### 2.1.2. Agua para riego

Según Ollier (31), la mayoría de las aguas dulces pueden usarse para riego, las cuales por su origen pueden ser aguas superficiales (corrientes de aguas, ríos, lagos, etc.) y aguas subterráneas (pozos corrientes, artesianos, manantiales, etc.).

### 2.1.3. Sistemas de riego

Sistemas de riego. Es el conjunto de estructuras necesarias para captar, conducir y distribuir las aguas a los suelos aplicando una lámina que supla las deficiencias de humedad exigidas por las plantas durante su ciclo vegetativo. Comprende también las obras que ayudan a mejorar el drenaje superficial e interno de los suelos; así como las vías internas que permiten el transporte de los productos hacia los mercados consumidores (23).

Pueden clasificarse según :

- I. La forma de captación del agua : por almacenamiento, por derivación, por bombeo del subsuelo.
- II. La conducción: por gravedad, por bombeo, mixtos.

Cuando el agua es conducida por gravedad, comúnmente se utiliza para riego por superficie (surcos, melgas).

Si la conducción es por bombeo, la distribución del agua

se hace a través de tuberías, usado comúnmente en aspersión y goteo.

La conducción de tipo mixto es la combinación de los dos anteriores (23).

## 2.2. Importancia del riego en la agricultura salvadoreña

Según Guevara Morán, citado por Hidalgo (24), el desarrollo económico y social de un país como El Salvador, depende principalmente de las posibilidades de alcanzar producciones agropecuarias adecuadas y satisfacer de esa manera las diversas necesidades de su numerosa población.

En el país, el desarrollo agrícola reviste características singulares, ya que la agricultura está enmarcada prácticamente a la estación lluviosa; y en la estación seca la mayor parte de tierras dedicadas a cultivos anuales permanecen sin cultivar, lo cual significa una disminución en la productividad agrícola y de fuentes de trabajo.

Ante esta situación, la Dirección General de Riego y Drenaje (12), considera que el riego constituye una de las pocas y mejores alternativas de solución a dicho problema; sin embargo considera que es necesario hacer un uso racional y planificado de este recurso, para lo cual debe existir un mayor conocimiento de la técnica por parte de los agricultores (24, 31, 41).



## 2.3. Métodos de riego y su clasificación

### 2.3.1. Generalidades

El uso eficiente del agua está en función del suelo y de pende, sobre todo, del regador y método de riego empleado, así como de otros factores naturales y económicos (17, 42).

Para la selección del método de riego más adecuado, se deben realizar estudios detallados de la zona, tales como: estudios topográficos, edáficos, climáticos, económicos, sociales y de cultivo.

Los resultados de estos estudios y la relación entre sí, definen los siguientes métodos de aplicación de agua: superfi cial, aspersion, goteo y microaspersion (24, 26).

### 2.3.2. Métodos de riego por superficie

#### 2.3.2.1. Definición

Este método es el más antiguo, y consiste en derivar el agua desde la fuente y conducirla a través de un sistema de tu bería o canales abiertos, hasta el terreno a regar; todo el mo vimiento del agua se hace por gravedad desde los puntos más al tos hasta los más bajos, tratando de mojar el 100% del área - cultivada; puede hacerse por surcos y por inundación (5, 26).

#### 2.3.2.2. Descripción

Este método consiste básicamente de una fuente de agua, una toma, sistema de conducción (canales o tuberías) y surcos o melgas.

Son características de esta forma de riego :

- Que el agua debe ingresar por el punto más alto del terreno.
- El caudal que ingresa a cada unidad de riego se divide en dos: parte se infiltra en el terreno y el resto avanza en dirección de la pendiente dominante (19).

#### 2.3.2.3. Adaptabilidad

##### 2.3.2.3.1. Topografía

Requiere de suelos planos, con pendientes que van de 2-6% (19, 24, 39), aunque para Israelsen (25), la pendiente mínima en que debe implementarse es de 3%.

##### 2.3.2.3.2. Suelos

Se adapta a casi todo tipo de suelo, exceptuando aquellos con alto contenido de arena (19, 24).

##### 2.3.2.3.3. Cultivos

Se adapta a casi todo tipo de cultivo, hortalizas, cítri-

cos, granos básicos, pastos, frutales (19, 24).

#### 2.3.2.3.4. Agua

Es adaptable cuando se dispone de agua en abundancia y - hay poco peligro de inundación (19).

#### 2.3.2.3.5. Recursos económicos

Para su implementación se requiere de bajas inversiones iniciales, y además no necesita mano de obra calificada (19, 24).

#### 2.3.2.4. Formas de humedecimiento

El humedecimiento del suelo en riego por superficie está en función de la velocidad de infiltración y del tiempo que el agua permanece sobre el suelo a lo largo del surco o melga (tiempo de oportunidad); el agua permanece más tiempo en la cabeza de éstos que en la parte aguas abajo de los mismos; lo cual hace que el tiempo de oportunidad y el volumen de agua sean mayor en este punto; como consecuencia se presentan en este sector, mayores pérdidas por percolación que van disminuyendo gradualmente hasta hacerse cero donde la cantidad de agua aplicada es óptima (14).

Generalmente el agua que llega al punto final es insuficiente para satisfacer la zona radicular (14) (Fig. 1).

#### 2.3.2.5. Eficiencia de riego

Según Domínguez (8), el riego superficial presenta efi-

ciencia de 40% como máximo; sin embargo, Juárez (26) afirma que en El Salvador se han alcanzado eficiencias entre el 20 y 30%. Estas eficiencias tan bajas se debe en parte a que en todo el sistema ocurren pérdidas por escorrentía, percolación excesiva de agua a los campos de riego (8, 19). Además hay otros daños inherentes a este tipo de riego como son erosión del suelo, empantanamiento y salinidad por un control inapropiado del agua (6).

#### 2.3.2.6. Clasificación de los métodos de riego por gravedad

El riego por gravedad tiene diversas formas de aplicación del agua, entre ellas se mencionan: Riego por surcos, riego por melgas.

##### 2.3.2.6.1. Riego por surcos

Es aquel donde el agua es conducida por un canal o tubería por la parte más elevada del campo y luego se deriva hacia los surcos que corren en el sentido de la pendiente o a través de ella. El tamaño del caudal por cada surco debe ser lo suficientemente grande para llegar al final del riego, en el momento deseado y lo bastante pequeño como para no provocar erosión. Además los surcos deben ser tan largos que permitan un manejo económico y un riego uniforme (5, 9, 14).

El riego por surcos tiene mucha aplicación en El Salvador.

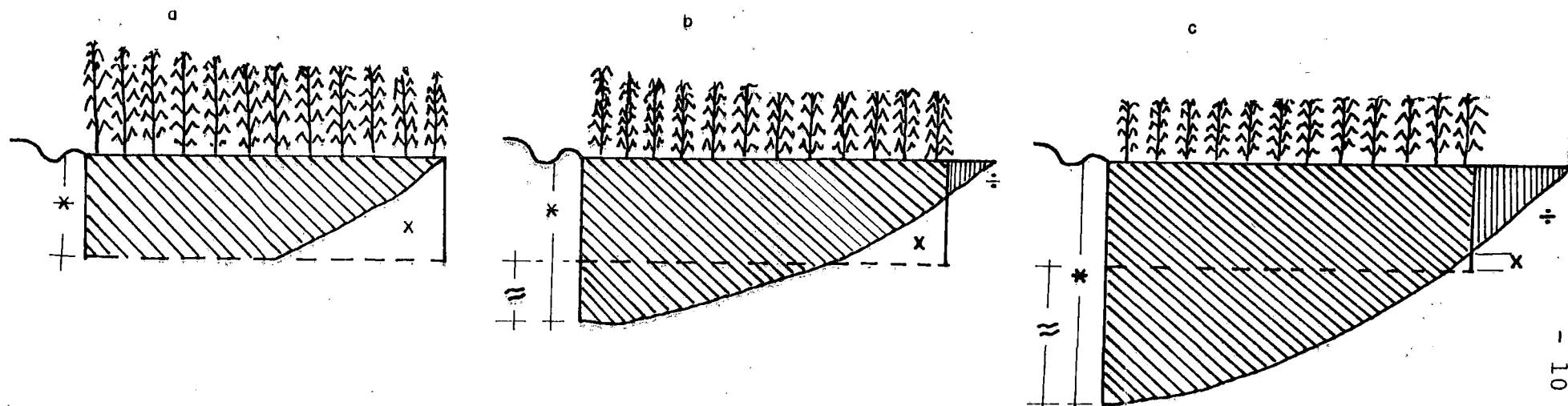


Fig. 1 - Patrón de humedecimiento de riego por superficie para diferentes condiciones .

- a - Aplicación teóricamente sin pérdidas por percolación y escurrimiento
- b - Aplicación ligeramente excesiva con pérdidas por percolación y escurrimiento
- c - Aplicación excesiva de agua, con grandes pérdidas por percolación y escurrimiento pero las que llenan las necesidades del cultivo a lo largo del surco

\* Espesor de agua aplicada durante el riego;  $\approx$  Pérdidas por percolación profunda; X Suelo no humedecido; † Pérdidas por escurrimiento; ---- Cantidad óptima de agua.

Se adapta a todos los cultivos que se siembran en líneas o hileras como las hortalizas, cítricos, maíz, maicillo, etc.; y a suelos cuya infiltración varía de 0.2 a 4 pulgadas/hora (8, 11, 39).

El espaciamiento entre surcos se adapta a los cultivos y a la maquinaria ocupada; la máxima separación entre surcos no debe exceder de la profundidad de la zona radicular del cultivo cuando este se encuentra en su madurez (7, 14, 39).

La longitud de los surcos depende de los factores : suelo, infiltración, pendiente y lámina de aplicación. El agua debe llegar al final del surco en la cuarta parte del tiempo de infiltración de la lámina de reposición, por lo que la longitud máxima se establece tomando en cuenta la distancia que el agua puede recorrer en ese tiempo (39).

También puede establecerse de acuerdo al caudal máximo permisible; en donde la longitud máxima será la distancia más grande alcanzada al aplicar dicha cantidad de agua (14).

Los caudales máximos que se aplican a los surcos no deben causar erosión; generalmente se determinan de acuerdo a la --

ecuación :  $Q = \frac{10}{P}$  Ecuación 1

Donde : Q = Caudal en G.P.M.

P = Pendiente en el surco en % (39).

#### 2.3.2.6.2. Riego por melgas

Esta forma de riego superficial en donde el agua es aplicada al terreno por medio de franjas de hasta 20 m de ancho,

separadas por bordas que corren en sentido de la pendiente dominante; y que se puede usar para todos aquellos cultivos densos, algunos cultivos en hileras y árboles en asocio con cultivos densos donde las condiciones de suelo y topografía lo permitan (11, 14, 42, 43).

Las dimensiones de las melgas varían dependiendo del caudal, del tiempo de riego, ancho de la maquinaria y sobre todo, del grado de emparejamiento y uniformidad de la pendiente del terreno (19, 43).

El caudal utilizado para el riego por melgas deberá ser determinado en función de la velocidad de infiltración del suelo, la pendiente, ancho, largo, riesgo de erosión y la elevación de las bordas (14).

González (19), considera que se requiere de un caudal mínimo de 20 lts/seg.

### 2.3.3. Riego por aspersión

#### 2.3.3.1. Definición

Es la aplicación del agua del suelo en forma de rociado, semejante a la precipitación natural. El rociado se consigue mediante el flujo de agua a presión, la cual puede proporcionarse por medio de bombeo o por diferencia de nivel (1, 27).

#### 2.3.3.2. Descripción

Un sistema de riego por aspersión, consiste básicamente -

en una fuente de agua, una unidad de bombeo, un sistema de tuberías de conducción y un sistema mediante el cual se asperja el agua (42).

Según Keller (27), un sistema de riego por aspersion - consta de aspersores y sus accesorios, laterales, líneas primarias, líneas subprimarias, planta de bombeo y otros accesorios requeridos para la aplicación eficiente del agua.

En este sistema de riego, el agua es conducida hasta los aspersores o boquillas giratorias a través de tuberías a presión; estos aspersores se encargan de aplicar el agua en la parcela, en forma de lluvia controlada, tanto en el tiempo - como en la intensidad (1, 5, 26).

#### 2.3.3.3. Adaptabilidad

##### 2.3.3.3.1. Suelo

Se adapta a casi todos los suelos regables, dado que los aspersores se encuentran disponibles en amplia gama de caudales de descarga, sin embargo, puede existir limitaciones de su aplicación en suelos pesados, cuya velocidad de infiltración básica sea menor que 0.15 pulg./hr (27, 37).

##### 2.3.3.3.2. Cultivo

Resulta adecuado para la mayoría de los cultivos; es ventajoso para plantas de raíces superficiales que necesitan aplicaciones ligeras (27, 43).



#### 2.3.3.3.3. Topografía

En la actualidad la flexibilidad de los equipos de aspersión y su control eficiente de aplicación, permiten su adaptación a la mayoría de las condiciones topográficas, sin necesidad de preparación de terrenos y sujeto sólo a la capacidad de uso de la tierra y a los aspectos económicos (27, 31).

#### 2.3.3.3.4. Caudal

En el riego por aspersión, a diferencia del riego por gravedad, puede utilizarse pequeños caudales eficientemente, dado que existe aspersores con un amplio rango de caudales de descarga (26, 37).

#### 2.3.3.3.5. Viento

El riego por aspersión es afectado por las condiciones de viento, los cuales pueden ser clasificados en cuatro categorías, con base a la velocidad de los mismos: Condiciones sin viento (velocidad de 0-1 m/seg); viento medio (1-2.5 m/seg); viento fuerte (2.5-4 m/seg); y viento muy fuerte (mayor de 4 m/seg); para esta última condición, la aspersión no es recomendable ya que la eficiencia puede ser extremadamente baja por una pobre uniformidad de aplicación y una excesiva pérdida por evaporación (27, 37).

#### 2.3.3.4. Formas de humedecimiento

En el riego por aspersión no se puede obtener un reparto

equitativo del agua sobre el terreno, pues el máximo de ésta se encuentra en general junto a los aspersores, por lo tanto estos deben disponerse sobre el terreno de tal forma que exista un traslape entre sus diámetros de mojado; el cual depende en forma general de las condiciones de viento y presiones de trabajo (27, 37).

Lo anterior provoca también modificación del humedecimiento en el perfil del suelo (patrón de humedecimiento). Vientos fuertes y presiones demasiado bajas o altas provocan una deformación del patrón de humedecimiento (27, 34, 37).

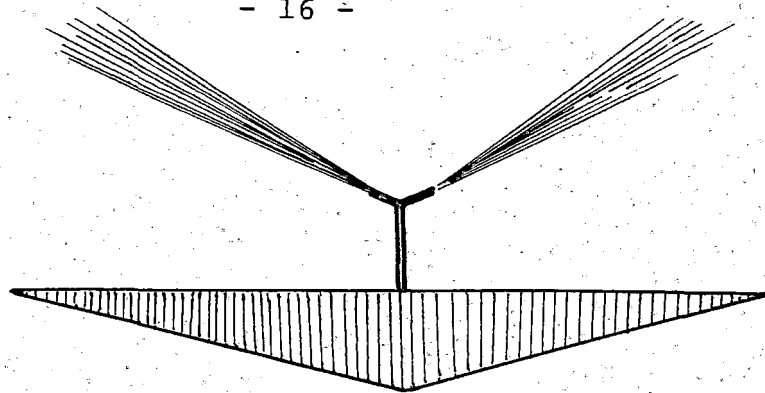
El humedecimiento que se produce en el perfil del suelo, en condiciones sin viento describe la forma de una pirámide invertida bajo el aspersor (Fig. 2a); pero en condiciones de viento éste es modificado (Fig. 2b).

Por otra parte, también las presiones afectan la forma de humedecimiento; presiones bajas o demasiado altas producen una deformación del patrón de humedecimiento (Fig. 2c, 2d, 2e). (27, 34, 37).

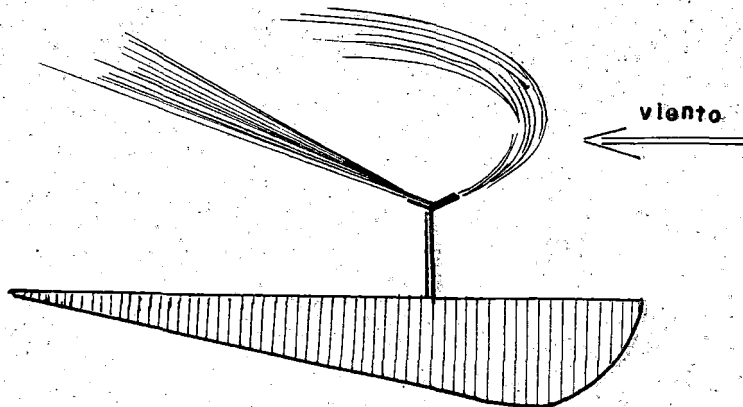
#### 2.3.3.5. Pluviometría

En el riego por aspersión, la pluviometría no exige otra condición que la de ser inferior a la permeabilidad del terreno (8).

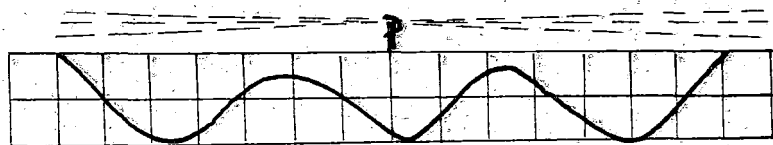
Saint (34), considera que si la pluviometría o intensidad de riego es mayor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo, se producirá encharcamientos.



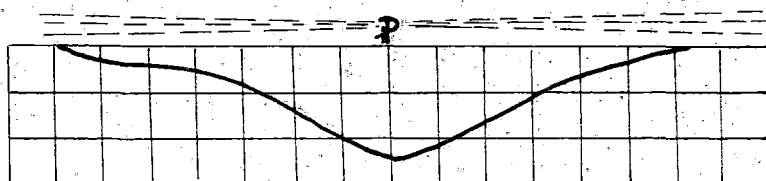
a) Condiciones sin viento



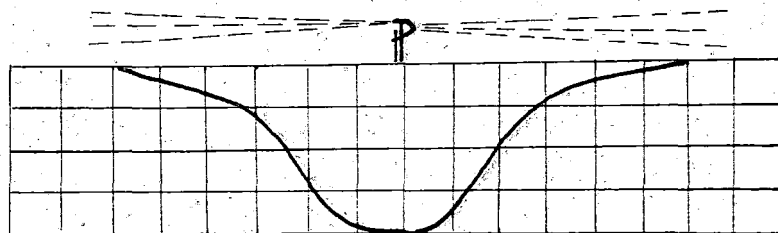
b) Condiciones con viento



c) Muy baja presión



d) Presión adecuada



e) Alta presión

Fig. 2 - Formas de humedecimiento en el perfil del suelo de acuerdo a condiciones de viento y presión dadas.

### 2.3.3.6. Uniformidad de distribución (DU)

Este parámetro, indica la uniformidad de aplicación de agua por parte de los aspersores en el campo. Está en función de la presión de servicio, de la separación de los aspersores y del caudal de aplicación; es necesario determinarla debido a que los aspersores no distribuyen uniformemente el agua sobre el terreno (8, 27, 34, 40).

### 2.3.3.7. Coefficiente de uniformidad (CU)

Para evaluar la uniformidad de distribución (DU), existen varios métodos, pero el más comúnmente usado es el coeficiente de uniformidad de Christiansen, el cual consiste en determinar la uniformidad de la lámina aplicada por un aspersor. La fórmula utilizada para su cálculo es :

$$CU : 100 \left( 1 - \frac{\sum |X_i - \bar{x}|}{\bar{x}n} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde : CU : Coeficiente de uniformidad (%)

$\sum$  : Sumatoria

$X_i$  : Lectura de la cantidad de agua de cada recipiente (cc)

$\bar{x}$  : Promedio de las lecturas de los recipientes (cc).

n : Número de recipientes

Para algunos autores el valor del coeficiente de uniformidad mínimo que debe presentar un aspersor es de 84%; sin em-

bargo para otros un valor de CU del 83% es generalmente bajo, aún para cultivos extensivos, y que para cultivos de mayor valor un CU del 88% es el recomendado (27, 34, 37).

#### 2.3.3.8. Eficiencia de riego (Ef)

El término más usado en la eficiencia de riego es la eficiencia de aplicación, que consiste en la relación entre la lámina promedio de agua almacenada en la zona de raíces y la lámina promedio aplicada; sólo da una idea de las pérdidas, ya que sólo muestra la fracción de agua almacenada dentro de la zona de raíces, que se encuentra a disposición de las plantas, para evaporación y transpiración (27).

Según Keller (27) la eficiencia de riego se relaciona con la uniformidad de aplicación y las pérdidas; por tanto, será baja ya sea porque la uniformidad es pobre o porque las pérdidas son grandes. También puede ser afectada por variación de la descarga de los aspersores en el lateral.

Los valores normales de eficiencia de riego en sistemas de aspersión oscilan entre 75% al 78% (27).

#### 2.3.3.9. Requerimientos de presión

El nivel de presión adecuado, es imprescindible para el correcto funcionamiento del equipo de aspersión. Por lo general, las presiones de trabajo de los aspersores oscilan en un rango muy amplio, dependiendo del tipo del aspersor; así se -

tienen valores de presión de 5 psi hasta 120 psi (27).

Las pérdidas totales de presión no deben exceder del 20% de la presión de operación de los aspersores en el lateral, con lo que se consigue que las variaciones de la descarga no excedan del 10% (19, 27).

#### 2.3.4. Riego por goteo

##### 2.3.4.1. Definición

El riego por goteo es un sistema de humedecimiento limitado y frecuente del suelo, en el cual se aplica el agua a una parte del volumen del suelo ocupado por el cultivo, mediante dispositivos llamados goteros, localizados a lo largo del lateral (2, 18).

##### 2.3.4.2. Descripción

Un sistema de riego por goteo requiere : de la estación de bombeo, cabezal de control, líneas principales y subprincipales, líneas laterales, goteros, válvulas, accesorios y otros elementos necesarios (27).

Los goteros o aplicadores de agua están diseñados para disipar presión y descargar un caudal pequeño y uniforme, suelen clasificarse de acuerdo a su mecanismo disipador de presión (27).

La cantidad de agua aplicada por emisor, en riego por goteo, se ajusta a la tasa de absorción de las plantas produciendo

do un humedecimiento localizado, lo cual acomoda el sistema radicular a un área específica (2, 9).

En riego por goteo el taponamiento de los goteros es el problema más serio que se presenta, el cual puede ser provocado por partículas minerales y orgánicas, químicas y biológicas; por lo tanto, el uso de filtros es indispensable para mantener el funcionamiento del sistema. También deben usarse goteros y caños negros para prevenir proliferación de algas, además, algunos productos químicos pueden usarse para disolver precipitados formados en el agua (27, 32).

Una de las características más importantes y ventajosa que se le atribuye al riego por goteo es su adaptabilidad a la aplicación de fertilizantes y otros productos químicos en combinación con el agua de riego, con el cual se logra incrementar la eficiencia, se ahorra mano de obra y energía (15, 27, 37, 38).

#### 2.3.4.3. Adaptabilidad

##### 2.3.4.3.1. Suelos

El goteo tiene una alta adaptabilidad a la mayoría de suelos; sin embargo su uso es más adecuado para los suelos de textura media y ligeramente estratificados. Por su parte Armoni (2), sostiene que con goteo se puede explotar suelos poco profundos, pedregosos, calcáreos y salinos.

#### 2.3.4.3.2. Topografía

El método se adapta convenientemente cuando se trata de regar terrenos con topografía accidentada los cuales no es posible regar con otros métodos (18).

#### 2.3.4.3.3. Cultivos

Se adapta a todos los cultivos excepto los de crecimiento denso, sin embargo por su alto costo es recomendable para cultivos de alta rentabilidad como frutales y hortalizas (18).

#### 2.3.4.3.4. Caudal

Por lo general, en riego por goteo no se necesita disponer de grandes caudales para efectuar el riego. Básicamente el tamaño necesario del caudal viene determinado por el número y tipo de goteros, tipo de suelo y agotamiento del agua disponible en el suelo (9). Según Armoni (2), la descarga por gotero, recomendable en cultivos de campo es de 2 lts/hora, y para frutales oscila entre 4 a 8 lts/hora.

#### 2.3.4.4. Formas de humedecimiento

El agua es aplicada gota a gota por los emisores alrededor de los cuales se forma una zona de suelo húmedo, denominado "bulbo" o "cebolla" por su forma característica (Fig. 3a). Dentro de dicho bulbo se forman tres zonas con distinto contenido de agua, aire y sales (Fig. 3b).



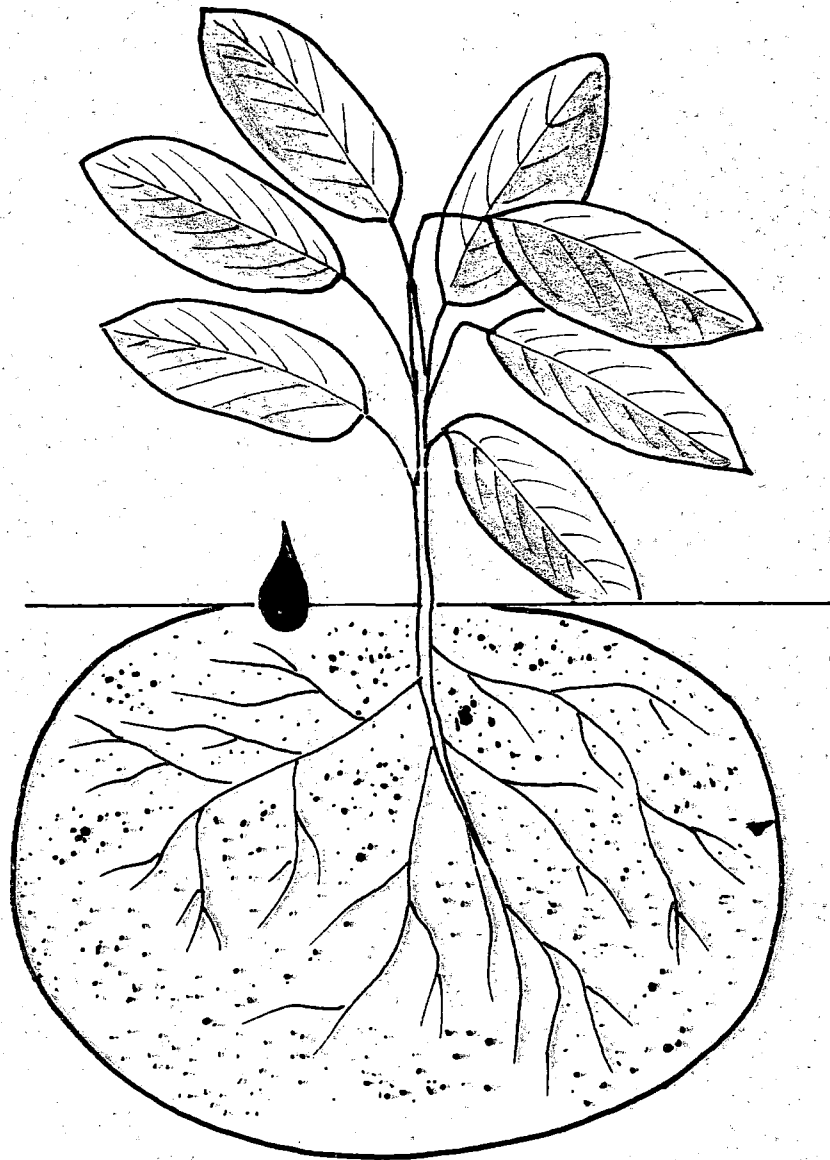


Fig. 3 a - Bulbo de humedecimiento en riego por goteo.

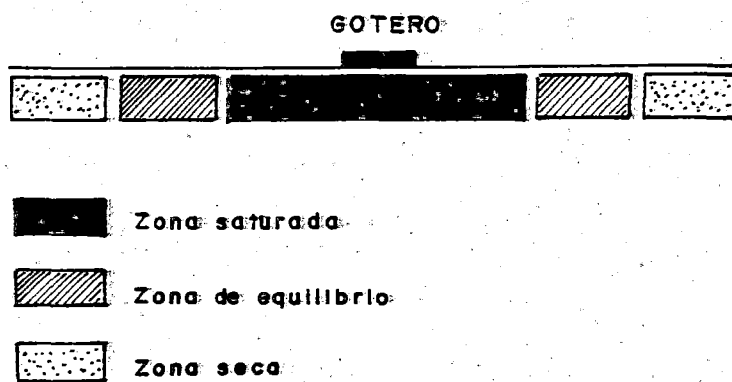


Fig. 3 b - Distribución de las distintas zonas que se forman en el bulbo de humedecimiento.

- Zona saturada : Debajo y alrededor del gotero, hay exceso de agua y falta de aire.
- Zona de equilibrio : Existe una relación óptima de agua y aire.
- Zona seca : Hay déficit de humedad y un máximo de aire. Debido a que en la zona seca, el agua ya no tiene movimiento, pueden presentarse problemas de salinización (2).  
Básicamente la forma del bulbo depende del suelo, de la descarga del gotero, duración del riego y la frecuencia del riego (2).

#### 2.3.4.5. Uniformidad de emisión (EU)

Este parámetro, mide que tan uniforme es la descarga de todos los emisores, en un sistema de riego por goteo. Se considera que este sistema de riego debe diseñarse con no más de un 5% de variación en la descarga, es decir, que tenga un 95% de uniformidad de emisión (15, 27).

#### 2.3.4.6. Eficiencia de riego

La baja precipitación horaria y el dominio sobre la presión aseguran un 100% de infiltración, evitándose totalmente el fenómeno de escurrimiento superficial, que es un factor decisivo en la eficiencia de riego (2).

La eficiencia en la aplicación de riego por goteo se considera del 90% (27).

#### 2.3.4.7. Requerimientos de presión

Según González y Tibau (18, 40), existen goteros que trabajan con presiones desde 2 a 30 mts; sin embargo las presiones de trabajo más comunes es con una carga de 10.30 m, equivalente a 1 atm y 14.7 psi.

Keller (27) sostiene que la presión promedio del gotero, se define como la carga que va a dar el caudal promedio, y -- que alrededor de 3/4 de la pérdida de carga ocurre entre la entrada donde se encuentra el mayor caudal y el gotero promedio.

La diferencia de presión ( $\Delta h$ ) a lo largo del lateral no debe exceder 0.5 de la variación de carga permisible ( $\Delta h_s$ ) en la sub unidad (20% de la presión de operación) (27).

Por lo anterior, cuando los laterales se ubican en dirección de la pendiente, el múltiple se debe ubicar más arriba de la línea central para permitir un equilibrio entre pérdidas por fricción y diferencia de nivel (27).

#### 2.3.5. Microaspersión

##### 2.3.5.1. Definición

Savaldi (36), define la microaspersión como el método que distribuye el agua en forma controlada desde un cabezal de control, pasando a través de una serie de tubería hasta llegar a los emisores (microaspersores, microjets, etc.); que

puede utilizarse en frutales, hortalizas, flores e invernaderos para riego y para mantener un microclima adecuado.

También se define como el sistema de riego que distribuye el agua cubriendo menos del 100% del área del cultivo, y que tiene un amplio rango de uso entre los que se mencionan : aplicación de fertilizantes, insecticidas y protección contra heladas, etc. (23).

#### 2.3.5.2. Descripción

Prácticamente el sistema se compone de un cabezal de control, tubería principal y secundaria de P.V.C., distribuidora de P.V.C. o polietileno y los laterales de polietileno; en diámetros que pueden ser de 16, 20, 25 mm, y finalmente los emisores (microaspersores) (36).

Los microaspersores son pequeños en tamaño, intercambiables, montados sobre la misma base y conectados a los laterales mediante insertadores (fijos y desarmables) y manguera flexible de P.V.C. (diámetros de 12 mm, 7/12", 4/7" (36).

Existen cuatro tipos de emisores principales : Microaspersor, microjets, nebulizador y goterón (36).

#### 2.3.5.3. Adaptabilidad

##### 2.3.5.3.1. Topografía

Se adapta a cualquier tipo de topografía, con la ayuda

de un regulador de flujo se asegura una alta uniformidad de aplicación, independientemente de las diferencias topográficas (23).

#### 2.3.5.3.2. Tipo de suelo

Se adapta a todo tipo de suelo; y además es usado para el lavado de sales en suelos que presentan este problema (36).

#### 2.3.5.3.3. Cultivo

Es utilizado para el riego de frutales, hortalizas (36).

#### 2.3.5.3.4. Caudal

Los requerimientos de caudal son variados y dependen tanto del tipo de emisor como del tamaño del patrón de humedad requerido; así para un patrón amplio se utilizan miniaspersores que tienen un gasto de 100-300 lts/hora; un patrón reducido se obtiene a través de microaspersores, con un gasto de 50-90 lts/hora; y los microjets (difusores), que producen un patrón pequeño de humedad, y tiene un gasto de 40-70 lts/hora.

En general se considera que un gasto de 70 lts/hora por emisor es lo más aceptable (36).

#### 2.3.5.3.5. Condiciones económicas

La microaspersión, es un sistema de riego presurizado y

como tal demande de equipo costoso, por tanto los costos - tanto de instalación como de operación son elevados (36).

#### 2.3.5.4. Forma de humedecimiento

Los microaspersores tienen la característica de distribuir el agua en una forma bastante uniforme; esta condición permite que se dispongan en el terreno sin que exista traslape entre sus diámetros de humedecimiento (36).

Hausenberg (23), menciona que con microaspersión se pueden lograr diámetros de humedecimiento que varían de 3-11 m.

Según Savaldi (36), la variación de los diámetros está en función de cuatro condiciones: aumento de la presión; aumento de las boquillas, aumento del ángulo del emisor y cambio del elemento distribuidor.

La forma de aplicar el agua de los microaspersores permite la formación de un patrón de humedecimiento bastante uniforme en el área que cada uno de ellos humedece, modificándose de acuerdo a la presión con que se trabaje (36) (Fig. 4).

Savaldi (36) hace una división de los patrones de humedecimiento tomando como base el área humedecida por cada uno de ellos; así se tiene :

- a) Patrón de humedad amplio, que comprende el 90% del área del árbol.
- b) Patrón reducido, comprende el 70% del área del árbol.

c) Patrón pequeño, comprende el 40% del área del árbol.

#### 2.3.5.5. Uniformidad de distribución

En la uniformidad de distribución para riego por microaspersión influyen varios factores : La verticalidad del microaspersor, el ángulo de riego, interrupción por plantas, calidad del elemento distribuidor, presión de trabajo, caudal nominal, tamaño de las gotas (36).

Para lograr una uniformidad de distribución dentro de lo aceptable, el microaspersor debe colocarse a 20 cm de la superficie del suelo, con un ángulo de riego casi horizontal trabajando con la presión nominal (36).

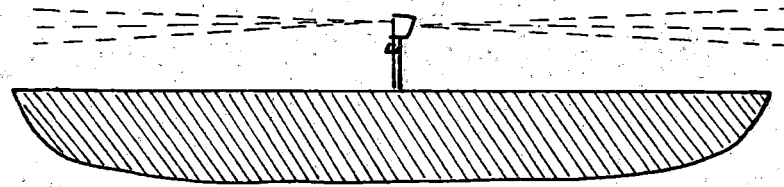
#### 2.3.5.6. Eficiencia de riego

El riego por microaspersión fué creado para alcanzar una eficiencia mayor que en otros métodos de riego utilizados. En pruebas realizadas por el Servicio de Extensión Agrícola de Israel, se obtuvieron eficiencias de 94% a 97%. Esto fué atribuido a la uniformidad del humedecimiento del área irrigada, y a la adecuada intensidad de aplicación del agua (23).

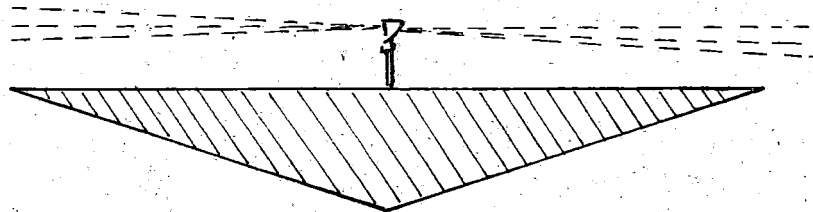
Savaldi (36), sin embargo, considera que el método del microaspersor posee una eficiencia del 90%.

#### 2.3.5.7. Requerimiento de presión

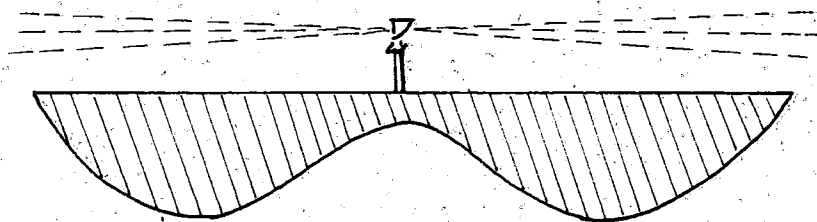
Las presiones permitidas para garantizar la uniformidad



a) Presión adecuada



b) Presión alta



c) Presión baja

Fig. 4.- Formas de humedecimiento en el perfil del suelo para diferentes condiciones de presión en microaspersión.



de distribución de riego y tamaño de gotas adecuada oscila entre 14-20 mts (20-28 PSI), (presión de trabajo). Las pérdidas de presión en el lateral no deben exceder del 15% de la presión de trabajo (36).

De manera general, dependiendo del tipo y modelo del emisor, del emisor, las presiones requeridas oscilan entre 10-40 mts de columna de agua (23, 36).

#### 2.3.6. Métodos de riego no convencionales

Debido a los altos costos de los sistemas de riego convencionales, el empleo de éstos en la agricultura se limita a los grandes productores. Tomando en cuenta que la necesidad de riego es una realidad inminente a todos los niveles de la agricultura, muchos de los pequeños agricultores se han visto obligados a fabricar dispositivos artesanales para la aplicación de agua a los cultivos, constituyéndose éstos, en un tipo de riego no convencional.

El riego no convencional, se define como la aplicación de agua al suelo utilizando dispositivos de fabricación artesanal, los cuales pueden usarse en pequeñas áreas; y que presentan una alternativa tecnológica para el pequeño agricultor.<sup>1/</sup>

En el país, poco o casi nada se sabe sobre esta modalidad

---

<sup>1/</sup> MENDOZA, A.E. 1991. Sistemas de riego no convencionales. San Salvador, El Salvador, Dirección de Riego y Drenaje. Comunicación personal.

dad de riego, sólo se cuenta con la experiencia de algunos agricultores de bajos recursos que tratando de aprovechar al máximo su tierra utilizan este tipo de riego.<sup>1/</sup>

Entre el material descartable que puede utilizarse como emisores artesanales para riego por goteo se encuentran: aplicadores de suero descartables, vainillas de bala calibre 22, y otros.<sup>1/</sup>

Otro tipo de material descartable que puede ser utilizado como emisor para riego por microaspersión son los tubos de plumones, secciones de poliducto y P.V.C.; con este material se fabrican dispositivos llamados mariposas, con los cuales se puede obtener buenas cosechas si son manejados adecuadamente. Puede utilizarse para riego de frutales, jardines y algunas hortalizas.<sup>2/</sup>

Como microaspersores también puede utilizarse un dispositivo elaborado únicamente con material de PVC, con el cual, a través de un giro lento se va distribuyendo el agua hasta la superficie del suelo. Su uso se limita al riego de jardines, principalmente gramales.<sup>3/</sup>

---

<sup>1/</sup> Op. Cit. MENDOZA, A.E.

<sup>2/</sup> ROSALES, T. 1992. Sistemas de riego artesanal por microaspersión. Sensuntepeque, Cabañas, Comunicación Personal.

<sup>3/</sup> VILLEDA, J.A. 1992. Métodos de riego artesanales por microaspersión. Izalco, Sonsonate. Comunicación Personal.

También puede utilizarse para distribuir el agua en forma de lluvia al terreno, los envases de desodorante con aplicador de bola, en donde, por medio de pequeñas perforaciones en el tapón el agua es lanzada en todas direcciones. Debido a que no posee ningún tipo de giro, el suelo no es humedecido uniformemente; pero sin embargo, puede utilizarse para regar jardines y frutales.<sup>1/</sup>

En riego por goteo se conoce un tipo de aplicador artesanal individual, llamado "riego por goteo casero, el cual es utilizado por los agricultores para regar plantas ornamentales, frutales y huertos caseros. Es una buena forma de aplicar eficientemente el agua. Están fabricados sólo de material descartable tales como: aplicadores de suero, envases de lejía, bolsas de plástico, hule y pita. Este dispositivo se coloca pendiendo a la par de la planta y el agua es aplicada gota a gota directamente al suelo; el caudal de descarga puede ser regulado a conveniencia según sea la necesidad.<sup>2/</sup>

Se conoce de un trabajo en riego por goteo, usando como emisores las vainillas de bala calibre 22; diseñado como un proyecto de emergencia para el riego de un cultivo de cítricos en la UCA.<sup>3/</sup>

---

<sup>1/</sup> Op. Cit. ROSALES, T.

<sup>2/</sup> OSORIO T., M. de J. 1991. Riego no convencional. San Salvador, El Salvador, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria. (Comunicación personal).

<sup>3/</sup> Op. Cit. MENDOZA, A.E.

Existe experiencias de riego por goteo, usando como - emisores vainillas de bala calibre 22; para el riego de un cultivo de papaya, donde se obtuvieron resultados satisfactorios.<sup>1/</sup>

Es importante hacer mención que en todos los casos citados anteriormente de uso de riego con emisores no convencionales, se carece de información técnica con respecto a su manejo, eficiencia y otras características.

#### 2.4. Conceptos básicos de planeamiento de sistemas de riego

##### 2.4.1. Generalidades

El éxito de un proyecto de riego tiene una gran dependencia del buen manejo del sistema en general, así como también, del entendimiento y evaluación de los requerimientos de agua de los cultivos, y de la selección de un método eficiente para la distribución y aplicación del agua (21).

Un riego excesivo además de desperdiciar agua origina lavado de los nutrientes solubles (14).

##### 2.4.2. Programación de riego

La finalidad de la programación de riego, es hacer un manejo adecuado del agua disponible, así como proporcionar un abastecimiento adecuado en cantidad y oportunidad, de -

---

<sup>1/</sup> MENDEZ, M. 1992. Riego artesanal, Atiocoyo, La Libertad, El Salvador. (Comunicación personal).

acuerdo a los requerimientos de los cultivos (32).

Juárez (26), considera que para realizar una programación adecuada de riego se debe conocer los factores: Topográficos, edáficos, climáticos, hídricos, etc.

#### 2.4.2.1. Factores topográficos

La facilidad o dificultad de hacer llegar el agua a la tierra cultivada, obliga a considerar la importancia que sobre esto presenta la topografía, la cual influye a través de tres factores importantes como:

- La pendiente, el relieve y posición (6)

#### 2.4.2. 2. Factores edáficos

##### 2.4.2.2.1. Textura

La textura se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. También se relaciona con el tamaño o dimensiones de las partículas que lo constituyen (6).

Para Brouwer (5), existen tres tipos de textura : Textura gruesa, textura media y textura fina.

Esta propiedad es de importancia ya que condiciona la capacidad de retención del agua y transmisión de la misma a través del suelo, además influye en la velocidad de infiltración. También ayuda a determinar la facilidad de abastecimiento de nutrientes, agua y aire a las plantas (16).

2.4.2.2.2. Estructura

Se define como la combinación o disposición de las partículas elementales (arena, limo, arcilla) de tal forma que constituyen partículas compuestas y más complejas (6, 16).

La cantidad y dimensionamiento de los poros y a su vez el movimiento del agua y aire en el suelo se ven afectados por la estructura (16, 28).

2.4.2.2.3. Densidad

La densidad aparente se determina midiendo un volumen de suelo (incluyendo los poros), y su masa seca.

Se define la masa de suelo seco dividiendo entre el volumen total de suelo (35).

Gaucher (16), menciona que la densidad aparente es la que toma en cuenta los poros y cambia según el grado de apelmazamiento o agrietamiento.

2.4.2.2.4. Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración depende principalmente de la porosidad y permeabilidad del suelo, de su estructura, -textura, de su contenido de materia orgánica y de la labranza (6).

Gaucher (16), la define como el fenómeno por medio del cual, el volumen de agua aplicado al suelo se introduce a éste a través de los poros.

El grado en que el suelo absorbe agua, disminuye muy rá

pido un poco después de haber empezado el riego; luego de varias horas, se hace aproximadamente constante (14).

#### 2.4.2.2.5. Capacidad de retención

Es la proporción de agua fijada por el suelo, es decir, la cantidad de agua capaz de ser conservada por el suelo (16).

Para Deloye (17), la capacidad de retención de agua en el suelo, está estrechamente ligado con la permeabilidad, las cuales varían inversamente.

#### 2.4.2.2.6. Capacidad de campo

Se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se le deja drenar libremente, y el contenido de agua y aire son ideales para el desarrollo normal de las plantas (2, 17, 26).

Cramer (28), afirma que se da la capacidad de campo de 1-3 días después de que el suelo ha sido completamente mojado. Por otro lado, Grassi (20), sostiene que se da cuando los valores de energía de retención del agua son aproximadamente 1/10 de bar en arena; 1/3 bar en suelo franco y 1/2 bar para suelo arcilloso.

#### 2.4.2.2.7. Punto permanente de marchitez (P.M.P.)

Representa el límite mínimo de humedad del suelo, por -

debajo del cual las plantas no pueden obtener agua del suelo, y se marchitan permanentemente (2, 17).

Grassi (20), define PMP como el punto donde el agua es retenida por el suelo con una fuerza de 15 bares.

#### 2.4.2.3. Factores climáticos

##### 2.4.2.3.1. Temperatura

La temperatura del aire cumple un papel importante en el desarrollo de las plantas, ya que influye directamente en el crecimiento y longitud del período vegetativo de las mismas.

Es importante tomar en cuenta que las distintas especies, dentro de lugares específicos de temperatura de acuerdo a su estructura fisiológica, éstas tienen una respuesta diferente entre si.

##### 2.4.2.3.2. Humedad relativa

El aire siempre contiene ciertas cantidades de agua en estado gaseoso, que se miden en términos de humedad relativa y se expresan en porcentaje. Su efecto nocivo para las plantas está directamente relacionado con el número de días con precipitación y la temperatura imperante (4).

##### 2.4.2.3.3. Radiación

La importancia de la radiación solar en la agricultura, radica en que de ésta dependen los diversos procesos que las



plantas desarrollan en su crecimiento y producción. Constituye la fuente fundamental de energía del ciclo hidrológico de la biósfera y ejerce gran influencia en las posibilidades agrícolas de cada región (4).

#### 2.4.2.3.4. Luz solar

La luz solar es esencial para las plantas ya que proporciona la energía necesaria para la elaboración de carbohidratos, mediante el proceso de fotosíntesis que éstas ejecutan durante todo su ciclo vegetativo. La insuficiencia de luz así como las altas intensidades de la misma, pueden causar daños e irregularidades en las plantas a lo largo de su desarrollo (4).

#### 2.4.2.3.5. Viento

Almendares, citado por Bernal (4), sostiene que el viento es un elemento influyente en la evaporación del agua y en la transpiración de las plantas, por lo que su medición es muy importante para los cálculos de evapotranspiración potencial y balances hídricos.

#### 2.4.2.3.6. Evapotranspiración

Es el proceso por el cual el agua es transferida hacia la atmósfera desde la planta y la superficie del suelo; se determina a partir de la información climática, de suelo y de cultivo (35).

Según Stutler (39), existen dos factores que afectan la evapotranspiración: el grado de cobertura vegetal sobre el suelo y la energía con que el agua está disponible en el mismo; por esta razón es conveniente hacer una división que defina cada caso, así se divide la evapotranspiración en potencial y real.

#### 2.4.2.3.7. Evapotranspiración potencial.

Se define como la máxima evapotranspiración posible - cuando el suelo contiene agua en abundancia y está cubierto por una completa masa vegetal en crecimiento (4, 39).

#### 2.4.2.3.8. Evapotranspiración real

Es la evapotranspiración que sucede en condiciones normales, tomando en cuenta que la cobertura vegetal y los niveles de humedad en el suelo varían a través del tiempo - (39).

#### 2.4.2.4. Recursos hídricos

Uno de los elementos fundamentales en el planeamiento de riego, lo constituye los recursos hídricos, que pueden ser: un embalse, lago natural, derivación directa o mediante presa en el tramo de un río; o un acuífero por bombeo del subsuelo a través de un pozo (30).

2.4.2.5. Requerimientos de agua del cultivo

2.4.2.5.1. Coefficiente de cultivo

(Kc)

El valor de Kc representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y que produzca rendimientos óptimos (9).

Doorenbos (9), afirma que para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre sus necesidades de agua, es necesario considerar los valores de Kc con el objeto de relacionar la ETP con la evapotranspiración del cultivo (ETC). Además que este coeficiente depende de las características del cultivo al momento de la siembra y de sus fases fenológicas.

2.4.2.5.2. Uso consuntivo (Ucd)

Se define como la cantidad de agua usada por un cultivo en la unidad de tiempo, para satisfacer la transpiración, la formación de tejidos, evaporación de agua del suelo adyacente y la precipitación interceptada por el follaje; sin embargo, por razones prácticas de cálculos, se considera el valor de ETC equivalente al de Ucd (39).

Para efectos de cálculo para riego, suele tomarse el máximo valor de evapotranspiración del cultivo (ETC), el cual depende exclusivamente de la ETP y el Kc. ETC (Ucd) se calcula mediante la fórmula :

$$Etc = Eto \cdot Kc \quad \text{Ecuación 3}$$

y se expresa como las necesidades de agua de los cultivos en la unidad de tiempo (9, 26).

#### 2.4.2.5.3. Ciclo fenológico

Cada cultivo presenta etapas bien definidas a lo largo de todo su desarrollo, las cuales son de gran utilidad para ofrecer un manejo adecuado de éstos.

Cada una de estas etapas demandan una cantidad diferente de agua, lo que indica la importancia de conocer la fenología de los cultivos desde el punto de vista de riego (3).

#### 2.4.2.5.4. Profundidad radicular

La profundidad radicular es muy importante en el cálculo de la lámina de agua que será aplicada en un cultivo, ésta delimita la profundidad de riego (3).

La profundidad de penetración de las raíces depende de las características genéticas de cada cultivo y de algunas condiciones físicas del suelo (21).

Para efectos de programación de riego, Griffin (21), clasifica los cultivos en cinco grupos con base a la penetración radicular :

- 1) Profundidad efectiva de 0.3 - 0.5 m
- 2) Profundidad efectiva de 0.5 - 1.0 m
- 3) Profundidad efectiva de 0.7 - 1.2 m
- 4) Profundidad efectiva de 1.0 - 1.5 m

5) Profundidad efectiva de 1.0 - 2.0 m

2.4.2.5.5. Lámina máxima de riego

(Ln).

González citado por Juárez (26), sostiene que la lámina máxima de riego es el volumen de agua por unidad de área, que un suelo puede almacenar para ser aprovechada por las plantas. Se calcula por la fórmula :

$$Ln = (cc - ppm) \cdot \rho_b \cdot Pr \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde :

Ln = Lámina máxima de riego (cm)

cc = Capacidad de campo (en fracción decimal)

ppm = Punto permanente de marchitez (fracción decimal)

$\rho_b$  = Densidad aparente (adimensional)

Pr = Profundidad radicular (cm).

2.4.2.5.6. Lámina de reposición (Lr)

Mendoza citado por Juárez (26), afirma que no debe permitirse que las plantas agoten en su totalidad el agua disponible en el suelo, por lo que considera que no debe alcanzarse un agotamiento mayor del 50% del agua disponible, aunque en hortalizas este valor se recomienda no sea mayor del 30%. La lámina de reposición se calcula con la fórmula siguiente :  $Lr = Ln \cdot P$  Ecuación 5

Donde : Lr = Lámina de reposición (cm)

Ln = Lámina máxima de riego (cm).

P = Fracción de agotamiento (adimensional)

#### 2.4.2.5.7. Lámina bruta (Lb)

No toda el agua que se deriva de la fuente es aprovechada por las plantas ya que una buena parte se pierde por fugas en la conducción, por escorrentía o por percolación profunda. La relación entre el agua recibida y el agua aplicada determina la eficiencia en un sistema de riego. La lámina bruta depende de la eficiencia del sistema y está dada -

por la fórmula : 
$$Lb = \frac{Lr}{Ef}$$
 Ecuación 6.

Donde : Lb = Lámina bruta (mm)

Lr = Lámina de reposición (mm)

Ef = Eficiencia (en porcentaje) (26).

#### 2.4.2.5.8. Intervalo de riego (Ir)

Según González (19), el intervalo de riego es el tiempo que tiene que transcurrir entre un riego y otro, y depende del cultivo y del uso consultivo máximo. Se puede computar por la fórmula :

$$Ir = \frac{Lr}{Etc}$$
 Ecuación 7

Donde : Ir = Intervalo de riego (días)

Lr = Lámina de reposición (en cm)

Etc = Uso consuntivo máximo (cms/día)

#### 2.4.2.5.9. Período de riego (Pr)

Generalmente se considera que en una finca existen días de descanso, es decir días que no se laboran, estos determi

nan el período de riego el cual está dado por el intervalo de riego ( $I_r$ ), menos los días de descanso (26).

#### 2.4.2.6. Otra información

Además de los parámetros anteriores debe considerarse otros elementos como la fuente de energía, entre las que - figuran como las más utilizadas : humana, animal, diesel, gasolina, electricidad para bombear o elevar el agua hasta el lugar requerido. El tipo de energía utilizado, depende del costo, disponibilidad y cantidad de agua que se requiere bombear (21).

- Cantidad de agua para bombear :

La cantidad de agua que se debe bombear depende del requerimiento del cultivo, área regada y eficiencia de aplicación del riego. El tamaño de la estación de bombeo requerida y del tiempo de bombeo. La inversión más rentable es en donde la bomba se diseña para una operación continua (21).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del área

##### 3.1.1. Ubicación

El ensayo se realizó en los meses de enero a abril de 1992, en el área destinada a cultivos anuales, al sur del lote La Bomba, del Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, localizada en el Cantón Tecualuya, San Luis Talpa, La Paz; a 36 km al sur este de San Salvador, a una elevación de 50 msnm.

Las coordenadas geográficas son 89°5.8' longitud oeste; 13°28.3' latitud norte; sus coordenadas planas son 489.6 km longitud oeste, 261.5 km latitud norte (6).

##### 3.1.2. Características del clima

###### 3.1.2.1. Clasificación climática

Según la clasificación climática de Koppen, Sapper y Laver, el Campo Experimental se encuentra en la zona o clima propio de las sabanas tropicales calientes o tierras calientes (0-800 msnm); la clasificación es Awaig (6).

###### 3.1.2.2. Temperatura

A través de todo el año se registra una temperatura media mensual de 26.48 °C. La temperatura media para los me



ses de enero a abril varía de 25.3 °C a 27.9 °C.

No obstante las temperaturas máximas no sobrepasan los 34 °C en marzo y abril; y las mínimas no disminuyen de 20 °C en los meses de enero y diciembre, que son considerados los más fríos del año (4) (Cuadro 1).

#### 3.1.2.3. Humedad relativa

La humedad relativa media mensual es de 73%. Registrándose los valores medios más bajos en enero y febrero (60%), siendo septiembre donde se registra el más alto (84%) (4) (Cuadro 1).

#### 3.1.2.4. Viento

Se ha medida a dos metros de altura sobre el nivel del suelo; las menores velocidades se registran en el mes de - septiembre (0.7 m/seg), y las mayores se alcanzan en enero, con un valor de 1.5 m/seg (4). (Cuadro 1).

#### 3.1.2.5. Luz solar

Los valores máximos de luz solar se observan durante enero y febrero, con un valor promedio de 9.8 horas/día; en abril se tiene 7.9 horas/día, representando el mínimo promedio (4). (Cuadro 1).

#### 3.1.2.6. Evapotranspiración potencial (ETP)

La ETP de los meses diciembre, enero y febrero es la más

baja, con sumas mensuales de 140 a 150 mm y los mayores se obtienen en marzo y abril, 180 mm al mes; calculada por la fórmula de Hargreaves (4). (Cuadro 1).

### 3.1.3. Suelos

#### 3.1.3.1. Clasificación

En general, los suelos de la Estación Experimental - puede decirse que se encuentran en planicies aluviales. - Pertenecen al grupo de los regosoles aluviales (6). Para el área de ensayo se tiene :

#### 3.1.3.2. Textura

La textura que predomina en el perfil es de franco limo so a franco arenoso en los primeros estratos y franco limo- so en los estratos inferiores.

#### 3.1.3.3. Estructura

Presenta estructura de migajón o ligeramente granular. Los estratos inferiores generalmente presentan gravilla de pómez, estructura pulverulenta (3). Su consistencia es de firme a suelta.

#### 3.1.3.4. Drenaje

El drenaje externo es moderadamente bueno. El interno del perfil es moderadamente bueno, con una velocidad de in-

Cuadro I. - Resumen de elementos climáticos para la Estación La Providencia, para un período de once años (1976 - 1987).

MES ELEMENTO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P MEDIA			21.17	26.60	176.66	306.55	297.00	276.06	269.55	196.60	49.60	4.13
T °C MEDIA	25.30	26.20	26.80	27.90	27.40	26.60	26.60	26.60	26.0	26.10	26.0	26.0
T °C MAXIMA	33.3	33.4	33.5	33.3	32.1	32.4	33.1	32.9	31.8	31.7	33.0	30.2
T °C MINIMA	20.8	21.4	21.9	22.6	24.2	23.3	22.6	22.6	22.7	22.6	21.9	21.4
H R %	60	60	64	64	79	81	80	81	84	81	74	68
VIENTO <sup>2 mts.</sup> (m/s)	1.5	1.4	1.4	1.2	1.0	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.9	1.1
R a	12.41	13.6	14.9	15.7	15.8	15.70	15.72	15.65	15.14	14.12	13.25	12.47
ETP	152	137	165	162	146	153	164	161	141	146	138	140

Fuente : Bernál Pérez, C. del C., Modificado  
La E. T. P. se calculó por el método de HARGREAVES.

filtración baja; pero con una permeabilidad moderada. Cañas Reyes (6), determinó una infiltración básica (Ib) de 0.99 cm/h, esto indica la presencia de capas superficiales poco permeables.

#### 3.1.4. Recursos hídricos

La fuente de agua empleada fué un poco profundo con que cuenta - la Estación Experimental que abastece las demandas de consumo animal, humano y de cultivo; cuya capacidad es de 280 G.P.M., cuya calidad de agua es buena para fines de riego, igual que la del Río Cacapa (Cañas Reyes).

#### 3.1.5. Topografía

Las pendientes predominantes en el área del ensayo son menores del 2% y por su posición son suelos que tienen poco peligro de inundarse.

##### 3.1.5.1. Plano de distribución

El área total utilizada para el ensayo fué de 1050 m<sup>2</sup>, - dividida en tres parcelas (una para cada método de riego) - con dimensiones de 300 m<sup>2</sup> cada una (30 m largo x 10 m de ancho), orientadas de sur a norte y separadas entre sí por calles de 2.5 m de ancho (Fig. A-1).

#### 3.1.6. Cultivo

El cultivo utilizado en el estudio fué el pepino (Cucumis sativus) variedad Poinsett; el cual se seleccionó de

bido a su adaptabilidad a la zona y por ser poco atacado por plagas y enfermedades. Además, porque es un cultivo que responde bien al riego cuando éste es aplicado adecuadamente, ya que los excesos de agua favorecen el ataque de hongos. Se tiene conocimiento de rendimientos obtenidos en pepino, usando riego por goteo convencional, de hasta 799.2 qq/mz para el híbrido Dasher II y 731.7 qq/mz para el híbrido Tropi-cuke.

#### 3.1.6.1. Descripción botánica del pepino

El cultivo del pepino pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, su nombre botánico es (Cucumis sativus L.); es una planta herbácea anual. Su sistema radicular consta de una raíz principal que alcanza hasta 1.2 m y se ramifica principalmente entre los 20 y 30 primeros centímetros.

Sus tallos son trepadores, rastreros, de crecimiento indeterminado, que pueden alcanzar hasta 2.5 a 3.0 m. Sus hojas son de epidermis con cutícula delgada, que no resiste evaporación excesiva. En la parte superior de la planta existen predominantemente flores femeninas.

El fruto puede alcanzar una longitud de 18-30 cm. Cuando tiernos presentan en su superficie espinas de color blanco.

#### 3.1.6.2. Fenología

El pepino presenta etapas bien definidas durante su desarrollo, que son de gran utilidad para dar un buen manejo. Según Bernal (3), el ciclo fenológico del pepino es :

<u>Estado fenológico</u>	<u>Días después de la siembra</u>
Emergencia	4 - 6
Inicio emisión de guías	20 - 24
Inicio floración	27 - 34
Inicio cosecha	43 - 50
Término cosecha	75 - 90

### 3.1.6.3. Requerimientos de agua

El pepino es una planta que necesita buena disponibilidad de agua a nivel radicular para que proporcione altas producciones. El contenido de humedad en el suelo debe mantenerse permanentemente a niveles cercanos a la capacidad de campo. La calidad de los frutos se ve afectada por los excesos de agua.

Las necesidades mínimas de agua durante el desarrollo del cultivo son de 500-600 mm, siendo los períodos críticos de demanda : Después de la siembra hasta la emergencia, próximo a la floración, dos semanas después de la floración y durante la formación de los frutos (3).

### 3.2. Descripción de los métodos de riego empleados

#### 3.2.1. Método regulador

Este es un método que se clasifica dentro del sistema de riego por goteo. La aplicación es en forma regulada mediante el uso de segmentos de aplicadores descartables de -

suero, usados como emisores (goteros).

Previo al establecimiento del ensayo se obtuvo el material básico para los emisores; éstos fueron adquiridos en varios hospitales de la ciudad de San Salvador. Se acortó el conducto de dichos aplicadores de suero (Fig. 5), y fueron tratados con agua hirviendo para su desinfección. Posteriormente fueron pintados de color negro para evitar proliferación de algas.

La tubería lateral en que se insertaron fue de polietileno de 16 mm de diámetro. Los agujeros fueron hechos usando un desarmador tipo Phillip, de menor diámetro que el emisor insertado. Los laterales fueron conectados a una tubería múltiple de 3/4 de pulgada de diámetro (19 mm), mediante unos conectadores iniciales para polietileno de 16 mm de diámetro. En su extremo final, los laterales fueron doblados y amarrados con alambre de amarre.

La tubería múltiple fue cortada en su parte media y acoplada a la tubería principal a través de dos niples, válvula de compuerta y una unión Tee.

El sistema de riego era accionado manualmente abriendo y cerrando el paso del agua a través de la válvula. No se usó ningún tipo de filtro (Fig. 6). La conducción del agua hasta el sistema, se hizo por medio de tubería de aluminio de 3" de diámetro, unida a un sistema de bombeo de 3" de diámetro, unida a un sistema de bombeo con una bomba de 30 H.P.

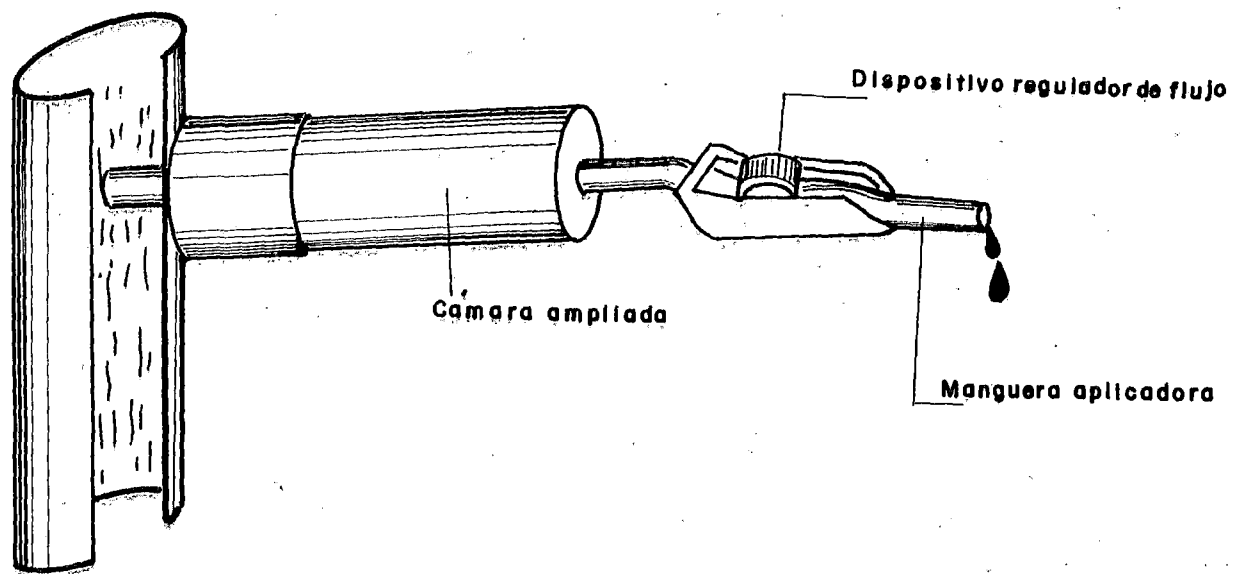


Fig. 5 - Aplicador descartable de suero, insertado en la tubería lateral.



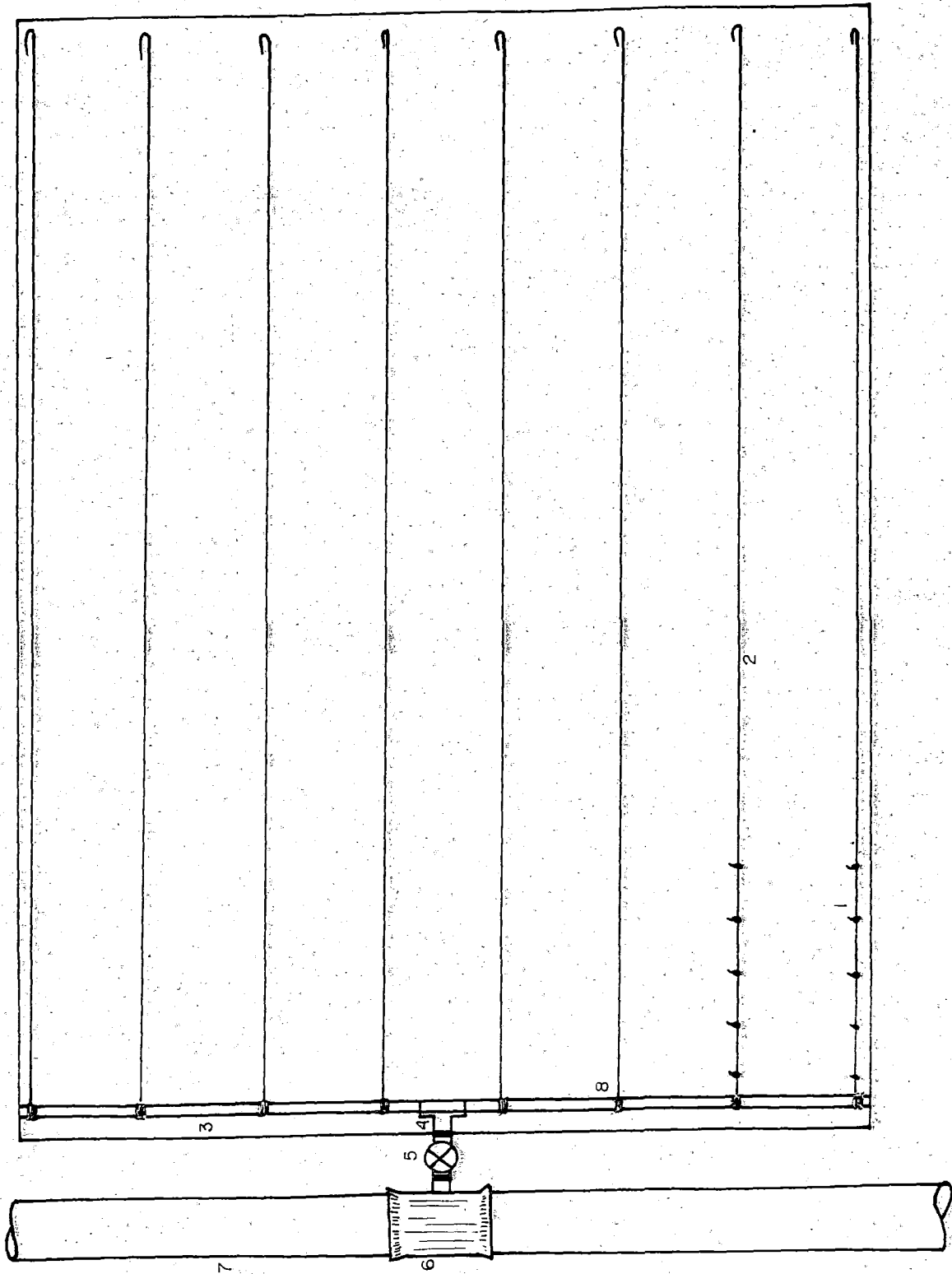


Fig. 6 - Plano de distribución en el campo de los componentes del sistema, para el método Regulador y Roció. ( 1 - goteros; 2 - tubería lateral; 3 - tubería múltiple; 4 - union Tee; 5 - válvula de compuerta; 6 - acople de aluminio; 7 - tubería de aluminio; 8 - conectadores ).

### 3.2.1.1. Componentes

El sistema de riego constó de los siguientes componentes : goteros de material plástico y caucho, ocho laterales de polietileno de 30 m de largo cada uno; tubería múltiple de 10.0 m de longitud (1), accesorios para derivación (nipples, válvulas y unión en Tee), una tubería principal y equipo de bombeo con una bomba de 30 H.P.

### 3.2.1.2. Características del método de riego

#### 3.2.1.2.1. Dispositivos de aplicación

Están constituidos por segmentos de aplicadores descartables de suero pintados de negro, cuyo extremo duro fué recortado para ser introducido a la tubería lateral; presenta una cámara ampliada en la parte central que siempre permanece llena de agua, un dispositivo regulador de flujo y una manguera aplicadora (Fig. 5). Algunos goteros fueron dejados sin pintar con el propósito de comprobar en el campo la formación de algas.

#### 3.2.1.2.2. Principio de funcionamiento

Este se basa en el paso del agua a través de la cámara ampliada, regulado por el dispositivo regulador de flujo insertado en la manguera aplicadora, la cual descarga el agua

sobre el terreno en forma de gotas.

3.2.1.2.3. Características de humedecimiento y distribución del agua

El emisor aplica el agua gota a gota, humedeciendo inicialmente la superficie del suelo en forma de círculo, pero a partir del tercer riego se formó la faja húmeda a lo largo de la hilera de plantas.

3.2.1.2.4. Disposición en el campo

Esta obedece a la distribución del cultivo, los goteros fueron colocados en la tubería cada 0.50 m, igual a la separación entre plantas y los laterales ubicados paralelos a las hileras de plantas usando un lateral para cada una (Fig. 6).

3.2.1.2.5. Materiales para su construcción

Los materiales utilizados fueron :

- Alambre de amarre
- 500 descartables de suero
- 242 m tubería negra de polietileno de 16 mm de diámetro en secciones de 30 m.
- 10 m tubería de polietileno de 3/4" de diámetro.
- 8 Conectores de 16 mm.
- 1 Unión Tee.
- 2 niples todo rosca de metal, 3/4" de diámetro.

- 1 válvula de compuerta de 3/4" de diámetro.
- 1/4 galón de pintura negra de aceite
- 1 navaja
- 1 destornillador tipo Phillip

### 3.2.2. Método rocío

Este método está considerado dentro del riego por goteo. La aplicación del agua es en forma de un diminuto chorro, por medio de un pequeño orificio abierto a un costado de la parte basal de casquillos de bala calibre 22, usados como goteros (Fig. 7).

Estos dispositivos fueron adquiridos en forma gratuita en el polígono de tiro aldaño al Estadio Nacional Flor Blanca.

El orificio aplicador del agua se hizo con la punta de un compás, procurando que su tamaño fuera lo más uniforme posible.

La tubería lateral usada fué de 16 mm de diámetro en la cual se abrieron en la posición que ocuparían los goteros, un agujero por medio de un desarmador Phillip de un diámetro menor al del gotero, para que este último entrara a presión.

Para unir los laterales a la tubería múltiple se utilizaron conectadores que fueron instalados en la múltiple a través de agujeros hechos previamente con un desarmador Phillip, en esta tubería.

La conexión de la tubería múltiple a la tubería principal se hizo mediante una unión Tee, dos niples, y una válvula

la de compuerta. Esta última era activada manualmente y a través de ella se accionaba el sistema, abriendo o cerrando el paso del agua. No se usó ningún tipo de filtro (Fig. 6).

La conducción del agua hasta el sistema se produjo mediante tubería de aluminio conectada a un equipo de bombeo.

Con el propósito de evitar que hubieran diferencias muy notables en la descarga de los goteros de un mismo lateral, se ubicaron los orificios de aplicación de mayor diámetro en la parte final de éste y los de menor diámetro al inicio.

#### 3.2.2.1. Componentes

Básicamente el sistema constó de goteros artesanales, fabricados de casquillos de bala calibre 22, ocho laterales de 30 m cada uno; una tubería múltiple de 10.0 m de longitud y accesorios para derivación (Tee, válvula, niples), tubería principal y un equipo de bombeo (Fig. 6).

#### 3.2.2.2. Características del método de riego

##### 3.2.2.2.1. Dispositivos de aplicación

Los goteros consisten en pequeños cilindros de bronce de 15 mm de largo, con un agujero de entrada de 6 mm de diámetro, una base agrandada de 7 mm de diámetro la cual sella el extremo basal. A un costado de este extremo posee el orificio aplicador de 0.5 mm de diámetro (Fig. 7).

Es importante hacer mención que no todos los goteros po-

señan un orificio aplicador de 0.5 mm de diámetro, por tanto este valor se presenta como promedio.

#### 3.2.2.2.2. Principio de funcionamiento

El funcionamiento de estos dispositivos se basa en la penetración del agua a presión al agujero de entrada, lo cual provoca que el agua sea descargada por el orificio aplicador en forma de un pequeño chorro sobre el terreno (Fig. 8).

#### 3.2.2.2.3. Características de humedecimiento y distribución del agua

Las diferencias en forma y tamaño del orificio aplicador y las variaciones en la presión, produjeron que entre emisores, el alcance del chorro aplicado presentara ciertas variaciones.

El humedecimiento sobre el terreno en las aplicaciones iniciales describía una circunferencia irregular en forma y tamaño; pero a partir del tercer riego, se formó la faja húmeda a lo largo de la hilera de plantas.

Es importante mencionar que al momento de echar a andar el sistema, se ordenaron todos los goteros de tal forma, que el agua fuera aplicada en el sitio deseado.

#### 3.2.2.2.4. Disposición en el campo

Los goteros se instalaron en la tubería a una separación

de 0.5 m, es decir, un gotero por planta.

La disposición de la tubería lateral en el campo fue de: lateral simple recto, es decir, un lateral recorriendo la hilera de plantas (Fig. 6).

#### 3.2.2.2.5. Materiales para su construcción

- Alambre de amarre
- 500 cásquillos de bala Calibre 22
- 240 m de tubería de polietileno de 16 mm de diámetro en secciones de 30 m.
- 10 m de tubería de polietileno de 3/4" de diámetro.
- 8 conectores de 16 mm.
- 1 unión en Tee
- 2 niples todo rosca de metal 3/4" de diámetro.
- 1 válvula de compuerta de 3/4" de diámetro.
- Aguja de compás, destornillador phillip, navaja, tenaza y martillo.

#### 3.2.3. Método mariposa

Por la forma de aplicar el agua se clasifica dentro de la microaspersión. El agua es lanzada en forma de lluvia mediante aplicadores que tienen la forma de mariposa (Fig. 9) los cuales fueron fabricados con tubos de plumones ya descartados; trozos de polietileno de 1/2" de diámetro sellado con fuego en un extremo y ampliado el otro; una arandela de PVC que sirve de empaque y facilita el giro; se usaron piezas de

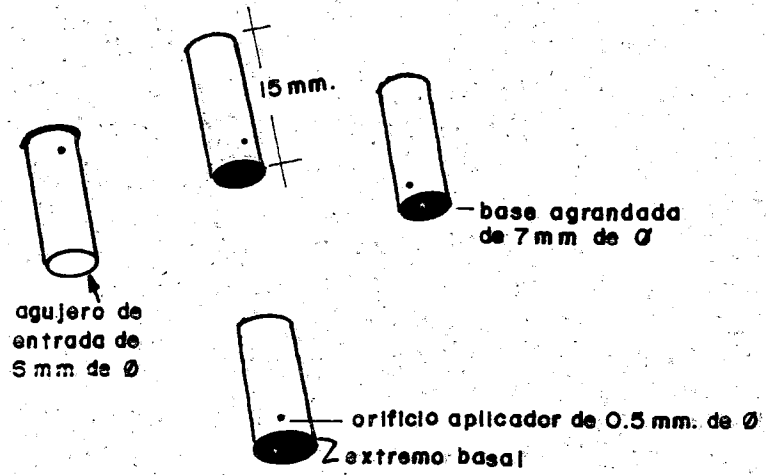


Fig. 7- Casquillos de bala calibre 22

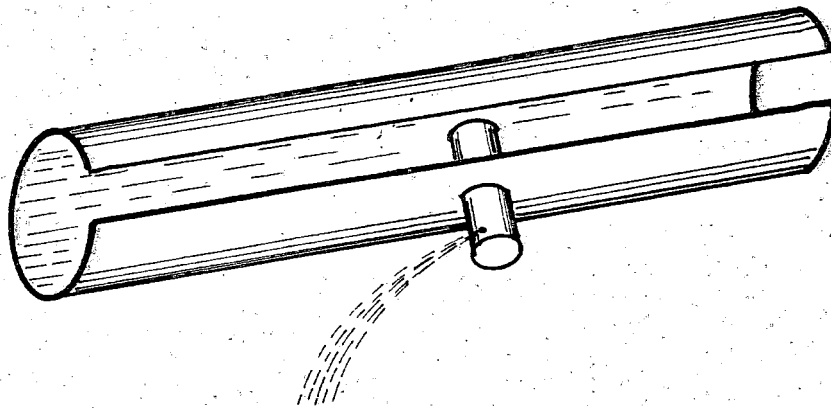


Fig. 8 - Inserción en la tubería lateral de los casquillos de bala calibre 22 y su funcionamiento.



PVC, tales como un reductor de 3/4" x 1/2", una unión Tee de 1/2", un tapón de 1/2" y un niple de 1/2" de diámetro.

Estos emisores se fijaron a un trozo de madera a 35 cm sobre el suelo y se conectaron en el extremo de la tubería lateral. Se usó tres laterales de 30 m de largo, que fueron unidos a la tubería múltiple mediante conectores iniciales de 16 mm; tubería múltiple de 8.0 m de largo y 3/4" de diámetro, ésta fué unida a la tubería de conducción o principal, de la misma forma que en los dos métodos anteriores (Fig. 10).

#### 3.2.3.1. Componentes

El método constó de 3 microaspersores (mariposas), tres laterales, un múltiple, accesorios (Tee, niples, válvula), tubería principal y un equipo de bombeo (Fig. 10).

#### 3.2.3.2. Características del método de riego

##### 3.2.3.2.1. Dispositivos de aplicación

Estos fueron fabricados, tomando como modelo un emisor elaborado por el señor Tomás Rosales, agricultor del área de Sensuntepeque, Cabañas.

Básicamente consiste en un pequeño aplicador de agua en forma de mariposa (Fig. 9). Constituido por las siguientes partes: un derivador de agua, fabricado de tubo de plumón de

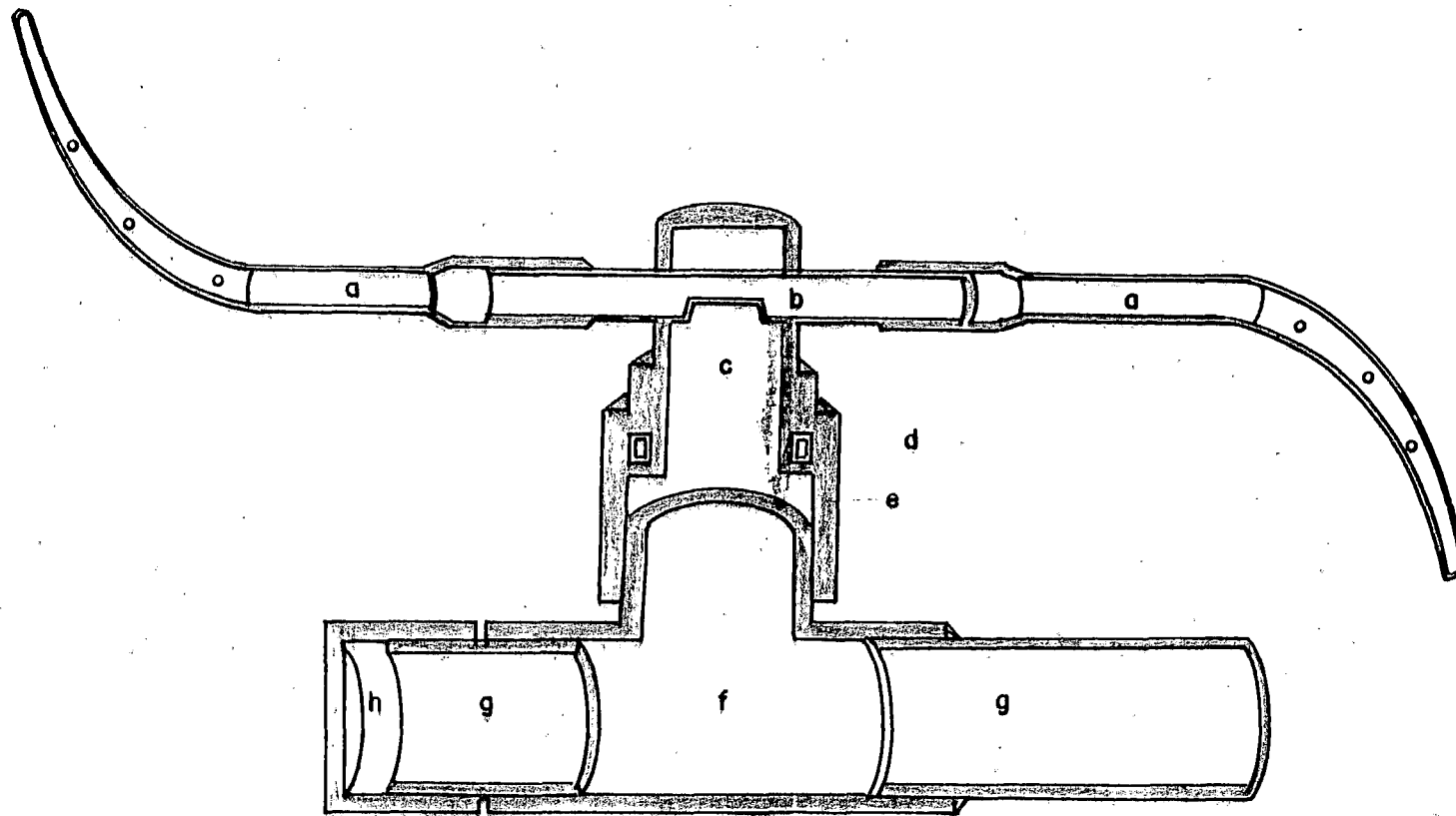


Fig. 9 - Corte longitudinal de la mariposa

a Aspas; b Tubo derivador; c Tubo giratorio; d Arandela; e Reductor;  
f Tee; g Niples; h Tapon hembra.

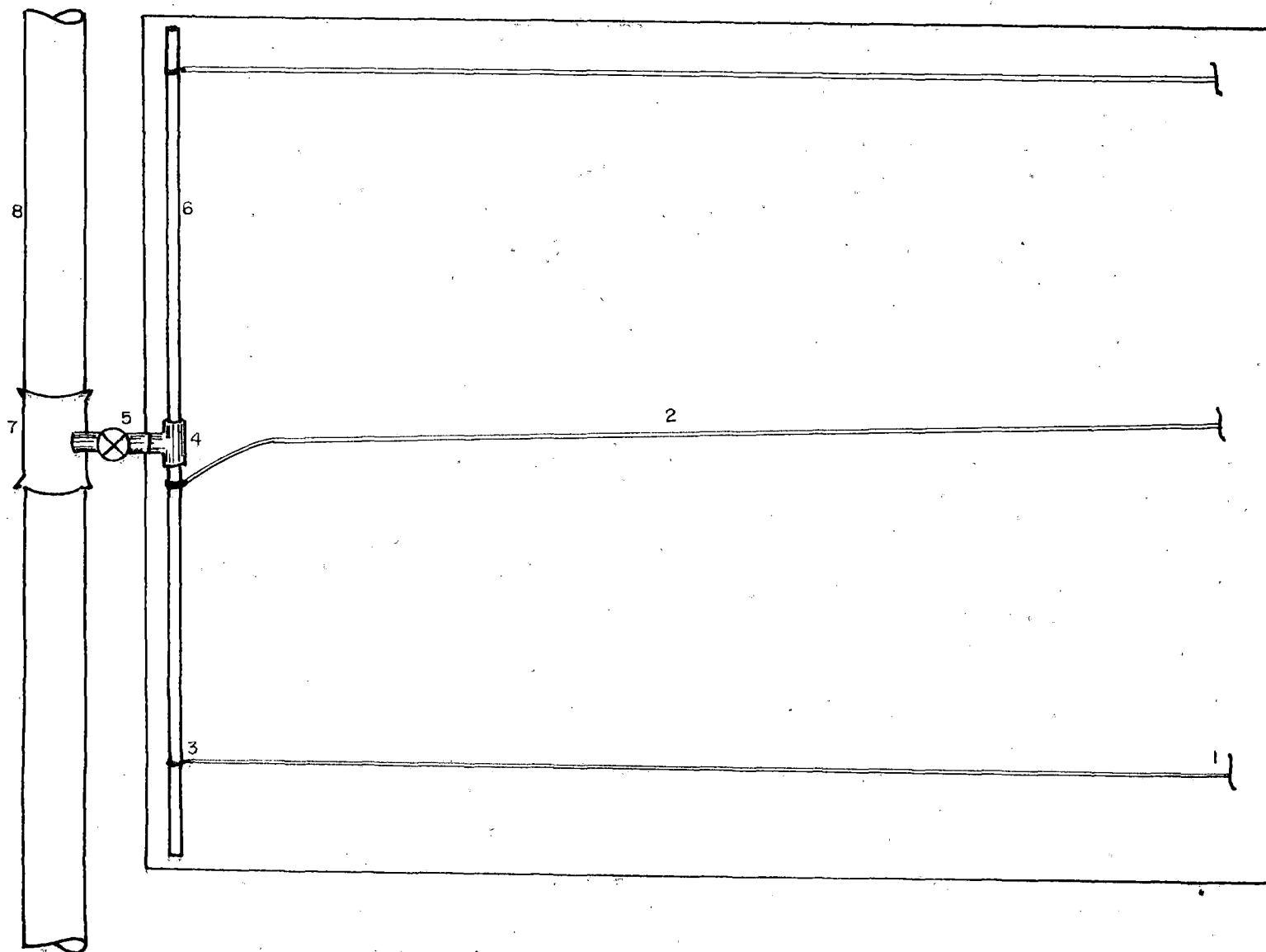


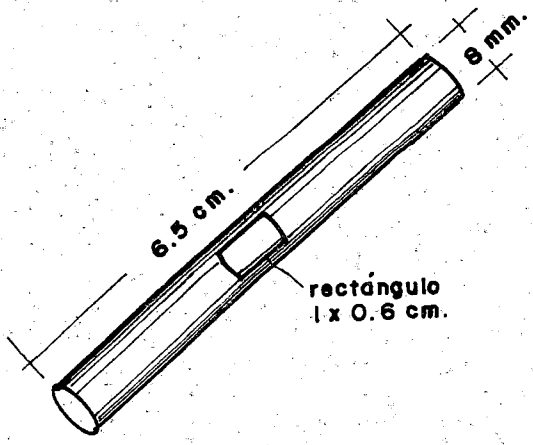
Fig. 10 - Plano de distribución en el campo de los componentes del sistema, para el método Mariposa .  
 ( 1. microaspersor ; 2. tubería lateral ; 3. conector ; 4. unión Tee ; 5 . válvula de com\_  
 puerta ; 6 . tubería múltiple ; 7. acople de aluminio ; 8. tubería de aluminio ) .

6.5 cm de largo y 8 mm de diámetro con un corte en forma de rectángulo en la parte central (Fig. 11a). En cada extremo de esta pieza - se conecta a presión, un aspa fabricada también de tubo de plumón, de 12 cm de largo doblado y semisellado en un extremo por medio de calentamiento y con tres agujeros aplicadores de aproximadamente 1.0 mm de diámetro en la parte superior (Fig. 11b).

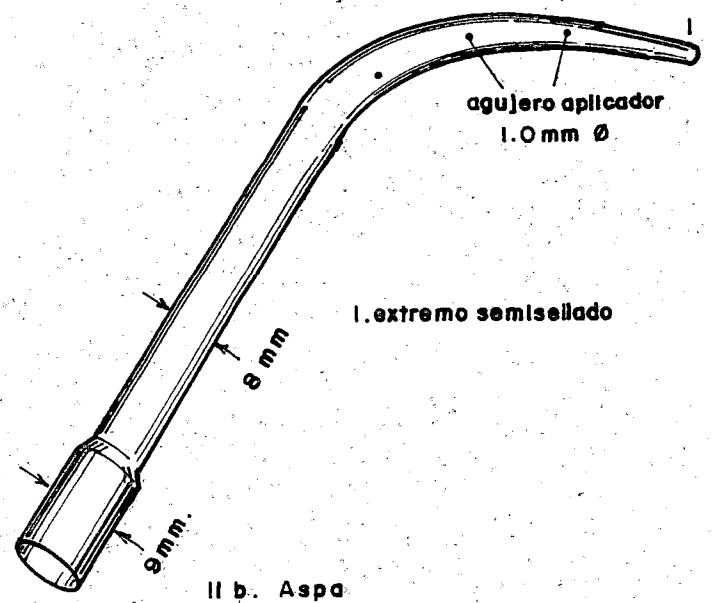
El derivador de agua es sujetado a presión por un tubo giratorio fabricado con un trozo de 4 cm de largo de polietileno de 1/2" de diámetro; desvastado externamente, sellado en su parte superior y ampliado en forma de disco en su extremo inferior por medio de calentamiento (Fig. 11c). Posee también una arandela de PVC de 3 mm de espesor (Fig. 11d), la cual abraza al tubo giratorio. Este último, se acopla a un reductor de PVC de 3/4" x 1/2" de diámetro (Fig. 11e) que a su vez se une a presión a una Tee de PVC de 1/2" de diámetro (Fig. 11f) desgastándole externamente a ésta, una de sus salidas y sellando por medio de un tapón de PVC de 1/2" de diámetro otra de sus salidas (Fig. 11g). El acople de la tubería lateral ala Tee se hace por medio de un niple de PVC de 1/2" de diámetro (Fig. 11h).

#### 3.2.3.2.2. Principio de funcionamiento

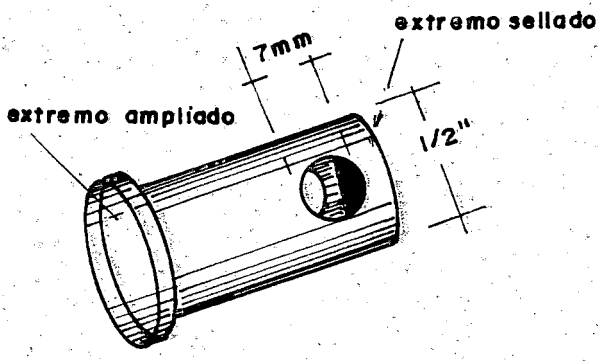
El principio de funcionamiento de este emisor es el siguiente : el agua entra con una presión relativamente fuerte



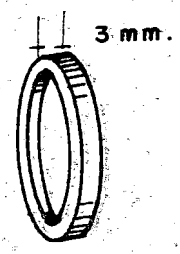
II a. Derivador de agua



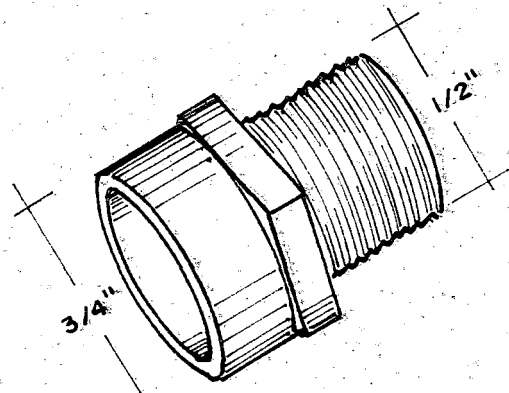
II b. Aspa



II c. Tubo giratorio



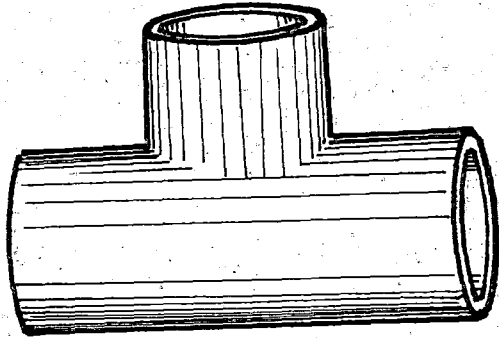
II d. Arandela



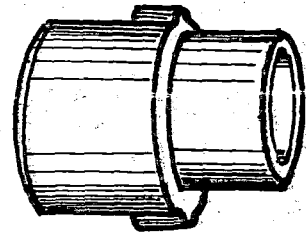
II e. Reductor

Fig. II. Componentes de la mariposa

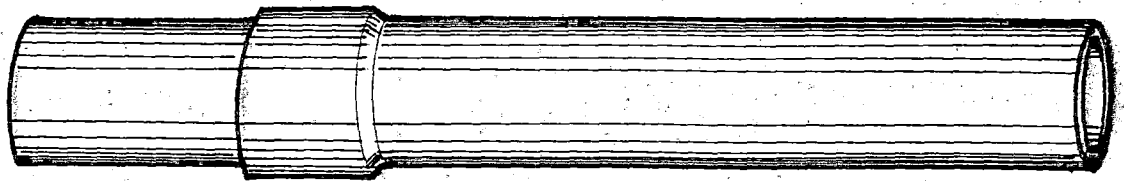
Continuación de la fig. II



II f. Unión Tee de 1/2"



II g. Tapón de 1/2"



II h. Niple de P.V.C. de 1/2"

a la Tee, pasando luego, por el reductor y el tubo giratorio, posteriormente entra al derivador de agua repartiendo el caudal hacia las dos aspas; los agujeros superiores y terminales de éstas comienzan a descargar el agua en cantidades iguales para cada una; ésto ayudado por la arandela produce el movimiento del tubo giratorio, distribuyéndose el agua uniformemente sobre el terreno.

Es importante hacer mención que lo fundamental para que se produzca el giro continuo y uniforme, es que la cantidad de agua descargada por las aspas, sea igual en ambas, ésto indica que el taponamiento o semitaponamiento de uno de sus agujeros provocará la suspensión del giro o la reducción en su velocidad.

#### 3.2.3.2.3. Características de humedecimiento y distribución del agua

El humedecimiento producido por cada emisor sobre la superficie del suelo describió una circunferencia con un promedio de 3.8 m de diámetro.

La distribución del agua es en forma de lluvia, con gotas muy finas esparcidas uniformemente hasta una distancia promedio de 1.9 m (radio) (Fig. 12).

Es válido aclarar que la uniformidad con que se mojaba el suelo, fué menor una vez que las hojas del cultivo cubrieron éste.

#### 3.2.3.2.4. Disposición en el campo

Para el riego del área correspondiente a este método se emplearon tres microaspersores, los que fueron conectados al extremo de su correspondiente línea lateral.

Para el funcionamiento de este método se hace necesario colocar los emisores en distintas posiciones, de tal manera que al final del riego se tenga humedecido todo el campo. Para el establecimiento de las posiciones del emisor se partió del alcance del diámetro de mojado, los que en promedio midieron 3.8 m, de manera que siguiendo el criterio de humedecimiento de los microaspersores no se estableció un traslape entre los diámetros de mojado; lo anterior permitió establecer un espaciamiento entre laterales y entre posiciones igual a 3.8 m.

La colocación de los emisores en sus distintas posiciones se hizo mediante el desplazamiento a lo largo de la hilera de plantas, recogiendo y extendiendo el lateral; el cambio de posición se hizo al completar el riego en cada una de ellas (Fig. 13).

#### 3.2.3.2.5. Materiales para su construcción

El material utilizado para la instalación del sistema fueron los siguientes :

- 9 tubos de plumón de 8 mm de diámetro
- 3 trozos de tubo de polietileno de 1/2" de diámetro de -



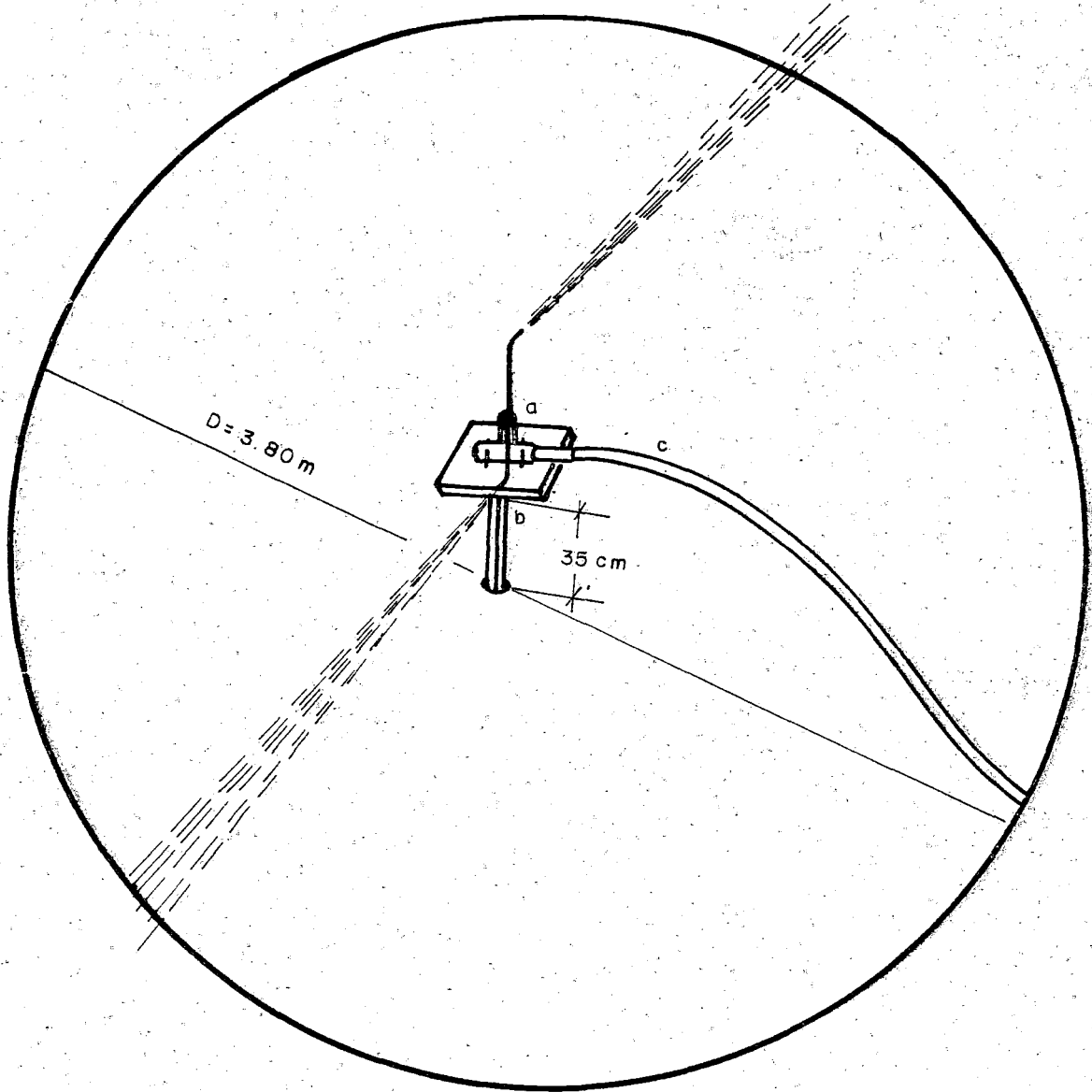
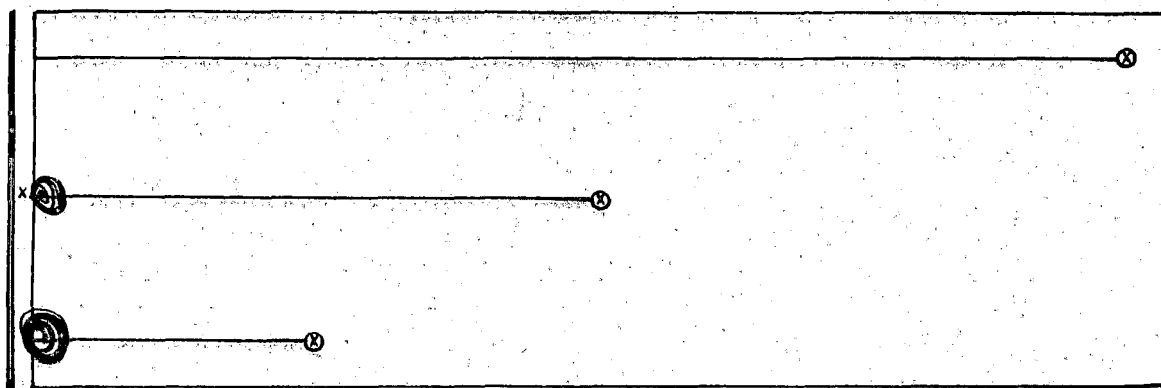




Fig. 12 - Alcance del diámetro de mojado de la mariposa.

- a - Microaspersor
- b - Soporte
- c - Tubería lateral



-  manguera del lateral recogida
-  posición del microaspersor

ESC : 1 : 200

Fig. 13 - Desplazamiento de microaspersores en método mariposa.

- 6 cm de longitud.
- 3 Tee de PVC de 1/2" de diámetro.
- 3 Reductores de PVC de 3/4" x 1/2" de diámetro.
- 3 Niples de PVC de 1/2" de diámetro
- 8 m de tubería de polietileno de 3/4" de diámetro.
- 90 m de tubería de polietileno de 16 mm de diámetro en sec  
ciones de 30 m.
- 3 conectores de 16 mm de diámetro
- 1 válvula de compuerta de 3/4" de diámetro.
- 2 Niples todo rosca de metal de 3/4" de diámetro.
- Alambre de amarre
- Teflón
- Clavos
- Madera.

Las herramientas usadas fueron :

- Martillo
- Tenaza
- Navaja
- Aguja de compás
- Machete.

#### 3.2.4. Costos de riego

Para estimar los costos incurridos en el riego, se tomó -  
en cuenta el costo unitario de cada implemento incluyendo la  
bomba, la tubería principal, los accesorios, los múltiples,  
los laterales, alambre de amarre, mano de obra, costos de enerer

gía; en el caso del regulador y rocío, el costo de recolección de goteros (descartables de suero y casquillos); y el costo del emisor en el método mariposa.

Los precios de los materiales y equipo utilizados en cada método, fueron cotizados en diversas casas distribuidoras del área de San Salvador.

Debido a que la parcela experimental fue relativamente pequeña y que no es posible extrapolar los costos de irrigación a áreas mayores, ya que estos resultarían altos comparándolos con los reales; se ha diseñado una parcela tipo de una hectárea, considerando un terreno plano. Además, con el propósito que este diseño resulte lo más económico posible se han propuesto cambios del material utilizado y cambios en la disposición de tuberías en el campo, así se tiene: que en el método regulador y rocío se ha usado tubería de poliducto 1/2" de diámetro por la de polietileno de 16 mm de diámetro para laterales; tubería de P.V.C. de 3/4" de diámetro por la de polietileno del mismo diámetro para múltiples, en este caso dicha tubería debe ir enterrada; también se utiliza Tee reductora de 3/4" x 1/2" de diámetro (en tubería enterrada) para derivar el agua hacia los laterales a cambio de los conectores de 16 mm de diámetro (Fig. A-2).

En el caso del método mariposa, se cambia la distribución geométrica ya que se utiliza un múltiple enterrado continuo de P.V.C. de 1" de diámetro para cada sub unidad por las dos secciones de tubería de polietileno de 3/4" de diámetro; también se ha utilizado Tee reductora de 1" x 1/2" de diámetro para derivar el agua a los laterales, y cruceros reductores de 3" x 1" de diámetro

para derivar el agua hacia los múltiples (Fig. A-3).

### 3.3. Establecimiento del cultivo

#### 3.3.1. Preparación del suelo

Fue realizada una semana antes de la siembra, mediante dos pasos de rastra.

#### 3.3.2. Siembra

Se realizó el día 21 de febrero, utilizando semilla de pepino variedad Poinsett, en cantidad de 6 onzas en un área de  $900 \text{ m}^2$  (1.5 lbs/mz).

La siembra fue manual a un distanciamiento de 0.5 m entre planta y 1.2 m entre hileras; colocando tres semillas por postura, a una profundidad de 2 cm aproximadamente.

#### 3.3.3. Raleo

Se hizo en forma manual dejando dos plantas por postura. Se efectuó 14 días después de la siembra.

#### 3.3.4. Colocación de Mulch

A los 24 y 25 días después de la siembra, se realizó la colocación de mulch entre las hileras, para lo cual se utilizó material seco de pasto guinea y cogollo de caña de azúcar.

#### 3.3.5. Control de malezas

Se realizó en forma manual, en dos ocasiones para los métodos de riego rocío y regulador; y en tres para el método mariposa.

El crecimiento de las malezas encontradas fué notablemente reducido después de los 24 días de haber sembrado, debido a la acción del mulch que se colocó en los entre surcos.

### 3.3.6. Control de plagas y enfermedades

Según Bernal Chávez (4), las plagas y enfermedades que más atacan el cultivo del pepino en el Campo Experimental son: las tortuguillas, mosca blanca, Phylophaga sp, perforadores de frutos; y las enfermedades pudriciones y antracnosis; cuyo control se describe a continuación para ambos casos.

Para el control de plagas del suelo como Phylophaga sp., Botynus sp.; se aplicó al momento de la siembra 3 gr por postura de Volatón granulado 2.5% (77 lbs/mz).

En cuanto a las plagas del follaje, fué poca la incidencia presentada, básicamente se dieron ataques de: Tortuguilla (Diabrotica sp) y mosca blanca (Bemisia tabaci), las cuales se controlaron con Lannate 90 SP a razón de 2.5 gr/gl de agua.

También hubo un severo ataque del perforador del fruto (Diapahnia nitidalis), el cual fue controlado con Lannate 90 SP a razón de 2.5 gr/gl.

Las aplicaciones al follaje y al fruto se hicieron simultáneamente y en tres ocasiones.

Las enfermedades que se presentaron fueron la pudrición blanca (Pythium sp) y antracnosis (Colletotrichum sp) las que fueron controladas con Antracol en dosis de 10 gr/gl de agua. La que mayormente atacó fue la pudrición blanca por lo que se hicieron cinco aplicaciones del producto antes mencionado.

### 3.3.7. Fertilización

El programa de fertilización se diseñó tomando en cuenta antecedentes sobre fertilización en pepino (4).

La primera fertilización se hizo al momento de la siembra con fórmula 16-20-0 en dosis de 28 gramos por postura al fondo, la segunda a los 26 días después de la siembra a razón de 28 gramos por postura de sulfato de amonio. Además se hicieron aplicaciones de fertilizante foliar en dosis de 75 cc de Bayfolán por 4 galones de agua, a partir de los 35 días después de la siembra, repitiéndose cada 8 días hasta completar 3 aplicaciones.

### 3.3.3. Cosecha

Se comenzó a los 42 días después de la siembra, realizando un corte en forma manual cada tres días, hasta completar siete.

Fueron previamente señaladas al azar, 6 plantas, dentro de lo que se consideró como parcelas de muestreo. Cada una se definió en un área de  $7.2 \text{ m}^2$ , azarizándose 5 parcelas dentro del total del área correspondiente a cada método.

## 3.4. VARIABLES EN ESTUDIO Y METODOLOGÍA DE DETERMINACIÓN

### 3.4.1. Propiedades del suelo

Previo al establecimiento del ensayo se determinó propiedades físicas del suelo como son: Capacidad de campo, punto de

marchitez permanente y densidad aparente.

### 3.4.1.1. Densidad aparente ( $\rho_b$ )

Las muestras de suelo fueron extraídas de tres sitios diferentes del área de ensayo y de tres profundidades : 15, 30, 45 cm por medio de un cilindro muestreador de volumen conocido tipo Uhland, se pesaron, luego se pusieron en una estufa a 105 °C por 24 horas y se pesaron nuevamente, por diferencia de peso se obtuvo la masa de suelo seco (Cuadro A-1). La ecuación utilizada es la siguiente :

$$\rho_b = \frac{m_{ss}}{V_t} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde :

$\rho_b$  = Densidad aparente en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

$m_{ss}$  = Masa de suelo seco en gr

$V_t$  = Volumen total del suelo en  $\text{cm}^3$

El volumen total del suelo se determinó mediante la fórmula siguiente :

$$V_t = \pi r^2 h \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde :

$V_t$  = Volumen total del suelo ( $\text{cm}^3$ )

$r$  = Radio de la base del cilindro muestreador en cm.

$h$  = Altura del cilindro muestreador en cms.

### 3.4.1.2. Capacidad de campo (CC)

Fue determinada por el método de la olla de presión y pla-



tos de cerámica de Richards; en donde las muestras de suelo extraídas de tres sitios diferentes del área de ensayo y de tres profundidades: 15, 30, 45 cm; se saturaron con agua, se colocaron en la olla de presión a 0.3 atmósferas, en la cual permanecieron por 24 horas; al sacarlas de ahí se pesaron y se introdujeron en una estufa a 105 °C por 24 horas. Luego de sacarlas se pesaron para determinar el agua retenida por el suelo (Cuadro A-2).

#### 3.4.1.3. Punto de marchitez permanente (PMP)

Este parámetro se determinó de la misma forma que el caso anterior, con la única diferencia que la presión usada fué de 15 atmósferas (Cuadro A-3).

Para ambos casos (CC y PMP) se utilizó la fórmula.

$$\theta_v (CC, Pmp) = \frac{msh - mss}{mss} \times 100 \times \rho_b \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde :  $\theta_v (cc, Pmp)$  : Humedad volumétrica a capacidad de campo o punto de marchitez permanente en %.

msh : Masa de suelo húmedo en gr.

mss : Masa de suelo seco en gr.

$\rho_b$  : Densidad aparente en gr/cm<sup>3</sup>.

#### 3.4.2. Métodos de riego

##### 3.4.2.1. Lámina de reposición

En base a los datos de suelo, de clima y de cultivo (Cuadro 3, 4), se calculó la lámina de reposición, usando 15% de agotamiento permisible para los dos métodos de goteo y 30% para el de micro aspersión. Esta lámina se modificó al fijar el intervalo de riego (un día para goteo y dos días para microaspersión)

#### 3.4.2.2. Caudales de aplicación

El caudal nominal elegido para el funcionamiento de los goteros del método regulador y rocío fué de 2 l/h; pruebas realizadas previamente dieron la idea de la descarga que debían tener los goteros de manera que fuera cercano a dicho caudal.

El caudal promedio de aplicación de los emisores se determinó por el método volumétrico, la determinación de dicho caudal se llevó a cabo mediante el aforo de los goteros del cuarto inicial y final de los laterales, durante dos minutos; para lo cual se usaron pluviómetros (Cuadro A-4, 5).

En cuanto al método pariposa, el caudal de aplicación se determinó promediando la descarga obtenida a partir del aforo de los emisores, que se realizó en dos ocasiones, mediante el uso de baldes y bolsas plásticas en un tiempo de 10 segundos.

#### 3.4.2.3. Presión de operación

En los métodos de goteo se trabajaba con presiones tan bajas que no podían ser registradas con manómetro; por lo cual la presión de operación se determinó con un piezómetro; éste se colocó en el gotero de la parte media de cada uno de los laterales y por medio de la valcula de control (Fig. 6) se pro

porcionó la presión requerida de manera que dichos goteros -  
dieran el caudal de aplicación.

En el método mariposa, sin embargo, se utilizó un manóme-  
tro, ya que las presiones medidas eran relativamente altas e  
imposibilitaba el uso de piezómetros.

En este caso se colocó el manómetro en la entrada de cada  
lateral y en el punto de conexión de cada emisor, con la vál-  
vula de control se le proporcionó la presión necesaria para la  
adecuada distribución del agua.

Además se determinó las presiones mínimas y máximas de tra-  
bajo. Para los dos métodos de goteo se consideró como presión  
mínima aquella donde el gotero de la posición más alejada de -  
la entrada del agua diera el caudal de aplicación; y la pre-  
sión máxima aquella con que los goteros no fueran expulsados de  
la tubería.

En el caso del método mariposa se consideró como presión  
mínima la que produjo el giro del emisor con una velocidad que  
permitió la distribución adecuada del agua sobre el terreno.  
La presión máxima medida fué la que permitió que el emisor no  
fuera lanzado de su conexión con el lateral.

#### 3.4.2.4. Eficiencia de aplicación

En los tres métodos de riego la eficiencia se determinó -  
mediante la ecuación :

$$E_f = \frac{ATD}{AES} \times 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde : Ef = Eficiencia de riego

ATD = Agua total descargada, obtenida multiplicando el caudal de aplicación del emisor por el número de emisores totales en la parcela.

AES = Agua que entra al sistema, obtenida a partir del aforo del caudal de entrada al múltiple.

#### 3.4.2.5. Uniformidad de emisión

Esta característica se determinó únicamente para el método regulador y rocío mediante la ecuación.

$$EU = q_n/q_a \times 100 \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde :

EU = Uniformidad de emisión

qn = Descarga promedio de goteros del cuarto inferior de todos los laterales.

qa = Descarga promedio de todos los goteros, es decir, el caudal de aplicación.

#### 3.4.2.6. Tiempo de aplicación (ta)

Los tiempos de aplicación fueron determinados para la fase fenológica de mayor uso consuntivo de la planta. Para el método regulador y rocío, este parámetro se determinó mediante la fórmula :

$$t_a = \frac{v}{q} = \frac{ET_c \times IR \times A}{E_f \times q} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde :  $t_a$  = Tiempo de aplicación (horas)  
 $V$  = Volumen de riego (lts)  
 $ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)  
 $IR$  = Intervalo de riego (días)  
 $A$  = Area por planta ( $m^2$ )  
 $E_f$  = Eficiencia de aplicación (fracción decimal)  
 $q$  = Caudal de gotero (lts/hora)

Sin embargo para el método mariposa, el tiempo de aplicación se determinó por medio de la ecuación :

$$t_a = \frac{V_b}{q'} = \frac{L_r A_h}{E_f x q'} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde :  $t_a$  = Tiempo de aplicación (horas)  
 $V_b$  = Volumen bruto de aplicación (lts)  
 $L_r$  = Lámina de reposición (mm)  
 $A_h$  = Area humedecida por el emisor ( $m^2$ )  
 $E_f$  = Eficiencia de aplicación (fracción decimal)  
 $q'$  = Caudal de aplicación del emisor (lts/hora)

#### 3.4.2.7. Diámetro de humedecimiento

Para determinar este parámetro, se pusieron a funcionar los sistemas sobre el suelo ya preparado, durante el tiempo de aplicación establecido para cada método. Luego, en el caso de regulador y rocío, se procedió a medir con cinta métrica, sobre la superficie del suelo el diámetro de lo humedecido por los goteros, tomando al azar cinco de ellos por cada lateral (Cuadro A-6). Posteriormente se sacó el promedio.

En cuanto al método mariposa se refiere, se midió el alcance del diámetro de mojado; para esto se consideró el área más homogéneamente humedecida. Esta prueba se hizo a dos emisores para el tiempo de aplicación dado; luego se procedió a sacar un promedio.

#### 3.4.2.8. Pluviometría (P)

Esta es una característica medida en el método mariposa; se obtuvo a partir del caudal de aplicación del emisor ( $q'$ ) dividida entre el área humedecida por el mismo ( $A_h$ ).

La ecuación utilizada es :

$$P = \frac{q'}{A_h} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Donde :  $P$  = pluviometría (mm/hora)

$q'$  = Caudal de aplicación del emisor (lts/hora)

$A_h$  = Area humedecida por el emisor ( $m^2$ )

#### 3.4.2.9. Coefficiente de uniformidad

Para el método mariposa se determinó además, el coeficiente de uniformidad, para lo cual se distribuyó en el campo, 28 pluviómetros separados entre sí por 0.5 m, colocándolos en una mitad del área de humedecimiento del emisor (Fig. A-4); su cálculo se hizo mediante la ecuación 2.

El perfil de distribución de agua producida por los emisores se presenta en la Fig. 14.

Para su elaboración, se partió de los datos obtenidos de

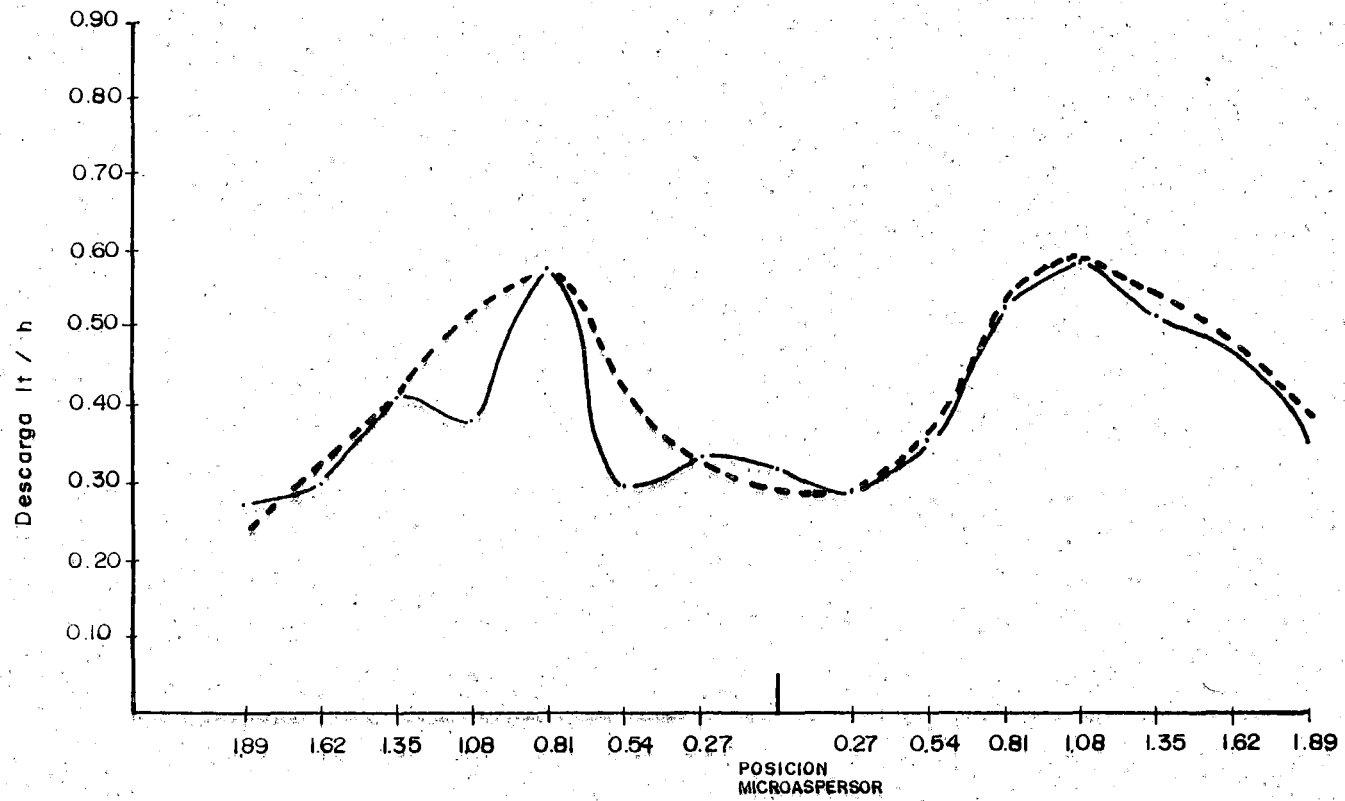


Fig. 14 - Perfil promedio de distribución de agua del microaspirador

- Curva de distribución del agua
- - - Curva suavizada de distribución del agua

la cantidad de agua colectada en los pluviómetros ubicados - en línea recta a ambos lados del emisor (Cuadro A-7).

### 3.4.3. Cultivo

#### 3.4.3.1. Evapotranspiración

Para calcular la evapotranspiración potencial (ETP) se utilizaron los datos de la Estación Meteorológica La Providencia, empleando la fórmula de Hargreaves.

$$ETP = 0.0023 Ra \sqrt{TD} (T^{\circ}C + 17.8) \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde : ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día).

Ra = Radiación extraterrestre (mm/día)

TD = T°máxima media - T°mínima media (°C).

T°C = Temperatura media en (°C) =  $\left(\frac{T^{\circ}\text{Máx} + T^{\circ}\text{Mín.}}{2}\right)$

El coeficiente de cultivo (Kc) por mes, para todo el ciclo vegetativo del cultivo, se obtuvo por el método de la FAO (Fig. 15, 16). La evapotranspiración de cultivo (ETc) se obtuvo mediante la fórmula :

$$ETc = ETP \times Kc$$

Donde : ETc = Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día)

Kc = Coeficiente de cultivo (adimensional)

#### 3.4.3.2. Fecha de floración

La fecha de floración se determinó cuando se observó que un 75% del cultivo estaba en floración.



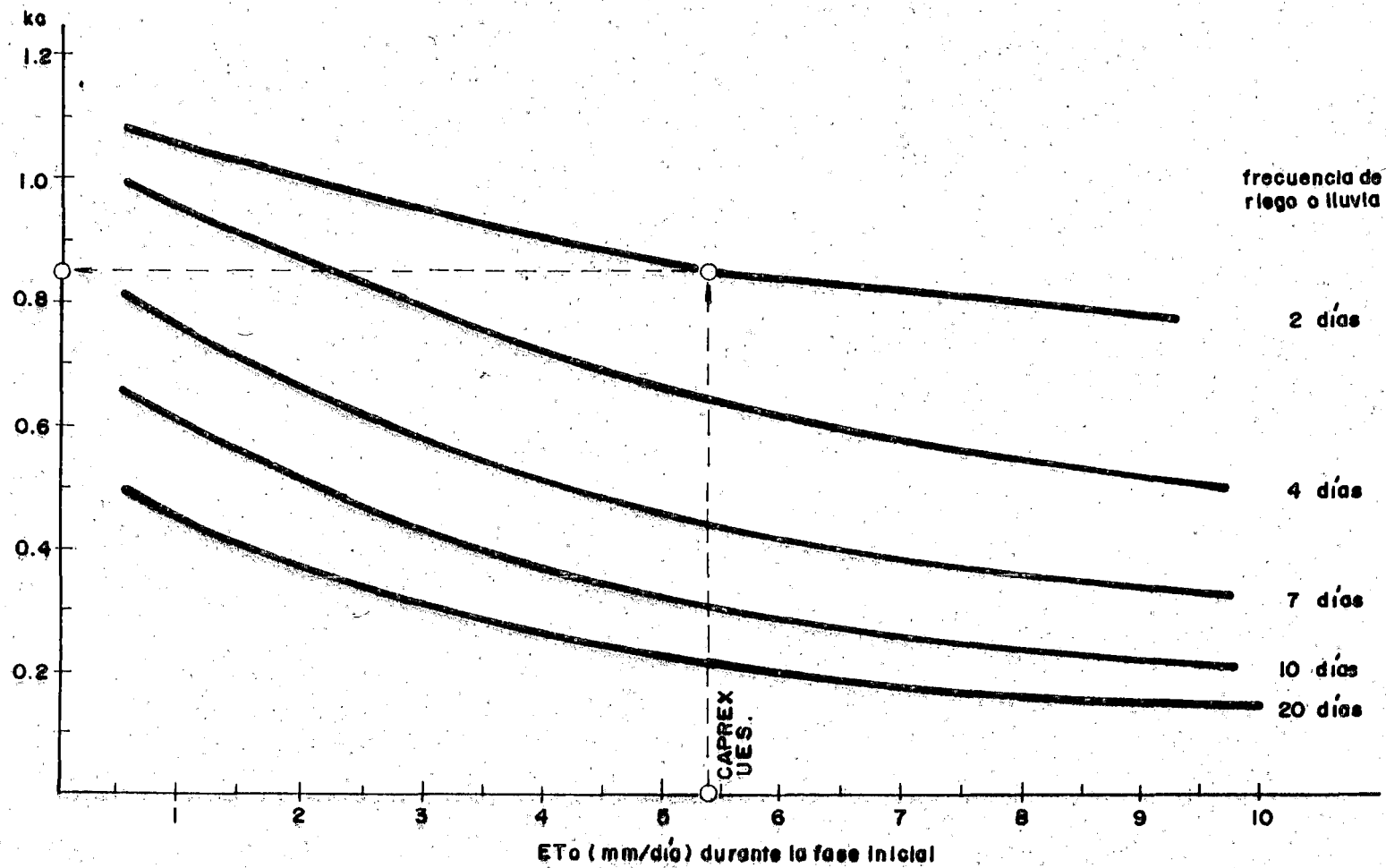


Fig. 15.  $k_c$  medio en la fase inicial, en función del nivel medio de la  $ET_o$  (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego para el cultivo de pepino.

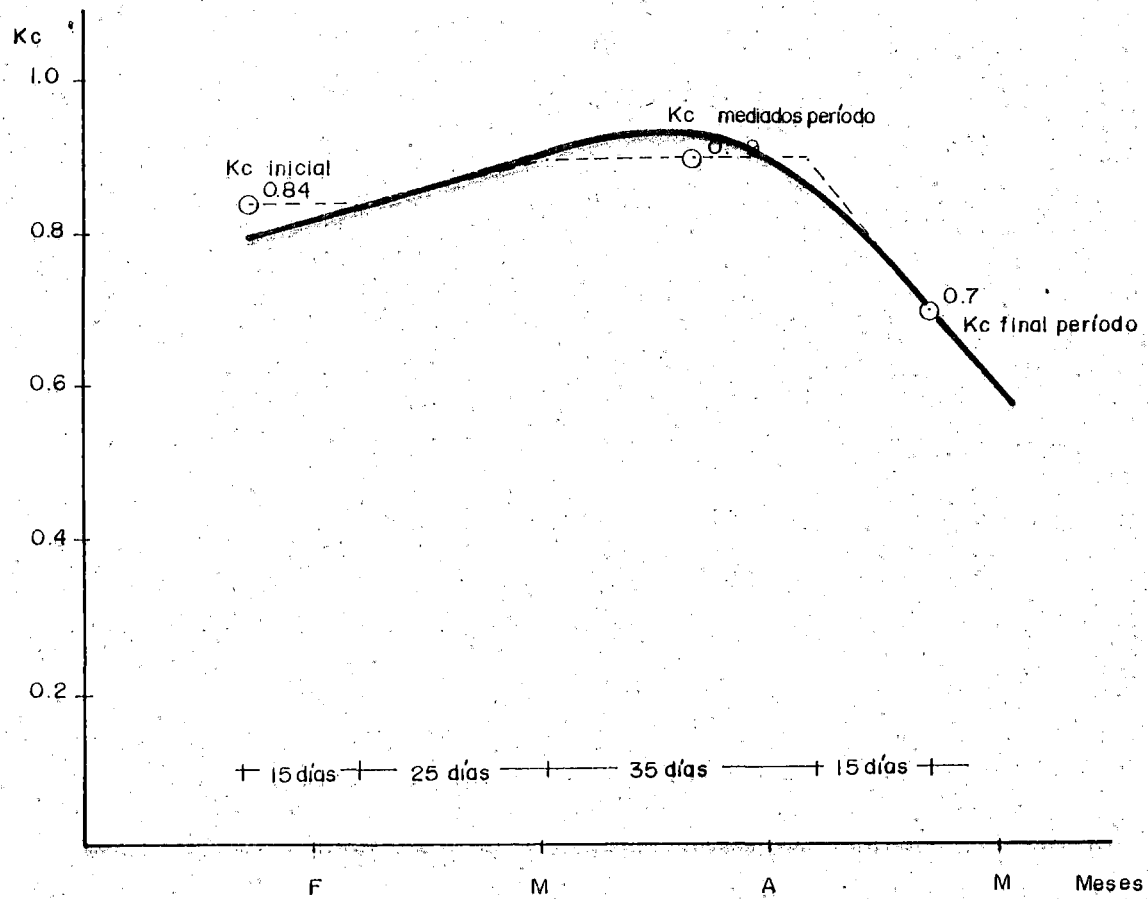


Fig. 16 - Cálculo de Kc para el cultivo de pepino sembrado el 21 de Febrero en San Luis Talpa .

3.4.3.3. Tamaño de la guía al inicio de la floración

El tamaño de las guías se midió en aquellas plantas que fueron previamente seleccionadas al azar y marcadas dentro de cada parcela de muestreo para cada método; para dicha medición se utilizó una cinta métrica.

3.4.3.4. Presencia de malezas

La presencia de malezas se consideró por apreciación visual en cada método, observando los siguientes criterios :

- Poca incidencia : Cuando ésta se desarrolla principalmente alrededor de la planta.
- Incidencia intermedia : Es cuando las dos terceras partes del entresurco se recubren de malezas.
- Alta incidencia : Cuando todo el entresurco se cubre de malezas.

3.4.3.5. Longitud del fruto

Este parámetro se determinó, midiendo la longitud de todos los frutos cortados en las parcelas de muestreo, en cada cosecha realizada y al final se sacó el promedio.

3.4.3.6. Producción

Para calcular la producción en cada método, se consideró la parcela útil, que es el área de donde se obtiene la infor-

mación, a la que se ha eliminado los bordes laterales y de cabecera para obtener datos más representativos, además se le quitó el porcentaje de frutos dañados por enfermedades, insectos y pérdidas de plantas.

Para determinar la producción de la parcela útil, se promedió el número de frutos por planta dentro de cada parcela de muestreo, después se multiplicó por el número de plantas existentes dentro de la parcela útil.

Los frutos fueron clasificados en la, 2a, y 3a. clase tomando en consideración las demandas del mercado interno, para lo cual se definen como pepinos de la. clase aquellos que miden más de 18 cm de largo y sin deformaciones, enfermedades ni daños por insectos; 2a. clase, los que midieron menos de 18 cm y más de 14 cm de largo, aquí se acepta alguna deformación, y de 3a. los que tienen una longitud menor o igual a 14 cm de largo, deformes.

#### 3.4.3.7. Costos de producción

Para determinar los costos de producción del cultivo se han considerado los valores de adquisición de los insumos, uso de maquinaria y de mano de obra (Cuadro A-9).

#### 3.4.3.8. Valor de la producción

Cada una de las clases se vendió a un precio diferente en el mercado, éstos fueron obtenidos mediante cotizaciones de -

precios al productor en algunos mercados de San Salvador.

El precio unitario multiplicado por las unidades de cada clase, nos determinó el valor total de la producción para cada método.

#### 3.4.4. Metodología estadística

Con el propósito de conocer cual de los tres métodos de riego empleados resulta mejor, se utilizó el análisis estadístico para compararlos entre sí, por medio de la producción.

##### 3.4.4.1. Diseño estadístico

El diseño estadístico utilizado fue el de bloques al azar con cinco repeticiones. Debido a la naturaleza del trabajo, se utilizó un arreglo especial de este diseño (Fig. 17), ya que es el que mejor se adecúa a las condiciones imperantes, no obstante la eficiencia del diseño con este arreglo, es menor.

En los casos donde se encontró diferencia estadística significativa, se empleó la prueba de la diferencia mínima significativa (D.M.S.), para determinar el mejor tratamiento, mediante la ecuación :

$$DMS : Tt \times \sqrt{\frac{CME \times 2}{n}} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde : DMS : Diferencia mínima significativa

Tt : t de tablas

CME : Cuadrado medio del error experimental

n : Número de repeticiones.

### 3.4.4.2. Modelo estadístico

La expresión matemática que representa el diseño de bloques al azar es la siguiente :

$$Y_{ij} = U + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde :  $i = 1, 2, \dots, a.$

$j = 1, 2, \dots, b.$

$Y_{ij}$  = Es la respuesta observada en cualquier unidad experimental o celda.

$U$  = Es la media del experimento.

$B_j$  = El efecto de cualquier bloque  $j$ .

$E_{ij}$  = Error experimental en la celda  $(i, j)$ .

### 3.4.4.3. Distribución estadística

Las fuentes de variación para el diseño de bloques al azar se presentan en el Cuadro siguiente :

Cuadro 2. Distribución estadística del error experimental.

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Repeticiones	4
Tratamientos	2
Error	8
Total	14

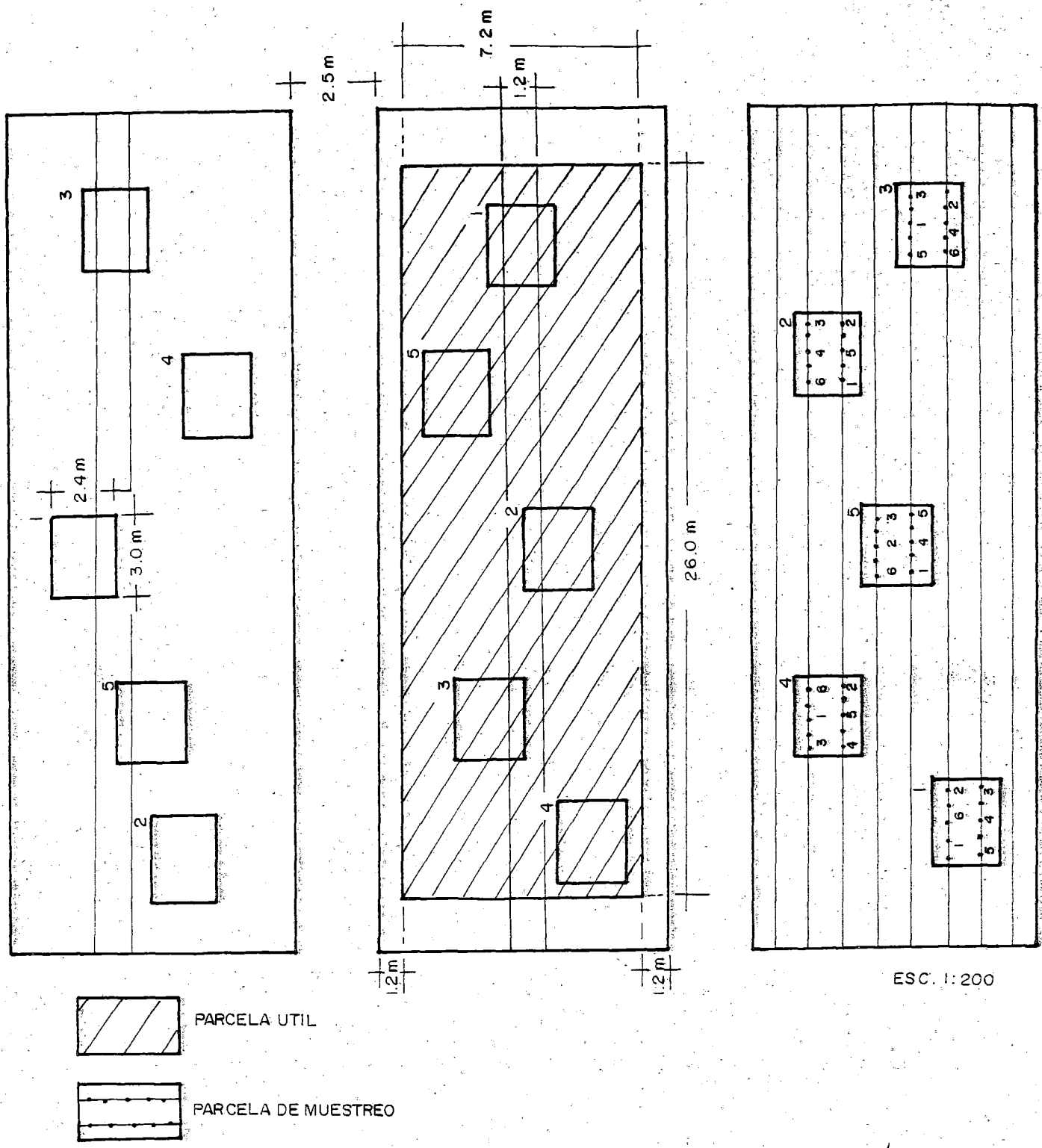


Fig. 17.- Parcela útil, parcela de muestreo; su dimensionamiento y distribución de tratamientos en el campo.

#### 3.4.4.4. Factor en estudio

Hubo un solo factor que fué el riego no convencional, se trabajó con tres tratamientos : Método de riego regulador, método de riego rocío, y método de riego mariposa; utilizando cinco repeticiones por cada uno. La distribución en el campo de los tratamientos y las repeticiones se presentan en la Figura 17.

#### 3.4.4.5. Tamaño de las parcelas

Dentro de las parcelas de cada tratamiento ( $300 \text{ m}^2$ ), se delimitó una parcela útil de  $187.2 \text{ m}^2$  (7.2m ancho por 26 m largo), en la que se distribuyeron al azar 5 parcelas de muestreo de 2.4 m ancho por 3 m largo ( $7.2 \text{ m}^2$ ) (Fig. 17).

#### 3.4.4.6. Parámetros evaluados

Los parámetros que se evaluaron fueron :

- i) Tamaño de la guía al inicio de la floración por cada repetición.
- ii) Longitud de frutos por repetición.
- iii) Número total de frutos en cada una de las repeticiones.
- iv) Número de frutos de primera, segunda y tercera clase por repetición.



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Generalidades

Para cumplir con todo lo propuesto, se realizaron diferentes evaluaciones, las cuales enmarcan los resultados en tres categorías.

#### 4.1.1. Información básica

Esta comprende : a) las características de suelo como son : densidad aparente, humedad a capacidad de campo y punto permanente de marchitez; y b) las características agroclimáticas, entre las que se mencionan : evapotranspiración potencial, coeficiente de cultivo y la evapotranspiración de cultivo.

#### 4.1.2. Características independientes

Esta categoría comprende los resultados que de acuerdo al alcance del estudio no se incluyen dentro de un análisis estadístico. Estos presentan la cualidad de ser propios para cada método de riego ya que son respuestas a las condiciones de diseño. El fin es conocerlas para proponer formas de uso para cada caso.

A esta categoría pertenecen tres clases de evaluaciones :

i) Evaluación hidráulica. La cual comprende la presión de operación, pérdidas de presión, lámina de riego, caudal de

aplicación, uniformidad de emisión, pluviometría, diámetro superficial del bulbo de humedecimiento, alcance superficial del diámetro de mojado, eficiencia de riego, tiempo de aplicación, intervalo de riego, otros.

ii) Evaluación agronómica. Comprende la observación de los días a la floración y la presencia de malezas.

iii) Evaluación económica: Incluye los costos de irrigación, costos de producción y el valor de la producción.

#### 4.1.3. Variables respuestas

Está constituido por los resultados con análisis estadístico. Estas muestran la respuesta del cultivo a las condiciones de trabajo, es decir son un efecto de los componentes hidráulicos de las características independientes y representan la forma de evaluar la efectividad de cada método.

Prácticamente a esta categoría pertenecen sólo datos de la evaluación agronómica como son : Longitud promedio de guía, número de unidades totales producidas, número de unidades de primera, segunda y tercera clase y longitud promedio de frutos.

#### 4.2. Información básica

##### 4.2.1. Características de suelo

De las pruebas de laboratorio realizadas para determinar las propiedades físicas del suelo: Densidad aparente, humedad a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente,

y después de ejecutados los cálculos respectivos, los resultados obtenidos en cada caso son presentados en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características físicas de suelo obtenidas para tres profundidades y el promedio de éstos.

Estrato (cm)	CARACTERISTICAS DEL SUELO			
	b (gr/cc)	$\theta_{vcc}$ (%)	$\theta_{vpmp}$ (%)	C.R. (cm/m)
Estrato A :				
0-15	1.071	34.1	18.12	15.98
Estrato B :				
15-30	1.176	38.53	21.95	16.58
Estrato C :				
30-45	1.161	39.02	24.15	14.87
PROMEDIO	1.136	37.22	21.41	15.81

b = Densidad aparente.  $\theta_{vcc}$  = Humedad volumétrica a capacidad de campo.  
 $\theta_{vpmp}$  = Humedad volumétrica a punto de marchitez permanente.  
C.R. = Capacidad de retención.

#### 4.2.2. Características agroclimáticas

Los datos obtenidos de las características agroclimáticas para las diferentes etapas fenológicas del cultivo se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Características agroclimáticas de la zona de ubicación del ensayo para el cultivo de pepino.

MES	ETP (mm/día)	Kc <sup>1/</sup>	Etc (mm/día)
Febrero	4.90	0.83	4.07
Marzo	5.32	0.86	4.57
Abril	5.40	0.90	4.36
Mayo	4.70	0.81	3.81

<sup>1/</sup> Adimensional. Valor obtenido con el uso de las Fig. 15 y 16 y Cuadro A-8.

#### 4.3. Características independientes

##### 4.3.1. Evaluación hidráulica

El resultado de la evaluación de las características hidráulicas se resumen en el Cuadro 5, en donde se presentan: presión de operación, pérdidas promedio de presión en laterales, caudal de aplicación, eficiencia de riego, tiempos de aplicación e intervalo de riego para los tres métodos; uniformidad de emisión, diámetro superficial del bulbo de humedecimiento para los métodos regulador y rocío; pluviometría, coeficiente de uniformidad y alcance del diámetro de mojado para el método mariposa.

Los valores medidos de mínima y máxima presión con los cuales fué posible el funcionamiento de cada método de riego, bajo las condiciones dadas de trabajo se presentan en el Cuadro 5.

Las pérdidas de presión producidas en cada lateral para los tres métodos se presentan en el Cuadro A-10.

En cuanto a caudales se refiere, los valores obtenidos del aforo para determinar los caudales de entrada al múltiple y caudales de descarga del sistema de tuberías en cada método de riego, se presentan en Cuadro 5.

La descarga de cada lateral y el caudal de aplicación promedio de goteros por lateral, así como la descarga de los microaspersores se presenta en el Cuadro A-11.

En los métodos regulador y rocío el diámetro en la superficie del suelo del bulbo de humedecimiento en el primer riego y el ancho de la faja humedecida a partir del tercer riego, se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Características hidráulicas presentadas por los métodos de riego regulador, rocío y mariposa en pruebas realizadas en la Estación Experimental en la fecha comprendida entre 21 de febrero al 23 de abril de 1992.

Características hidráulicas	M. Regulador	M. Rocío	M. Mariposa
- Caudal de aplicación del emisor	2.3 l/h	2.16 l/h	859.2 l/h
- Caudal de entrada al múltiple	1353 l/h	1366.0 l/h	3978 l/h
- Caudal de descarga total	1103.4 l/h	1036.8 l/h	2517.6 l/h
- Presión de operación	1.0 mca	2.0 mca	10 mca
- Presión mínima	0.15 mca	1.7 mca	8 mca
- Presión máxima	4 mca	10 mca	15 mca
- Pérdidas promedio de presión en laterales	0.28 mca	0.38 mca	0.5 mca
- Uniformidad de emisión	98.7 %	82.8 %	-
- Pluviometría	-	-	75.8 mm/h
- Coeficiente de uniformidad	-	-	76.5 %
- Diámetro superficial del bulbo de humedecimiento.	0.354 m	0.397 m	-
- Ancho de la faja humedecida	0.55 m	0.59 m	-
- Alcance del diámetro del mojado	-	-	3.8 m
- Eficiencia de riego	81.5 %	75.9 %	64.8 %
- Tiempo de aplicación	2 horas	2 horas	0.25 horas
- Intervalo de riego.	1	1	2

#### 4.3.2. Evaluación agronómica

En esta evaluación se incluyen los datos de presencia de malezas y días a floración que se detectaron en las parcelas de cada método de riego, los cuales se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Días a floración e incidencia de malezas presentadas en los tres métodos de riego evaluados.

PARAMETRO	M E T O D O		
	Regulador	Rocío	Mariposa
Días a la floración	30	30	32
Incidencia de malezas	Poca	Intermedia	Alta

Es importante destacar, que en el método Regulador y Rocío la incidencia de malezas se dió más que todo en una franja muy cerca al surco, mientras que en el método mariposa, la maleza cubría, además, los entresurcos. Las malezas encontradas fueron : Verdolaga (Portulaca oleracea), Coyolillo (Cyperus sp.), Arroz (Oryza sativa) y golondrina (Euphorbia hirta).

#### 4.3.3. Evaluación económica

En el Cuadro 7 se muestran los costos de irrigación, producción; así como el valor de la producción por parcela útil y por hectárea para cada método de riego.

Cuadro 7. Costos de irrigación para parcela tipo (1 ha); costos de producción y valor de la producción por área útil y por hectárea.

D E T A L L E	REGULADOR	ROCIO	MARIPOSA
Costos irrigación para parcela tipo (ha)	21,805.98	21,772.89	22,836.79
Costos producción/parcela	263.86	265.92	269.63
Costos de la producción/ha	8,795.33	8,864.00	8,987.67
Valor de la producción 1a. clase*			
Parcela útil	∅ 857.7	∅ 1,059.60	∅ 815.10
Hectárea	∅ 45,817.20	∅ 56,602.00	∅ 43,541.70
Valor de la producción 2a. Clase**			
Parcela útil	∅ 824.50	∅ 1,054.25	∅ 743.25
Hectárea	∅ 44,043.75	∅ 56,316.75	∅ 39,703.50
Valor de la producción 3a. clase***			
Parcela útil	∅ 50.5	∅ 56.8	∅ 91.7
Hectárea	∅ 2,697.60	∅ 3,034.20	∅ 4,898.50
Valor de la producción total			
Parcela útil	∅ 1,732.70	∅ 2,170.65	∅ 1,650.05
Hectárea	∅ 92,558.55	∅ 115,953.45	∅ 88,143.7

\* : Precio al productor : ∅ 0.30/Unid.  
 \*\* : : ∅ 0.25/Unid.  
 \*\*\* : : ∅ 0.10/Unid.



El detalle de los costos de producción considerado por el área de tratamiento (300 m<sup>2</sup>), para cada método, se presentan en el Cuadro A-9; los costos de irrigación se detallan para una parcela tipo de 1 hectárea en el Cuadro A-12.

#### 4.4. Variables respuestas

##### 4.4.1. Evaluación agronómica

Los valores medios de longitud promedio de guías, longitud promedio de frutos; así como el número de unidades total producidas, número de unidades de 1a, 2a, y 3a, clase, tanto por parcela útil como por hectárea, se presentan en el Cuadro 8.

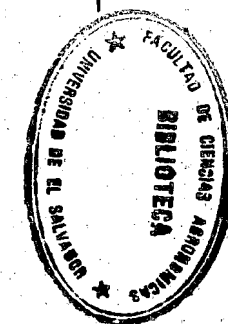
Al someter estas variables al análisis estadístico se determinó que por parcela útil el tamaño de guías al inicio de la floración no mostró diferencia significativa para los tres métodos de riego (Cuadro A-13, 14).

En cuanto al número de unidades totales mostró diferencia altamente significativa entre tratamientos (Cuadro A-13, 15). La prueba D.M.S. mostró que el tratamiento T<sub>2</sub>, correspondiente al método rocío, fué el mejor (Cuadro A-15).

El número de frutos de primera clase tampoco mostró estadísticamente diferencia entre tratamientos (Cuadro A-13, 17); sin embargo, para el número de frutos de 2a. clase el análisis de varianza sí mostró diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro A-13, 18) y con la prueba de D.M.S. se encontró -

CCuadro 8. Variables respuesta de evaluación agronómica en cada método de riego empleados, por parcela útil y por hectárea.

CARACTERISTICAS VARIABLES	REGULADOR	ROCIO	MARIPOSA
Tamaño promedio de guía	1.21 m	1.36 m	1.33 m
Producción total : Parcela útil	19.03 qq	23.76 qq	18.88 qq
Por hectárea	1016.80 "	1269.38 "	1008.40 "
Número de frutos de primera : Por parcela	8.17 "	10.09 "	7.76 "
Por hectárea	436.35 "	539.07 "	414.68 "
Número de frutos de segunda : Parcela útil	9.42 "	12.05 "	8.49 "
Por hectárea	503.35 "	643.62 "	453.75 "
Número de frutos de tercera : Parcela útil	1.44 "	1.62 "	2.62 "
Por hectárea	77.07 "	86.69 "	139.96 "
Longitud promedio de frutos	17.45 cm	17.77 cm	17.65 cm
Diámetro promedio de frutos	53.06 mm	53.25 mm	52.68 mm



que el mejor tratamiento fué el T<sub>2</sub> (método Rocío). (Cuadro A-18).

Finalmente para el número de frutos de tercera clase no se encontró diferencia significativa entre tratamientos al aplicar el análisis de varianza. (Cuadro A-13, 19).

## 5. DISCUSION DE RESULTADOS

Las investigaciones que se realizan sobre sistemas de riego orientan toda su actividad a una mayor sofisticación de éstos, lo cual lleva consigo un mayor costo de adquisición de los mismos. Para el país, esta situación introduce una limitante en el uso de sistemas de riego ya que pocos agricultores están en las condiciones de adquirirlos y adoptarlos.

El presente trabajo ha tenido como objetivo la búsqueda de nuevos aplicadores de agua, de tal forma, que aparte de reducir los costos del sistema de riego, resulten eficientes y fácil de operar.

Para poder hacer la evaluación de estos aplicadores es importante contar con cierta información básica consistente en características de suelo, de cultivo y de clima.

### 5.1. Información básica

Las características de suelo : Humedad a capacidad de campo a punto de marchitez permanente y la capacidad de retención, así como la densidad aparente; se determinaron para diferentes sitios, con el objeto de contar con datos más representativos del área de ensayo (Cuadro 3). Las características de cultivo así como las climáticas agrupadas en las características agroclimáticas (Cuadro 4), se obtuvieron para poder calcular en combinación con los anteriores, las cantidades de agua necesarias (lámina de riego), la frecuencia y duración -

de aplicación, para llenar las necesidades hídricas del cultivo en sus diferentes fases. Por razones prácticas de manejo se utilizaron únicamente los datos de la fase fenológica de mayor uso consuntivo.

El factor MAD (fracción de agotamiento permisible), utilizado en el caso de goteo fué el 15%, ya que en este caso se recomienda usar valores que oscilan entre el 10% - 20%; sin embargo, para microaspersión se utilizó 30% que es el valor menor del rango que se recomienda para hortalizas (30% - 50%), en sistemas de riego superficiales o móviles de aspersión.

## 5.2. Características independientes

### 5.2.1. Análisis de las características hidráulicas para los tres métodos de riego

#### 5.2.1.1. Caudal de aplicación del emisor

El caudal que aplicarían los emisores, en el caso de los goteros se definió preliminarmente, con base a lo afirmado por Armoni (2), quien recomienda un caudal nominal de 2 l/h para cultivos de campo.

Es de destacar que los goteros del método regulador, permitieron un mejor control sobre su descarga ya que fácilmente pudo regularse el caudal aplicado por medio del regulador de flujo (Fig. 5).

En algunos goteros se presentó el problema de desplazamiento del regulador de flujo al iniciar los riegos, fenómeno oca-

cionado por cambios de consistencia en la manguera aplicado ra debido a la alta temperatura absorbida, sin embargo este problema desapareció al crecer el follaje del cultivo y cubrir los emisores.

Es importante mencionar que no se tuvo problemas de algas a pesar que se dejaron varios aplicadores sin pintar de negro; posiblemente porque estuvieron en la sombra la mayoría de tiempo. Además no hubo problemas de taponamiento a pesar de no usar ningún tipo de filtro lo cual pudo deberse a que no se presentaron problemas de algas y que el orificio de salida permitió una fácil evacuación del agua; esta situación hizo posible que todos los emisores descargaran aproximadamente el mismo caudal, es decir, el caudal de aplicación (3.2 l/h), proporcionándolo a la planta diariamente y en tiempos de 2 horas.

La situación es un poco diferente para los goteros del método rocío, ya que por carecer de un mecanismo regulador, su descarga fué controlada únicamente por medio de la presión suministrada al sistema.

Debido a que existieron diferencias en el diámetro del orificio aplicador (Fig. 7), el volumen de agua aplicado por cada emisor presentó ciertas variaciones, esta situación se corrigió en parte, disponiendo los que poseían el orificio de mayor diámetro al final de la tubería lateral y los de menor diámetro al inicio; no obstante, la disminución en la descarga fué notoria hacia el extremo final

del lateral (Cuadro A-5).

En los riegos iniciales cierto número de goteros presentaron taponamiento debido a que en la instalación del sistema, el alineamiento de los laterales con los surcos; la tubería fué arrastrada sobre el suelo, permitiendo la entrada de partículas de suelo en los orificios aplicadores, lo cual se pudo solventar proporcionando fuertes presiones al poner a funcionar el sistema y/o introduciendo agujas en los orificios.

Solventando los problemas mencionados, los emisores funcionaron normalmente, donde el caudal de aplicación promedio determinado para ellos fué de 2.16 l/h, descargado con una -- uniformidad aceptable; proporcionándolo diariamente y en tiempos de 2 horas.

En el caso del microaspersor, el caudal de aplicación obtenido fué bastante alto 859.2 l/h, lo cual obligó a proporcionarlo por tiempos cortos (15 minutos), ya que su alta intensidad produjo un rápido encharcamiento (intensidad de aplicación mayor que infiltración básica). La capacidad de retención de humedad del suelo hizo posible que la cantidad de agua aplicada en un riego, estuviera disponible para la planta aproximadamente 2 días que fué el intervalo de riego con que se operó - (Cuadro 5).

#### 5.2.1.2. Caudal de entrada al múltiple y descarga total

El objetivo de medir el caudal suministrado a cada método

de riego, es para conocer la cantidad de agua que es necesaria deriva en un tiempo determinado para que los emisores operen adecuadamente con el caudal de aplicación.

El caudal de entrada al múltiple, en los tres métodos de riego, estuvo en función: de la presión suministrada y la cantidad de agua descargada (descarga total).

El caudal de entrada mostró cierta relación directa con la presión, mientras que con las eficiencia, se dió una relación inversa (Cuadro 5).

Por su parte la descarga total, estuvo en función del número de emisores en el campo, ya que es producto de la sumatoria de los caudales de aplicación de cada uno de ellos. Esta variable relacionándola convenientemente con el caudal de entrada permitió conocer la eficiencia de riego.

Debido a que el número de emisores en el campo, determinaron directamente la descarga total y consecuentemente el caudal de entrada al múltiple, es lógico pensar que a mayor caudal nominal del emisor, mayor caudal de entrada al múltiple, como sucedió con el método mariposa; sin embargo, el Cuadro 5 muestra un valor de caudal de entrada inferior para el método regulador comparado con el método rocío, a pesar que los emisores de este último poseen un caudal nominal menor, esto se debe posiblemente a que la eficiencia del método rocío es más baja y además la presión necesaria para hacerlo funcionar adecuadamente sus emisores es mayor.



#### 5.2.1.3. Presión de operación

Las presiones de trabajo observadas muestran como los métodos de goteo en general requieren de presiones bajas para su funcionamiento.

En el método regulador se midió la menor presión de operación (1.0 mca) debido al libre flujo que podía dársele al agua mediante el dispositivo regulador. Para el método Rocío la presión de operación que requiere para su funcionamiento es mayor (2.0 mca), en comparación con el método anterior, esto se debe a la oposición que presenta para la aplicación del agua, el orificio de salida de los goteros.

En el caso del método Mariposa, la presión de operación - de 10 mca es considerablemente alta (Fig. 18), básicamente se debe a la forma en que se aplica el agua, se requiere de presiones relativamente altas para mover los microaspersores (Cuadro A-10).

#### 5.2.1.4. Presión mínima

La mínima presión con la que el método regulador funcionó es 0.15 mca (Fig. 18), es de considerar que el flujo de agua de los goteros situados al final de los laterales debía estar totalmente abierto para que se aplicara el caudal previamente fijado.

En el método Rocío, esta presión se estableció cuando los últimos goteros aplicaban el caudal requerido (2.16 l/h).

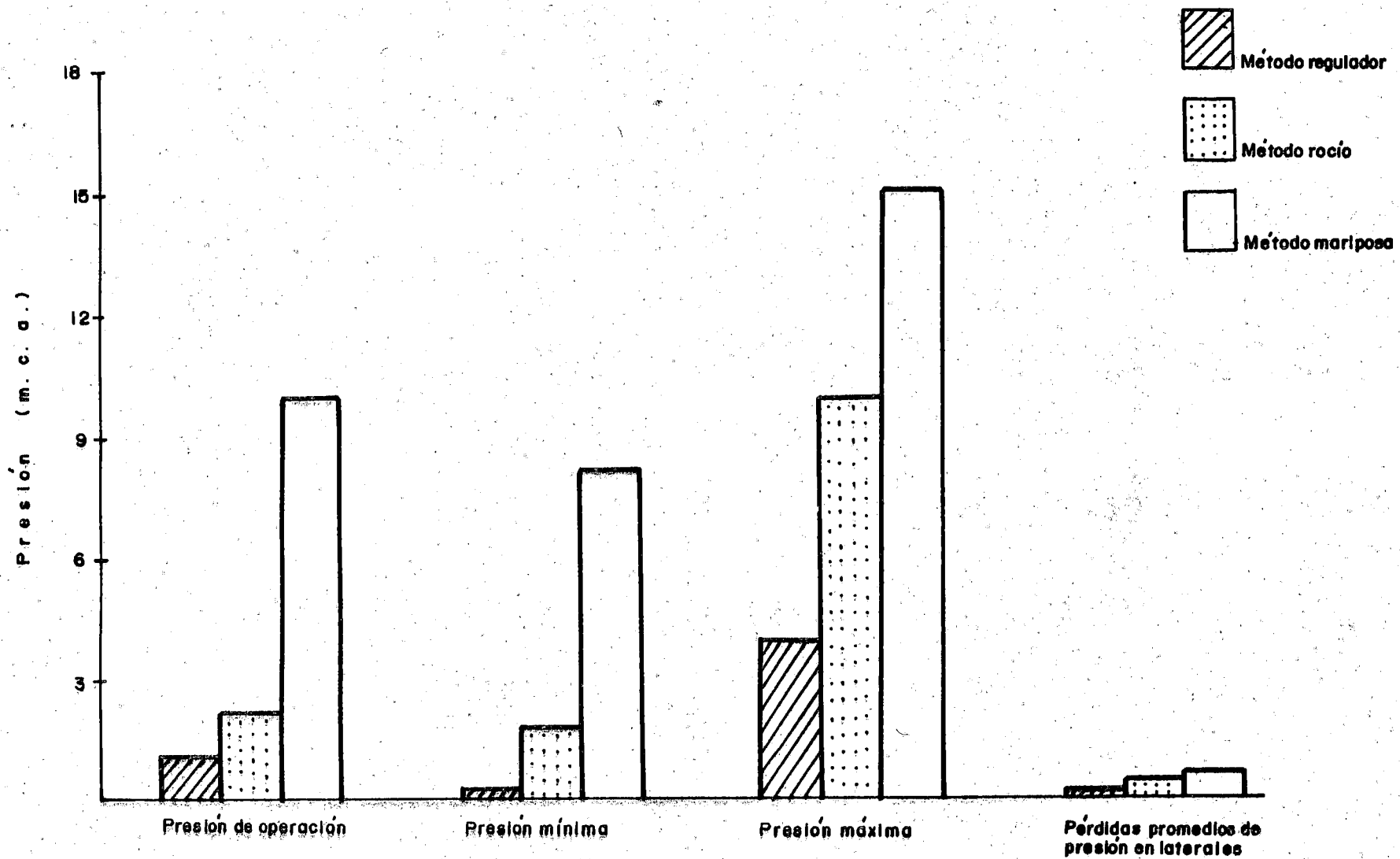


Fig. 18 - Presión de operación; Presión mínima; Presión máxima y Pérdidas promedio de presión en laterales, para los tres métodos de riego empleados.

Esta presión mínima en algún momento podría producir taponamiento en los goteros situados al final de los laterales, especialmente cuando éstos se salpican de tierra y se taponan el orificio.

Una presión mínima de 8.0 m.c.a. fué capaz de mover los microaspersores en el método Mariposa, proporcionando además la descarga necesaria y un patrón de humedecimiento adecuado.

#### 5.2.1.5. Presión máxima

Presiones mayores que 4.0 mca (Fig. 18); en el método regulador pueden separar la cámara de aire del emisor; trabajar con estas presiones resultaría antieconómico en este método - ya que no mejora la aplicación del agua, por la particularidad de poseer regulador de flujo.

Trabajar con la presión máxima en el método rocío (10 mca), es muy problemático, ya que continuamente son expulsados los goteros de la tubería, además por la forma con que los emisores aplican el agua se provoca erosión al pie de la planta descubriendo sus raíces, esto conjugado con el encharcamiento producido, causa gran daño al cultivo.

La presión máxima en el método mariposa (Fig. 18), no varía considerablemente el comportamiento en la distribución del agua sobre el terreno; sin embargo, puede producir en la Mariposa, un desprendimiento del reductor de la Tee en que se acopla.

5.2.1.6. Pérdidas promedio de presión en laterales

Las pérdidas de presión en los laterales producida en el método regulador (0.28 mca), representa las pérdidas por fricción en la tubería y la ocasionada por la inserción de los goteros. Estas pérdidas fueron medidas con una presión de operación de 10 mca.

En el método rocío las pérdidas de presión se debieron, al igual que en el caso anterior, a la fricción en la tubería y a la inserción de los goteros. Se comprobó que el grado de penetración de los goteros en la tubería no es factor influyente en las pérdidas, ya que al observar las pérdidas producidas con los goteros introducidos totalmente no hubo cambios sustanciales en relación a aquellas presentadas con los emisores insertados hasta la mitad. Estas mediciones se hicieron con una presión de operación de 2 mca (Cuadro 5).

En el método mariposa, las pérdidas de presión (Cuadro A-10), son debidas únicamente a la fricción. Al comparar las pérdidas registradas en los otros métodos, ésta es numéricamente mayor. La presión de operación utilizada fue de 10 mca (Cuadro 5).

Al hacer una comparación de las pérdidas registradas en los tres métodos de riego, el método regulador presenta el menor valor (0.28 mca) y el método mariposa el mayor (0.5 mca);

sin embargo, al hacer la misma comparación pero en términos porcentuales en función de la presión de operación de cada método; el menor valor lo presenta el método mariposa (5%) y el mayor lo presenta el método regular (28%); el método - rocío presenta un 19%. Esta situación muestra una relación inversa entre las pérdidas y la presión de operación.

Si se toma en consideración el criterio que existe en riego convencional de que las pérdidas de presión no deben sobrepasar el 20% de la presión de operación en un lateral, el método regulador presentará esa desventaja; sin embargo en este caso el criterio no es aplicable ya que los goteros pueden dar el caudal de aplicación aún con presiones muy bajas, sólo basta manipular su regulador de descarga.

En general en cuanto a presión de refiere, los métodos de goteo requieren de presiones bajas; además no requieren el uso de equipo de filtrado, lo cual vuelve estos métodos más ventajosos ya que existe un ahorro en cuanto a costos - de equipo de bombeo, uso de energía se refiere.

#### 5.2.1.7. Uniformidad de emisión (U)

La uniformidad de emisión, entre los dos métodos de riego por goteo empleados, resultó un tanto diferente, correspondiendo el mayor valor al método regulador (98.7%), lo cual

se debió a la cualidad que poseen los emisores de este método, de poder regularse manualmente la descarga en cada uno, por consiguiente la variación de aplicación entre ellos fué mínima (Cuadro A-4).

En el caso del método rocío, la uniformidad de emisión resultante fué de 82.8%, bastante menor a la anterior; pero dentro de límites aceptables para ser un método artesanal; sin embargo en los métodos convencionales se acepta como valor óptimo 94% (15).

La baja uniformidad de emisión presentada por el método rocío se debió a las variaciones del caudal de aplicación entre emisores, lo cual fue más notorio entre el primero y el último gotero del lateral (Cuadro A-5). Esta situación se produjo por la diferencia en el diámetro del orificio - aplicador y por las diferencias de presión a lo largo de los laterales (Cuadro A-10).

#### 5.2.1.8. Pluviometría

La pluviometría es una característica determinada únicamente para el método mariposa, resultando un valor muy alto (7.58 cm/h) que sobrepasó grandemente la infiltración básica del suelo, debido a la alta intensidad de aplicación del emisor como producto de ser una estructura artesanal.

Esta situación hizo necesario que los tiempos de aplicación fueran pequeños, con el objeto de evitar grandes encharcamientos.

5.2.1.9. Coefficiente de uniformidad (CU)

La forma de distribuir el agua por parte del microaspersor, produjo un valor de coeficiente de uniformidad aceptable (76.5%), aunque si bien es cierto, que es un poco menor al recomendado para métodos convencionales (83% mínimo) -- (27), el humedecimiento del suelo fué completo y uniforme.

5.2.1.10. Diámetro superficial del bulbo de humedecimiento

El diámetro en la superficie del bulbo de humedecimiento como respuesta, más que todo, a la forma de aplicar el agua por parte del emisor, resultó ser mayor en el método Rocío ya que los emisores lanzaban el agua horizontalmente al suelo cubriendo una mayor área; contrario a esto sucedió en el método regulador, donde el agua se aplicaba gota a gota en un solo punto, produciendo un bulbo de menor diámetro; aunque con un caudal de aplicación mayor (Cuadro 5).

5.2.1.11. Ancho faja humedecida

Esta es una característica propia de los métodos Regulador y Rocío ya que la faja húmeda es producto de la fusión de los bulbos de humedecimiento de cada uno de los goteros. Como es de esperarse el ancho mayor se presentó en el método Rocío, por el mayor diámetro de los bulbos; esto propició un mayor desarrollo radicular de las plantas, pero también ma-

yor presencia de malezas (Cuadro 5, 6).

#### 5.2.1.12. Alcance del diámetro de mojado

El diámetro de mojado, se consideró como el área más homogéneamente humedecida por la mariposa al esparcir el agua, resultando este diámetro de 3.8 m, trabajando con una presión de 10 m.c.a., ya que con menos presión el diámetro se reducía. Las pruebas realizadas para determinar el patrón de humedecimiento, demostraron que, éste cumple con el patrón característico de un microaspersor (Fig. 14) por tanto se trabajó sin traslape entre sus diámetros de mojado.

#### 5.2.1.13. Eficiencia de riego

La eficiencia de riego es un parámetro por medio del cual se relacionó la cantidad de agua descargada por el sistema y la cantidad que entra al mismo, con el objeto de conocer la eficiencia de aplicación del agua de cada método.

En términos de costo de operación de un sistema de riego, la eficiencia sirve para hacer una estimación en cuanto a lo más caro o barato que puede resultar un método de riego por su mayor o menor gasto de agua, ya que hay entre eficiencia y costo una relación inversa (Cuadro 5).

Por lo general la eficiencia de riego en microaspersión y goteo convencionales, son similares y andan alrededor del 90% (27, 36); sin embargo, las obtenidas para los métodos -



evaluados son más bajas, pero dentro de lo aceptable. En el Cuadro 5 se observa que la eficiencia más baja la presentó el método mariposa (64.8%), debido a que por ser el emisor una estructura artesanal hay más desperdicio de agua, también necesita más agua para funcionar adecuadamente.

En el caso de los métodos de goteo, fué el de rocío el que presentó la menor eficiencia (75.9%) debido a que no existe control sobre el agua aplicada por los emisores dándose pequeñas pérdidas en muchos de ellos.

En el caso del método regulador, a pesar de que el caudal de aplicación del emisor fué mayor (por consiguiente descarga total mayor), el caudal que necesita el sistema para el normal funcionamiento de los emisores, fué menor, esto lógicamente conllevó a una mejor eficiencia (81.5%). La explicación de lo anterior se encuentra en la facilidad con que el agua es descargada por los goteros y la uniformidad de emisión que este método posee.

#### 5.2.1.14. Tiempo de aplicación (Ta)

Para la aplicación de las cantidades de agua requerida por el cultivo, se hizo necesario calcular los tiempos de aplicación, considerando para ello, características agroclimáticas y de operación como: intervalos de riego, caudal de aplicación del emisor, eficiencia de riego, lámina de riego, El valor de Ta obtenido a partir de los cálculos se aproximó

a un tiempo más factible de ser manejado para garantizar - uniformidad en los riegos.

El tiempo de aplicación dió la idea del tiempo que debería operar el sistema en cada riego para que los emisores a través de su caudal de aplicación (Cuadro 5), cumplieran con la lámina de riego y llenar las necesidades de las plantas. De esta manera el tiempo de aplicación resultante para el método regulador, rocío y mariposa fueron respectivamente : 1.6 horas, 1.79 horas y 0.20 horas; los cuales se redondearon, a 2 horas en los primeros dos casos y a 0.25 horas el último con el objeto de dar un mejor manejo en las aplicaciones del agua. Este arreglo es factible hacerlo porque los cálculos matemáticos sólo proporcionan un acercamiento al valor real.

Es importante mencionar que con base a recomendaciones prácticas de manejo y buscando facilitar lo más posible la operación; los intervalos de riego se fijaron a priori en un día, para los métodos regulador y rocío, y a dos días para el mariposa; por tanto la lámina de riego quedó en función de la evapotranspiración de cultivo (ETc) y del intervalo de riego; por lo que para los primeros dos métodos fué de 4.86 mm/día y para el método mariposa fué de 9.72 mm/riego, es decir, el doble por ser aplicada cada dos días.

## 5.2.2. Análisis de los resultados agronómicos

### 5.2.2.1. Días a floración

El inicio de la floración del cultivo bajo los tres métodos de riego usados, concuerda con los presentados por Bernal (3), ya que muestra un rango de días post-siembra de inicio a la floración de 27-34 días, y en este caso dicho fenómeno se dió a los 30 días después de la siembra para los dos métodos de goteo, y a a los 32 días para el de microaspersión.

La diferencia de dos días mostrada entre los métodos de goteo y microaspersión se debió posiblemente, a un retraso en la germinación y desarrollo inicial de las plantas debido al descubrimiento de las semillas por el impacto de las gotas y al daño ocasionado a las plántulas al cambiar de posición los emisores, además por contar estas plantas con una mayor área humedecida desarrollaron mayor cantidad de ramales y hojas de mayor tamaño, factor que pudo influir también en el retraso en la floración.

### 5.2.2.2. Incidencia de malezas

La cantidad de malezas que se presentó en las parcelas, respondió principalmente a la forma de distribución del agua de los emisores; esta consideración facilita el comprender por qué el método Regulador, a pesar de contar con un caudal de aplicación mayor que el de Rocío, presentó menor inciden-

cia de malas hierbas, ya que la aplicación de agua de sus emisores es bien localizada, mientras que en el método Rocío el agua es descargada en forma de chorro humedeciendo una mayor área.

Dado que en el método Mariposa todo el área de la parcela se humedecía, fué donde se presentó una mayor incidencia de malezas.

### 5.2.3. Evaluación económica

#### 5.2.3.1. Costos de irrigación

En lo que se refiere a los costos de irrigación para la parcela tipo, los métodos Regulador y Rocío requieren de mayores inversiones que en el método Mariposa, especialmente en cuanto a tubería de poliducto de 1/2" Ø (¢ 5,040.00 en Regulador y Rocío; ¢ 1,497.60 en método Mariposa) este si bien es cierto demanda menos tubería lateral y accesorios (Cuadro A-12); demanda también mayor potencia en su equipo de bombeo para su funcionamiento, en consecuencia hay más gasto de energía; la mano de obra para su operación es considerablemente más elevada que en los otros (22 d-h en Regulador y Rocío; 100.5 d-h en Mariposa); esto se debe al manejo de los laterales en este método; lo anterior incrementa los costos de operación, que lo hace al final más costoso (Cuadro A-12).

#### 5.2.3.2. Costos de producción

El establecimiento y manejo del cultivo dentro de cada método de riego, difiere en el control de malezas, encontrándose que el que requirió de mayor cantidad de mano de obra para dicha actividad fué el método Mariposa (Cuadro A-9), - por tener mayor incidencia de malezas, como producto del humedecimiento de toda el área; los costos de producción/ha para éste, fué por lo tanto más elevado que en el método Regulador y Rocío (Cuadro 7).

#### 5.2.3.3. Valor de la producción

El valor alcanzado por la producción (Cuadro 7), es un parámetro para medir, la efectividad de cada uno de los métodos de riego evaluados, pues está en función del número de frutos (Figura 19) y del precio pagado al productor según la clasificación de éstos.

El método Rocío demostró ser el método al cual el cultivo respondió mejor ya que la producción y por ende el valor de ésta, fué mucho mayor que los dos métodos restantes. Esto refleja que la forma de aplicar el agua, propia de este método es la más adecuada comparada con los otros.

### 5.3. Variabes respuesta

#### 5.3.1. Tamaño promedio de guías

Estadísticamente el tamaño promedio de guías no mostró

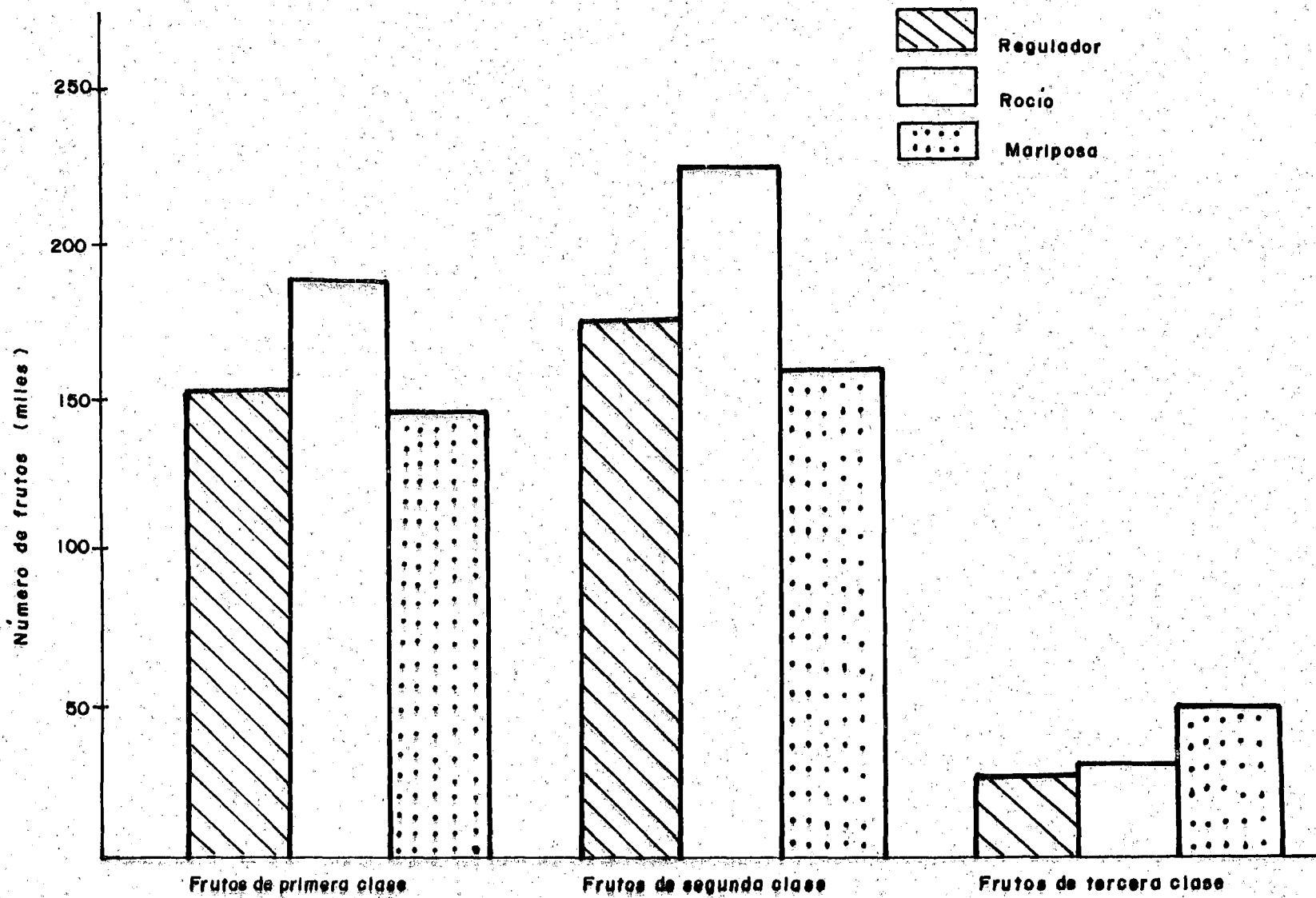


Fig. 19 - Cantidad de frutos producidos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> clase para cada método de riego.

diferencia significativa; sin embargo, al observar las medias entre tratamientos, el que presentó mayor crecimiento fué el método Rocío (1.36 m), probablemente por la forma de aplicación del agua, que mojaba mayor área, esto provocaba mayor expansión de las raíces, por consiguiente un mejor desarrollo del follaje.

Para el método Regulador, el menor crecimiento de guías (1.21 m), se debe probablemente al daño causado por enfermedades fungosas en los primeros días de establecido el cultivo; en el método Mariposa, el cultivo sufrió daños debido al manejo de los laterales, al extenderlos o recogerlos, esto pudo haber provocado retardo en el crecimiento del cultivo.

#### 5.3.2. Número de pepinos

La prueba de Diferencia Mínima Significativa mostró - que el método que dió una mejor producción en número de pepinos fué el Rocío, con 444,284 frutos/ha (Cuadro 8). Aunque no se tiene datos de producción, de investigaciones anteriores, se cree que la mayor producción se debió al mejor crecimiento que presentó el cultivo bajo este método de riego, como una respuesta a la forma de aplicación de agua. La respuesta al riego reflejado en la producción en los métodos Regulador y Mariposa fué similar: 355,875 frutos/ha y 352,938 frutos/ha, respectivamente (Cuadro 8).

5.3.3. Longitud de pepinos

La forma de riego no reflejó ninguna diferencia en la longitud alcanzada por los frutos para ninguno de los métodos de riego aplicados, pues esta oscila entre 17.35 y 17.77 cm. El crecimiento en longitud de los frutos no depende de la forma de aplicación de agua.

5.3.4. Número de pepinos de primera, segunda y tercera clase.

La clasificación de la producción, muestra que para el número de pepinos de primera, segunda y tercera clase no hay ninguna diferencia estadística significativa en la cantidad producida bajo los tres métodos de riego (Cuadro A-13, Cuadro A-20), para el número de pepinos de segunda clase, esta fue mayor en el método Rocío (643 quintales/ha), ésto comprueba el mejor desarrollo del cultivo como respuesta a la aplicación localizada del agua en forma de chorro (Fig. 19).



## 6. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos a partir de la investigación y presentados en este documento, cuenta con los suficientes elementos como para servir de guía cuando se desee adoptar alguno de los métodos de riego propuestos.
2. De acuerdo a la experiencia obtenida, es posible afirmar con certeza la factibilidad del empleo de los métodos de riego no convencionales evaluados, en la producción agrícola.
3. Los emisores artesanales de los tres métodos empleados son fáciles de cambiar o reponer si alguno de ellos falla.
4. De acuerdo al trabajo demandado, tanto de instalación como de manejo, la clasificación de los tres métodos en términos de facilidad es, de mayor a menor: Método regulador, método rocío y método mariposa.
5. La facilidad con que pueden ser manejados los métodos de riego evaluados, especialmente el regulador y rocío, posibilitan su uso, por parte de personas sin grandes conocimientos sobre riego.
6. Debido a que la fabricación e instalación de los emisores y del sistema mismo, no requiere de grandes conoci-

mientos técnicos, estas actividades pueden ser realizadas por los mismos agricultores.

7. Los métodos de riego no convencionales en mención, pueden usarse en cualquier zona del país, donde la topografía y las características de suelo lo permitan.
8. Entre los dos métodos de goteo artesanales usados en la investigación, la uniformidad en la descarga del agua por los emisores (uniformidad de emisión), fué mayor en el método regulador, lo cual demuestra que la variación en su descarga es mínima a lo largo de los laterales.
9. La respuesta del cultivo a la aplicación de agua resultó ser mejor en el método rocío, ya que la mayor producción se obtuvo en la parcela regada con este método.
10. El método mariposa por requerir para su funcionamiento, a diferencia de los otros métodos, mayor presión para su funcionamiento, requiere también de un equipo de bombeo más potente, mayor cantidad de agua, así como de mano de obra; volviéndolo el menos rentable, ya que la producción obtenida es menor.
11. Ya que los costos que implica el hacer uso de cualquiera de los métodos de riego no convencionales en mención, -- son sustantivamente bajos, comparando con los métodos -- convencionales; su utilización se adapta a las condiciones

nes económicas de pequeños agricultores, aumentando -  
así, el área irrigada del país.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Tomando en cuenta los problemas de operación y manejo que se producirían al trabajar con laterales demasiado largos, como: pérdidas de presión mayores del 20% de la presión de operación en el método regulador y rocío, taponamiento de algunos goteros en la parte final de laterales en método rocío y, la dificultad de manejar un alto número de emisores en el método mariposa; estos métodos se recomiendan para áreas pequeñas que no sobrepasen una hectárea por unidad de riego.
2. Al adoptar cualquiera de los métodos de riego no convencionales referidos, éste se debe instalar en el campo de tal forma que las líneas laterales sean lo más cortos posibles (30 m) para asegurar un buen funcionamiento.
3. Los métodos de riego no convencionales, dado su bajo costo, se recomiendan para pequeños agricultores; pero tomando en cuenta su buena rentabilidad puede ser adoptado por cualquier agricultor que lo desee.
4. Al comparar la productividad entre los tres métodos de riego evaluados, el mayor valor se obtiene con el método rocío, por tanto se recomienda preferencialmente el uso del método rocío; pero por las características hidráulicas se recomienda el método Regulador.
5. Los alcances trazados con el presente trabajo dejan aún

muchas incógnitas por resolver, por tanto, se recomienda hacer nuevas investigaciones, evaluando otros aspectos y utilizando otros cultivos para tener parámetros más amplios sobre el uso de estos métodos de riego.

6. Se comprobó que para el normal funcionamiento de la mariposa, es decir que tenga un giro adecuado y continuo, es fundamental que ambas aspas descarguen la misma cantidad de agua, para lo cual se recomienda que al momento de fabricarlas se dé la misma dimensión a los agujeros, tanto los de la parte superior, como el agujero terminal; sin descuidar que la curvatura sea igual en ambas.
7. El taponamiento total o parcial de uno de los agujeros de un aspa, provoca un giro lento e inadecuado de la mariposa por lo tanto, es recomendable el uso de filtros, los cuales pueden ser de material descartable (malla de colador), e ir colocados en cada emisor o a la entrada del múltiple.
8. Debido a que el diseño de la mariposa utilizada como microaspersor, produjo una muy alta intensidad de aplicación de agua, lo más recomendable es diseñar aspas con un número menor de salidas y que éstas sean de menor tamaño; pero debe tenerse en cuenta que en estas circunstancias el uso del filtro se vuelve indispensable.

Puede reducirse el número de salidas por aspa, de cuatro que han sido los usados a un número de tres, con lo cual la mariposa quedaría con seis salidas y no con ocho. El diámetro de los orificios superiores puede reducirse de 1 mm a 0.7 mm, disminuyendo así, el área de salida del agua.

Estos cambios pueden traer consigo, una disminución en la presión de operación, lo cual sería aún más ventajoso.

Cuadro 9. Tiempos de aplicación recomendados para diferentes cultivos en tres tipos de suelo para cada método de riego evaluados.

CULTIVO	TEXTURA	C R (cm/m)	Prof. Rod. promedio (m)	REGULADOR				ROCIO				MARIPOSA			
				Dmax (cm)	dr (cm)	ETc (mm/día)	Ta (hr)	Dmax (cm)	dr (cm)	ETc (mm/día)	Ta (hr)	Dmax (cm)	dr (cm)	ETc** (mm/día)	Ta (hr)
Frijol seco	A	8.25		6.2	0.93		1.0	6.2	0.93		1.0	6.2	1.86		0.25
	F	16.8	0.75	12.6	1.89	5.5		12.6	1.89	5.5		12.2	3.78	5.5	
	Fc	18.9		14.2	2.13			14.2	2.13			14.2	4.26		
Cacahuete	A	8.25		6.2	0.93		1.0	6.2	0.93		1.0	6.2	1.86		0.2
	F	16.8	0.75	12.6	1.89	5.1		12.6	1.89	5.1		12.6	3.78	5.1	
	Fc	18.9		14.2	2.13			14.2	2.13			14.2	4.26		
Soya	A	8.25		6.2	0.93		1.0	6.2	0.93		1.0	6.2	1.86		0.2
	F	16.8	0.75	12.6	1.89	5.1		12.6	1.89	5.1		12.6	3.78	5.1	
	Fc	18.9		14.2	2.13			14.2	2.13			14.2	4.26		
Sandía	A	8.25		10.3	1.54		2.5	10.3	1.54		2.5	10.3	3.09		0.2
	F	16.8	1.25	21.0	3.15	5.1		21.0	3.15	5.1		21.0	6.3	5.1	
	Fc	18.9		23.6	3.54			23.6	3.54			23.6	7.08		
Tomate	A	8.25		7.8	1.17		2.0	7.8	1.17		2.0	7.8	2.34		0.25
	F	16.8	0.95	15.9	2.38	5.7		15.9	2.38	5.7		15.9	4.77	5.7	
	Fc	18.9		17.9	2.68			17.9	2.68			17.9	5.37		

El IR fijado a 1 día para el método Regulador y Rocío; y a 2 días en método Mariposa

\*\* La ETc x 2, constituye la dr.

6. BIBLIOGRAFIA

1. ALEMAN O., S.R.; BAIREZ P.; C.R.; HERNANDEZ O., C.A.; MENA G., O.E. 1989. Evaluación de los bulbos de humedecimiento con fines de generar datos preliminares para el sistema de riego por goteo. Tesis Ing. Agr., San Salvador, Universidad de El Salvador, Fac. de Ciencias Agronómicas. P. 11.
2. ARMONI, S. 1984. El riego por goteo. CINADCO, Israel. P. 1-61.
3. BERNAL CH., R.E.; GONZALEZ B., R.C.; RAMOS, G.S.; RODRIGUEZ, E.F. 1991. Dosis y frecuencia de fertilización nitrogenada en dos híbridos de pepino (Cucumis sativus), en la parcela experimental FUSADES-DIVAGRO, Comalapa. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador, Fac. de Ciencias Agronómicas. P.
4. BERNAL P., C. DEL C. 1990. Calendarización y riesgos climáticos del maíz y sorgo en la planicie costera central con base a la Estación Experimental y de Prácticas. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador, Fac. de Ciencias Agronómicas. P. 7-13.
5. BROUWER, C. 1987. Manejo del agua de riego; introducción al riego. FAO. Roma, Italia. P. 73.



6. CAÑAS R., V.M.; OSORIO T., M. DE J. 1991. Clasificación de tierras con fines de riego de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Tesis Ing. Agr., San Salvador, Universidad de El Salvador, Fac. de Ciencias Agronómicas. P. 10-14, 24-25.
7. DELOYE, M.; REBOUR, H. 1967. El riego. Trad. por Rafael Cervera Alvares. Madrid, España. Mundi Prensa. P. 221.
8. DOMINGUEZ, G.F. 1971. El riego; su implantación y su técnica. Madrid, España. DOSSAT. P. 153.
9. DOORENBOS, J. 1977. Necesidades de agua de los cultivos. Roma, Italia, FAO. 194 P.
10. EL SALVADOR. s.f. Riego por goteo en tomate de enlatar. Editora Agua y Suelo. P. 78-96.
11. EL SALVADOR. 1968. Guía técnica agrícola. San Salvador. Administración de Bienestar Campesino y Fac. de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. ABC. P. 23-25.
12. \_\_\_\_\_. DIRECCION GENERAL DE RIEGO Y DRENAJE. San Salvador. P. 1-6.
13. \_\_\_\_\_. 1980. Curso de riego y drenaje y extensión agrícola. La Libertad. P. 2-30.

14. ESTADOS UNIDOS, SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS.  
1956. Procedimientos para evaluar métodos de riego. Trad. por J.M. Muñoz Vásquez. P. 3-30.
15. FUNDACION CHILE. s.f. Aplicación de nutrientes y plaguicidas por sistema de riego por goteo. Snt. P. 1-2, 12.
16. GAUCHER, R. 1971. El suelo y sus características agronómicas. Trad. por J. Pérez Maya. Barcelona, España, OMEGA. P. 210-216.
17. GAVANDE, S.A. 1976. Física de suelos; principios y aplicaciones. México. LIMUSA. 345 P.
18. GONZALES, O.R. s.f. El riego por goteo. San Salvador, El Salv. s.n.t. 126 P.
19. \_\_\_\_\_. s.f. Métodos y técnicas de riego. San Salvador, El Salvador. s.n.t. P. 49060.
20. GRASSI, C.J. 1968. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos; criterios y procedimientos. Mérida, Venezuela. CIDIAT. Doc. No. 53. 168 P.
21. GRIFFIN, R.G.; HARGREAVES, G.H.; WATERS, G.Z.; STUTLER, R.K.; SALAZAR, L. 1985. Bombas y elevadores para riego. Trad. por Jorge Torres. UTAH, EE. UU. Centro Internacional de Riego. P. 2-20.
22. GUDIEL, V.M. 1987. Manual agrícola Super B. 6 ed. Productos Super B, Guatemala. pp. 162-165.

23. HAUSENBERG, J.; SELA, R. 1982. Regulated Sprinklers and Irrigation Equipment. Israel. Dan Sprinklers. P. 1-3.
24. HIDALGO L., V.M.; MOLINA P., E.L.; TEJADA A., J.M. 1990. Guía general de riegos para la zona oriental del país. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador, Fac. de Ciencias Agronómicas. P. 1-6.
25. ISRAELSEN, O.W. 1965. Principios y aplicaciones del riego. Trad. por Alberto García Palacios. 2 ed. España, Reverte. P. 319-338.
26. JUAREZ D., K.L.; LANDAVERDE V., M. DE J.; SANCHEZ D., B.A. 1991. Diseño de un programa de riego para la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. P. 1-16.
27. KELLER, J. 1983. Manual de diseño de sistemas de riego por aspersión y goteo. Trad. por Héctor H. Manolo. UTAH, Estados Unidos. Centro Internacional de Riego. P.
28. KRAMER, P. 1974. Relaciones hídricas de suelo y plantas. Trad. por Leonor Tejada. México. EDUTEX. P. 54-57.
29. OLAF, G.N. s.f. Sistemas de riego localizados. San Salvador, El Salv. FUSADES. P. 6.

30. OLIVARES, C. 1975. Sistemas de riego y sus estudios. Mérida, Venezuela. CIDIAT. P. 45.
31. OLLIER, CH.; POIREEM. 1977. El regadío, 4 ed. Barcelona, España. ETA. P. 5-7: 156.
32. RODRIGUEZ, C.A. 1988. Uso del tanque evaporímetro tipo A para programar riegos en sistemas de aspersión. 5(5): 93.
33. SCHEUER, D. 1990. Apuntes de hidráulica. 5 ed. Shefaim, Israel. 118 P.
34. SAINT FOULC, J.D. 1975. El riego por aspersión. 3 ed. Barcelona, España. ETA. P. 75-78.
35. SALAZAR, L.; HARGREAVES, G.H. 1985. Manual de programación de riego. Trad. por Emilio M. Araujo y Segundo Díaz. UTAH, USA. Centro Internacional de Riegos. P. 34-36, 85, 89-90.
36. SAVALDI, D. 1990. Material de estudio sobre microaspersión. Israel, CINADCO. P.
37. SHANI, M.; SAPIR, S. 1988. El riego por aspersión, equipos y métodos. Trad. Jorge Trarchitzky. Israel. Ministerio de Agricultura. P. 2-6, 23.
38. \_\_\_\_\_. s.f. La fertilización combinada con el riego. Trad. por Jacobo Marnin. Israel. Ministerio de Agricultura. P. 3-5.
39. STUTLER, K. 1968. Manual de riego. San Salvador, El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. P. 4-85.

40. TIBAU, A.O. 1976. Técnicas modernas de irrigação. Aspersão, derramamento, gotejamento. Brasil. NOBEL. 223 P.
41. THORNE, D.W.; PETERSON, H.B. 1963. Técnicas de riego. Trad. José Luis Lepe. México. CONTINENTAL. P. 17-31.
42. WITHERS, B.; VIPOND, S. 1978. El riego, diseño y práctica. Trad. por Agustín Contín. México, DIANA. P. 55, 172-180.
43. ZIMMERMAN, J.D. 1970. El riego. Trad. por Guillermo A. Fernández de Lara. México. Continental. 590 P.

7. A N E X O S

Cuadro A-1. Determinación de la densidad aparente.

Sitio	Estrato	(gr) Peso caja	(gr) P.S.h. + Caja	(gr) P.SS. + Caja	(gr) P.S.h.	(gr) P.SS.	(gr) P.H <sub>2</sub> O	S b. gr/cm <sup>3</sup>
I	A	32,98	211,90	177,02	178,92	144,04	34,88	1,088
	B	39,50	225,00	183,84	195,50	154,34	41,16	1,165
	C	34,05	230,50	183,58	196,45	149,53	46,92	1,129
II	A	33,93	207,60	182,73	173,67	148,80	24,87	1,124
	B	33,45	227,15	187,78	193,70	154,33	39,37	1,166
	C	32,14	222,80	186,68	190,66	154,54	36,20	1,167
III	A	33,77	191,10	166,17	161,33	132,40	28,93	1,000
	B	33,31	229,30	191,72	195,99	158,41	37,58	1,196
	C	33,09	237,10	19,43	204,01	157,34	46,67	1,188

Cuadro A-2. Cálculo de humedad a capacidad de campo (C.c.) a tres estratos de 0-15; 15-30; y 30-45 centímetros.

Sitio	Estado	b(gr/cc)	(gr) Peso caja	P.S.H. + caja	P.S.S. (gr)	PS.h. (gr)	PSS. (gr)	$\Theta_m \frac{PSh-Pss}{Pss} \times 100$ (%)	$\Theta_v = \Theta_m b$ (%)
I	A	1.088	19.29	41.37	36.05	22.08	16.76	31.74	34.53
	B	1.165	18.82	42.09	36.43	23.27	17.61	32.14	37.44
	C	1.129	19.11	36.67	32.71	17.56	13.60	29.12	32.87
II	A	1.124	19.09	41.20	36.20	22.11	17.11	29.22	32.84
	B	1.166	19.40	40.22	35.34	20.82	15.94	30.61	35.69
	C	1.167	18.55	37.74	32.85	19.19	14.30	34.19	39.90
III	A	1.000	19.41	46.59	39.56	27.18	20.15	34.89	34.89
	B	1.196	18.75	45.50	38.49	26.75	19.74	35.51	42.47
	C	1.088	18.89	44.11	37.26	25.22	18.37	37.29	44.30



Cuadro A-3. Cálculo de humedad a punto de marchitez permanente (p.m.p.) a tres estratos de 0-15, 15-30 y 30-45, en centímetros.

Sitio	Estrato	Pb (gr/cm <sup>3</sup> )	(gr) Peso caja	P.S.h. + Caja	P.S.S. (gr)	P.s.h. (gr)	P.s.s. (gr)	$\Theta_m^* = \frac{P.s.h. - Pss}{Pss} \times 100$	$\Theta_v = \Theta_m \cdot b$ (%)
I	A	1.088	19.29	35.10	32.78	15.81	13.49	17.19	18.70
	B	1.165	18.82	34.49	31.90	15.67	13.08	19.80	23.07
	C	1.129	19.11	32.94	30.60	13.83	11.49	20.36	22.92
II	A	1.124	19.09	40.68	37.72	21.59	18.63	15.89	17.83
	B	1.166	19.40	38.65	35.90	19.25	16.50	16.67	19.44
	C	1.167	18.55	32.81	30.51	14.26	11.96	19.23	22.44
III	A	1.00	19.41	39.29	36.28	19.88	16.87	17.84	17.84
	B	1.196	18.75	40.42	36.88	21.67	18.13	19.52	23.34
	C	1.188	18.89	40.58	36.53	21.69	17.64	22.96	27.28

$\Theta_m$  : Humedad gravimétrica  
Pss : Peso suelo seco  
PH<sub>2</sub>O : Peso de agua

$\Theta_v$  = Humedad volumétrica a punto de marchitez permanente

A = Estrato de suelo de 0-0.16 m de Profundidad.

C = Estrato de suelo de 0.3 - 0.5 m de Prof.

Pb : Densidad aparente  
Psh : Peso suelo húmedo

B : Estrato de suelo 0.15-0.30 m de profundidad

Cuadro A-4. Datos de aforo en el campo para goteros en método regulador (lt/h).

CUARTO INICIAL

1	2	3	4	5	6	7	8
DESCARGA (lt/h)							
1.71	2.73	2.70	0.99	2.31	2.28	2.43	1.17
3.36	2.58	2.19	1.23	3.12	2.49	3.03	1.08
4.47	3.00	2.89	1.08	1.86	2.13	2.76	1.98
3.66	2.40	3.09	2.34	1.92	2.04	1.38	1.44
4.02	2.88	2.07	2.70	1.80	1.32	2.07	0.81
1.86	2.73	3.45	3.45	3.12	1.20	2.70	2.13
1.68	2.40	2.82	1.44	2.43	1.89	1.29	3.54
2.16	2.85	2.97	1.68	3.78	3.03	1.68	2.19
1.92	3.12	3.93	1.83	1.56	2.70	2.22	1.50
3.42	2.10	3.24	2.19	1.68	2.01	2.19	1.50
1.71	1.53	2.34	2.28	3.15	2.67	3.18	1.71
2.40	3.12	2.94	2.10	2.31	2.99	2.40	2.43
2.43	2.01	2.76	1.74	1.47	2.46	1.41	1.59
2.28	2.43	3.15	3.12	1.74	3.15	2.88	1.74

Continuación ..... Cuadro A-4.

	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{X}$ =	3.36	1.38	3.03	1.68	2.25	3.96	3.15	2.49
$M$ =	40.44	35.37	43.80	29.85	34.50	37.32	31.47	27.30

CUARTO FINAL (descarga lt/h)

2.31	2.22	2.40	2.40	2.37	2.31	2.31	2.40
2.40	2.31	2.31	2.34	2.31	2.28	2.37	2.37
2.16	2.28	2.28	2.37	2.40	2.13	2.40	2.40
2.37	2.34	2.22	2.31	2.22	2.37	2.22	2.22
2.28	2.37	2.28	2.37	2.37	2.22	2.28	2.34
2.31	2.28	2.34	2.40	2.16	2.31	2.34	2.22
2.40	2.31	2.40	2.31	2.31	2.28	2.31	2.81
2.10	2.28	2.31	2.40	2.34	2.37	2.37	2.37
2.43	2.40	2.19	2.28	2.25	2.34	2.40	2.40
2.22	2.28	2.28	2.22	2.19	2.43	2.22	2.37
2.13	2.40	2.43	2.40	2.28	2.40	2.34	2.22
2.16	2.16	2.37	2.37	2.19	2.40	2.31	2.34
2.16	2.16	2.37	2.37	2.19	2.40	2.31	2.34
2.58	2.19	2.10	2.22	2.37	2.31	2.46	2.37
2.25	2.37	2.31	2.31	2.13	2.22	2.34	2.25
2.22	2.31	2.22	2.28	2.31	2.16	2.40	2.40

Continuación ..... Cuadro A-4.

	1	2	3	4	5	6	7	8
M =	34.32	34.50	34.47	34.98	34.20	34.53	30.57	34.98
$\bar{X}$	2.29	2.30	2.30	2.33	2.28	2.30	2.04	2.33
Cuarto inferior								
	2.49	2.33	2.62	2.16	2.29	2.39	2.07	2.08
Promedio total								

Cuadro A-5. Datos de aforo en el campo para gotero en método rocío (lt/h).

CUARTO INICIAL

LATERALES							
1	2	3	4	5	6	7	8
DESCARGA (lt/h)							
1.92	2.46	1.26	2.04	1.80	1.59	2.61	5.40
2.40	2.22	2.16	1.59	2.16	3.87	5.10	1.32
1.72	1.50	4.11	3.69	3.36	1.23	1.26	1.59
1.56	2.61	2.04	2.19	1.59	4.29	2.40	2.25
2.40	1.83	1.65	2.94	1.80	3.03	3.00	2.35
3.39	2.58	4.17	1.53	1.95	4.29	2.49	2.37
2.01	2.61	2.40	2.79	1.50	1.20	4.08	1.65
1.62	3.12	3.87	2.70	1.80	1.71	5.85	3.90
1.50	0.69	3.45	1.74	2.37	5.37	4.98	4.50
1.53	3.06	2.91	2.73	2.46	2.67	3.87	4.50
1.47	1.29	3.69	1.29	1.70	5.10	1.35	1.71
3.36	1.44	3.72	1.59	2.13	5.52	5.07	1.98
1.23	3.81	1.98	1.20	1.90	1.77	1.62	4.50
1.68	1.71	3.24	1.71	1.47	4.88	1.95	1.44
1.29	1.56	3.96	1.62	1.82	1.77	1.65	1.71
$\bar{x}=29.07$	32.49	44.61	31.65	29.69	48.09	47.28	41.13

CUARTO FINAL

$\bar{x}$ 1.38	1.20	2.04	2.04	1.29	1.47	2.31	1.71
----------------	------	------	------	------	------	------	------

Continuación ..... Cuadro A-5.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	1.38	1.20	2.04	2.04	1.29	1.47	2.31	1.71
	1.38	4.50	3.60	1.74	3.30	1.02	1.47	0.84
	1.89	1.86	1.56	1.20	1.99	1.74	1.38	1.17
	1.71	1.89	3.60	1.44	2.37	1.44	1.69	1.02
	1.26	0.69	2.70	1.95	3.00	3.90	0.78	4.20
	1.56	1.92	0.96	1.35	1.44	1.80	1.32	1.44
	1.71	0.90	0.93	1.56	1.71	2.64	0.99	1.77
	1.41	3.30	1.59	1.20	1.90	1.98	1.20	0.72
	1.59	1.59	4.50	1.53	3.00	1.38	3.60	1.68
	2.16	3.30	1.47	1.38	1.68	1.74	2.70	0.84
	1.83	1.65	2.94	1.53	1.08	1.47	1.71	1.65
	2.01	1.56	1.56	2.37	1.41	0.84	0.93	3.90
	1.89	1.47	1.32	1.47	1.26	3.15	1.26	1.71
	1.77	1.14	1.23	1.80	1.62	1.20	1.17	1.65
	1.83	1.83	1.20	1.53	2.40	1.50	1.11	1.44
=	25.38	29.70	30.90	24.09	29.45	27.27	22.32	25.44
$\bar{X}$	1.69	1.98	2.00	1.60	1.96	1.82	1.49	1.70
Cuarto inferior								
$\bar{X}$	1.82	2.07	2.52	1.85	1.97	2.51	2.32	2.22
Total								

Cuadro A-6. Diámetro en la superficie del suelo del bulbo de humedecimiento (cm).

Método	No. Obser vac.	L A T E R A L								$\bar{x}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	
REGULADOR	1	35	38	29	35	38	37	40	35	
	2	27	29	30	40	45	33	45	27	
	3	38	30	37	42	33	35	30	40	
	4	30	43	40	30	40	40	38	35	
	5	40	38	35	38	27	27	29	38	
	$\bar{X}$		34.0	35.6	34.2	37.0	36.6	34.4	36.4	35
R O C I O	1	40	36	46	34	42	46	29	35	
	2	38	41	38	37	38	33	37	41	
	3	46	43	31	42	35	41	46	46	
	4	39	45	40	45	33	44	36	39	
	5	37	39	36	39	46	39	45	46	
	$\bar{X}$		40.0	40.8	38.2	39.4	38.8	40.6	38.6	41.4

Cuadro A-7. Descarga de emisores medido para efecto de determinar patrón de humedecimiento (l/h). Método Mariposa.

Distancia a emisor (m)	Descarga emisor 1 (l/h)	Descarga emisor 2 (l/h)	Promedio
1.89	0.291	0.243	0.267
1.62	0.234	0.336	0.285
1.35	0.354	0.471	0.412
1.08	0.432	0.330	0.381
0.81	0.525	0.645	0.585
0.54	0.297	0.279	0.288
0.27	0.288	0.381	0.334
0	-----		
0.27	0.285	0.291	0.288
0.54	0.423	0.282	0.353
0.81	0.666	0.399	0.533
1.08	0.468	0.720	0.594
1.35	0.525	0.510	0.518
1.62	0.396	0.570	0.483
1.89	0.324	0.366	0.345



Cuadro A-8. Valores de coeficiente de cultivo (Kc) para varios cultivos en sus diferentes estadios de desarrollo.

CULTIVO	Fases de desarrollo del cultivo				Recolección
	Inicial*	Desarrollo del cultivo	Mediados del período	Finales del período	
Pepino			0.9		0.7
			1.0		0.8
Frijol seco		0.7 <sup>1/</sup>	1.05	0.65	0.25
		0.8 <sup>2/</sup>	1.2	0.75	0.30
Cacahuete		0.7	0.95	0.75	0.55
	0.84	0.8	1.1	0.85	0.60
Soya		0.7	1.0	0.7	0.4
		0.8	1.15	0.8	0.5
Tomate		0.7	1.05	0.8	0.6
		0.8	1.25	0.95	0.65
Sandía		0.7	0.95	0.80	0.65
		0.8	1.05	0.9	0.75

Fuente : Salazar (35).

\* Valor obtenido a partir de la Figura 15 para la misma fecha de siembra (mediados de febrero).

<sup>1/</sup> Con humedad elevada (RH mín 70%) y poco viento (< 5 m/seg).

<sup>2/</sup> Con humedad reducida (RH mín 20%) y fuerte viento (> 5 m/seg).

Cuadro A-9. Presupuesto de los costos de producción para 300 m<sup>2</sup>

	Costo Uni tario (¢)	Cantidad usada por método -	TOTAL	¢ Regulador	¢ Rocío	¢ Mariposa
PREPARACION DEL TERRENO						
Rastreado	130/mz	2 pasos		11.26	11.26	11.26
INSUMOS						
Semilla	6.5/Onz.	2 Onz.		13.00	13.00	13.00
Fórmula 16-20-0	0.88/lb.	8.33 lbs.		7.33	7.33	7.33
Sulfato de amonio	1.00	8.33 lbs.		8.33	8.33	8.33
Volatón 2.5% gr	4.0/lb	3.33 lb.		13.32	13.32	13.32
Bayfolán	23.50/1t	0.15 1t.		3.52	3.52	3.52
Lannate	15.25/Onz.	0.33 Onz.		5.03	5.03	5.03
Antracol	58.00/kg	0.08 kg		4.64	4.64	4.64
				55.17	55.17	55.17
LABORES DE CULTIVO						
Siembra, la. Fert. y con trol de plagas del suelo.	19.6/dh	0.66		13.07	13.07	13.07
Limpias	19.6/dh	0.9, 1.0, 1.18		17.64	19.60	23.13
Deshije	19.6/dh	0.17		3.33	3.33	3.33
Aplicación de pesticidas	19.6/dh	0.86		16.80	16.80	16.80
Aplic. de fertilizantes	19.6/dh	0.39		7.56	7.56	7.56
Colocación de Mulch	19.6/dh	1.50		29.40	29.40	29.40
Cosecha (corte y acarreo)	19.6/dh	2.57		50.40	50.40	50.40
TRANSPORTE	20.00		140.00	46.67	46.67	46.67
Sub-Total				251.30	253.26	256.79
IMPREVISTOS (5%)				12.56	12.66	12.84
T O T A L				263.86	265.92	269.63

\*0.9, 1.0, 1.18 - Método Regulador, Rocío y Mariposa, respectivamente.

Cuadro A-10. Valores de presión y pérdidas producidas, a lo largo de los laterales sin considerar la topografía del terreno (m.c.a.).

METODO	UBICACION	L A T E R A L							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Regula- dor	Entrada	1.08	1.09	1.10	1.07	1.02	1.15	1.18	1.21
	Final	0.69	0.83	0.89	0.80	0.67	0.83	0.90	1.06
	Pérdida	0.39	0.26	0.21	0.27	0.35	0.32	0.28	0.15
Rocío	Entrada	1.92	1.95	2.00	2.05	2.20	2.15	2.20	2.28
	Final	1.61	1.72	1.83	1.85	1.66	1.77	1.61	1.70
	Pérdida	0.31	0.23	0.17	0.26	0.54	0.39	0.59	0.58
Mariposa	Entrada	10.0	9.7	10.3					
	Final	9.6	9.1	9.8					
	Pérdida	0.40	0.60	0.50					

Cuadro A-11. Descarga promedio de emisores, descarga promedio del lateral para los métodos de riego empleados (lt/h).

METODO	DESCARGA	L A T E R A L							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Regula- dor	Promedio del lateral	149.4	139.2	156.0	129.6	137.4	143.4	124.2	124.2
	Promedio de gotero	2.49	2.32	2.60	2.16	2.29	2.39	2.07	2.07
Rocío	Promedio del lateral	108.6	12.2	151.1	11.0	118.2	150.6	139.2	133.2
	Promedio de gotero	1.81	2.07	2.52	1.85	1.97	2.51	2.83	2.22
Mariposa	Por microas- persor	766.8	759.60	1051.20					

Cuadro A-12 - Costos de irrigación para parcela tipo (1 Hectárea).

METODO ESPECIFICACION	REGULADOR				ROCIO				MARIPOSA			
	Long. total (m)	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo total (\$)	Long. total (m)	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo total (\$)	Long. total (m)	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo total (\$)
<b>COSTOS DE INVERSION</b>												
Emisores		1704	0.06	102.24		1704	0.03	51.12		83	5.00	415.00
Tee 3/4" Ø, lisa		6	2.89	17.34		6	2.89	17.34		-	-	-
Tee reductora 3/4" x 1/2" Ø		168	3.78	635.04		168	3.78	635.05		-	-	-
Tee reductora 1" x 1/2" Ø		-	-	-		-	-	-		78	6.78	528.84
Niples de 3/4" Ø, tubos P.V.C.	1.2	0.5	50.0	25.00	1.2	0.5	50.0	25.0	-	-	-	-
Niples de 1" Ø		-	-	-		-	-	-	1.2	0.5	73	36.50
Válvulas 3/4" Ø		6	84.00	504.0		6	84.0	504.0		-	-	-
Válvulas 1" Ø		-	-	-		-	-	-		6	125	750.00
Tubería poliducto 16 mm Ø	8400		1.00/m	8400.0	8400		1.00	8400	2496		1.00	2496.00
Alambre de amarre		2 Lb	2.25	4.50		2Lb	2.25	4.50		-	-	-
Tubería P.V.C. 3/4" Ø	200	34	50.0	1700.0	200	34	50.0	1700.0		-	-	-
Tapones P.V.C. hembra 3/4" Ø		12	1.60	19.20		12	1.60	19.20		-	-	-
Tubería P.V.C. 1" Ø		-	-	-		-	-	-	288	48	73.0	3504.00
Tapones P.V.C. hembra 1" Ø		-	-	-		-	-	-		6	2.65	15.90
Tubería P.V.C. 3" Ø 160 PSI	83.3	14	196.2	2746.80	83.3	14	196.2	2746.8	66.6	12	196.2	2354.40
Crucero reductor 3" x 3/4"		3	91.25	273.75		3	91.25	273.75		-	-	-
Crucero reductor 3" x 1"		-	-	-		-	-	-		3	91.25	273.75
Tapones P.V.C. hembra 3" Ø		1	24.72	24.72		1	24.72	24.72		1	24.72	24.72
Codo P.V.C. 90° liso 3" Ø		1	54.00	54.00		1	54.00	54.00		1	54.00	54.00
Tubería aluminio 3" Ø	6.0	1	649.50	649.50	6.0	1	649.50	649.50	6.0	1	649.50	649.50
Bomba 2.0 HP, Jacuzzi		1	4.180.00	4.180.00		1	4.180.00	4.180.00				
Bomba 5.0 HP, Jacuzzi										1	7.500.00	7.500.00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>19,336.09</b>				<b>19,284.98</b>				<b>18,602.61</b>
<b>COSTOS DE OPERACION</b>												
Gasto de energía		134h	0.565	75.71		134h	0.565	75.71		150.75	1.41	213.11
Capacidad instalada				513.00				513.00				513.00
Mano de obra: Instalación		21 d-h	19.60	411.60		22 d-h	19.60	431.20		23 d-h	19.60	450.80
manejo		22 d-h	19.60	431.20		22 d-h	19.60	431.20		100.5 d-h	19.60	1969.80
<b>SUB TOTAL</b>				<b>1431.51</b>				<b>1451.11</b>				<b>3,146.71</b>
Imprevistos (5 %)				1038.38				1036.80				1087.47
<b>TOTAL</b>				<b>21,805.98</b>				<b>21,772.89</b>				<b>22,638.79</b>

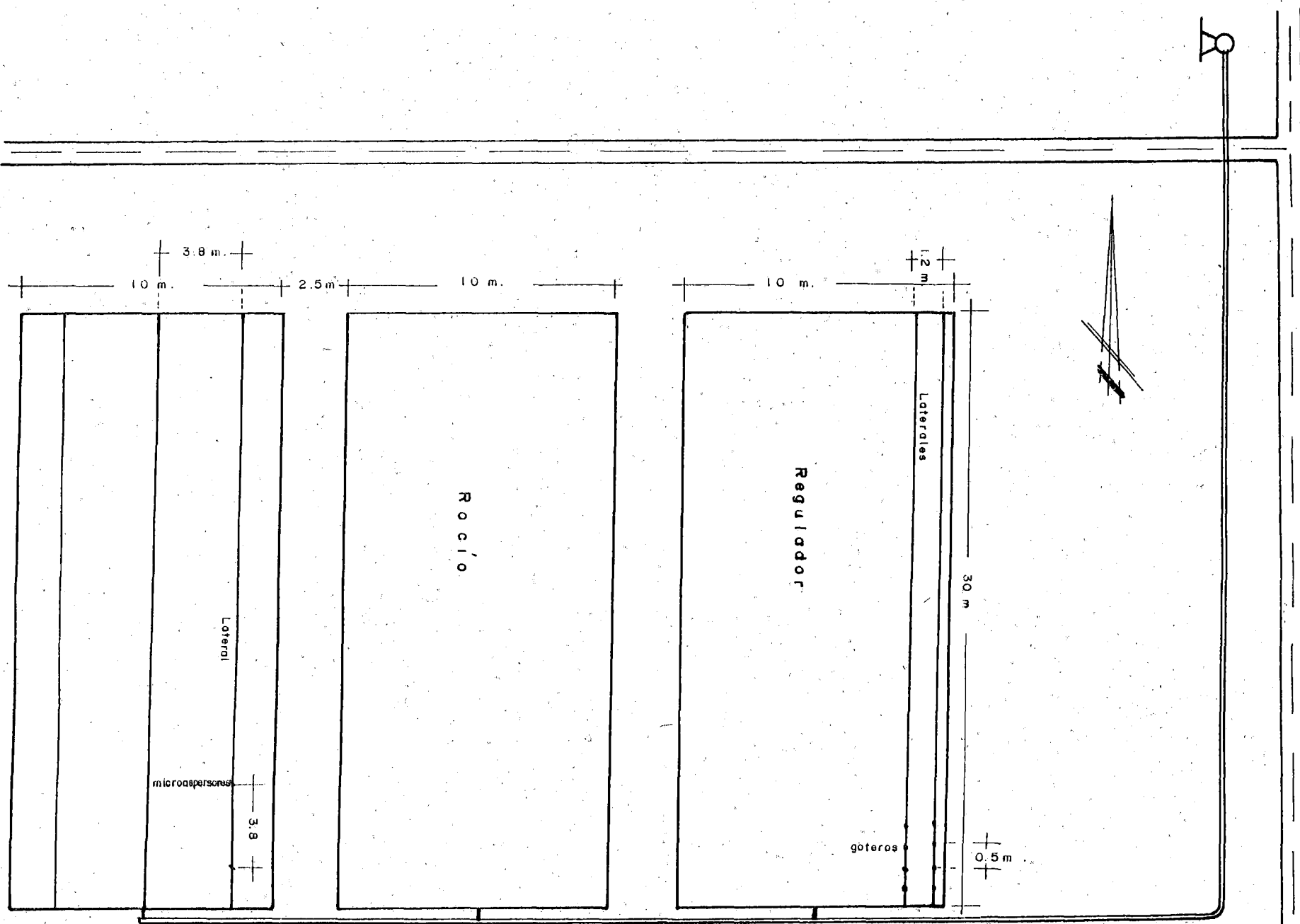


Fig. 11 - Plano de distribución en el campo de los tres métodos de riego.

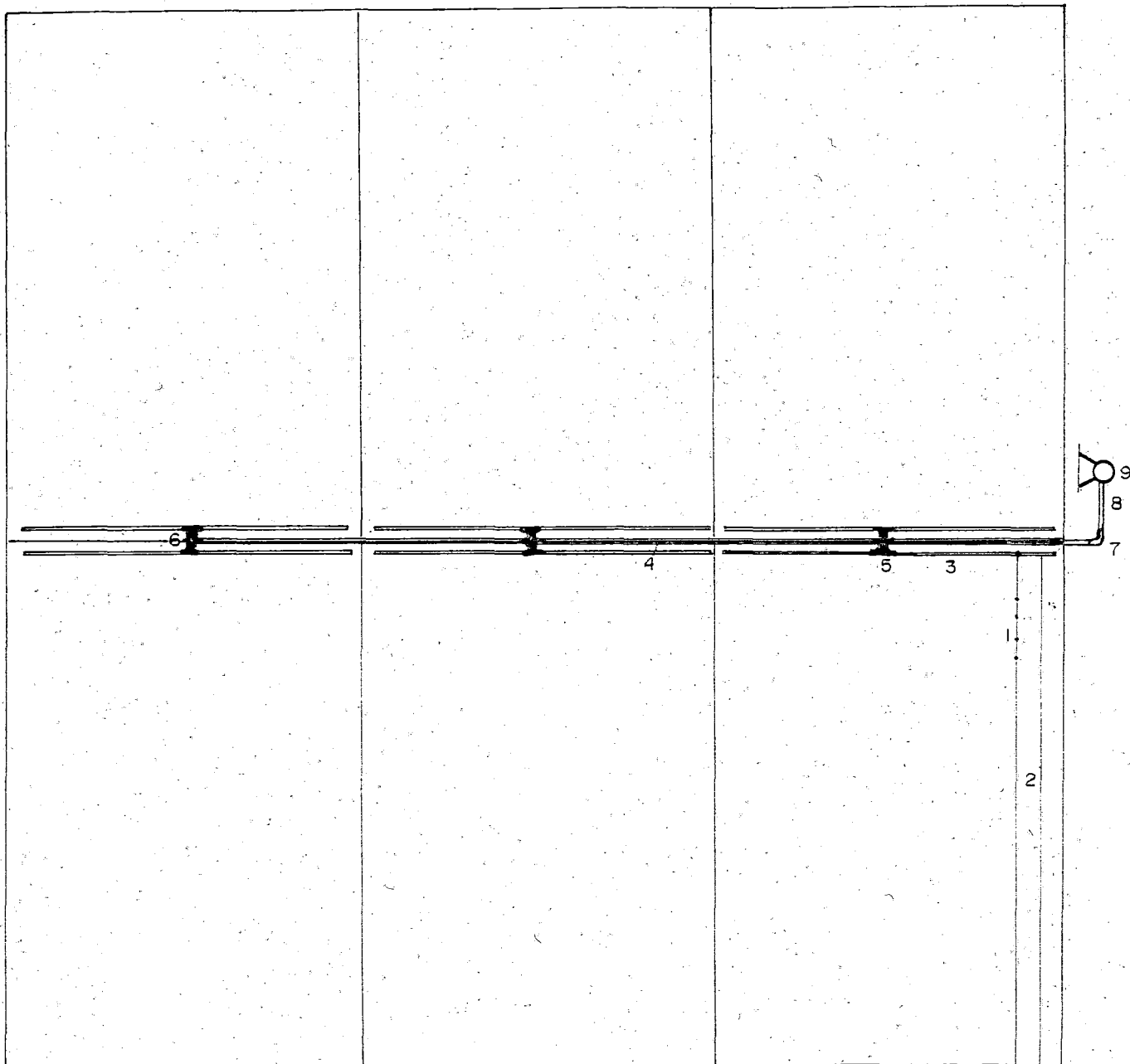
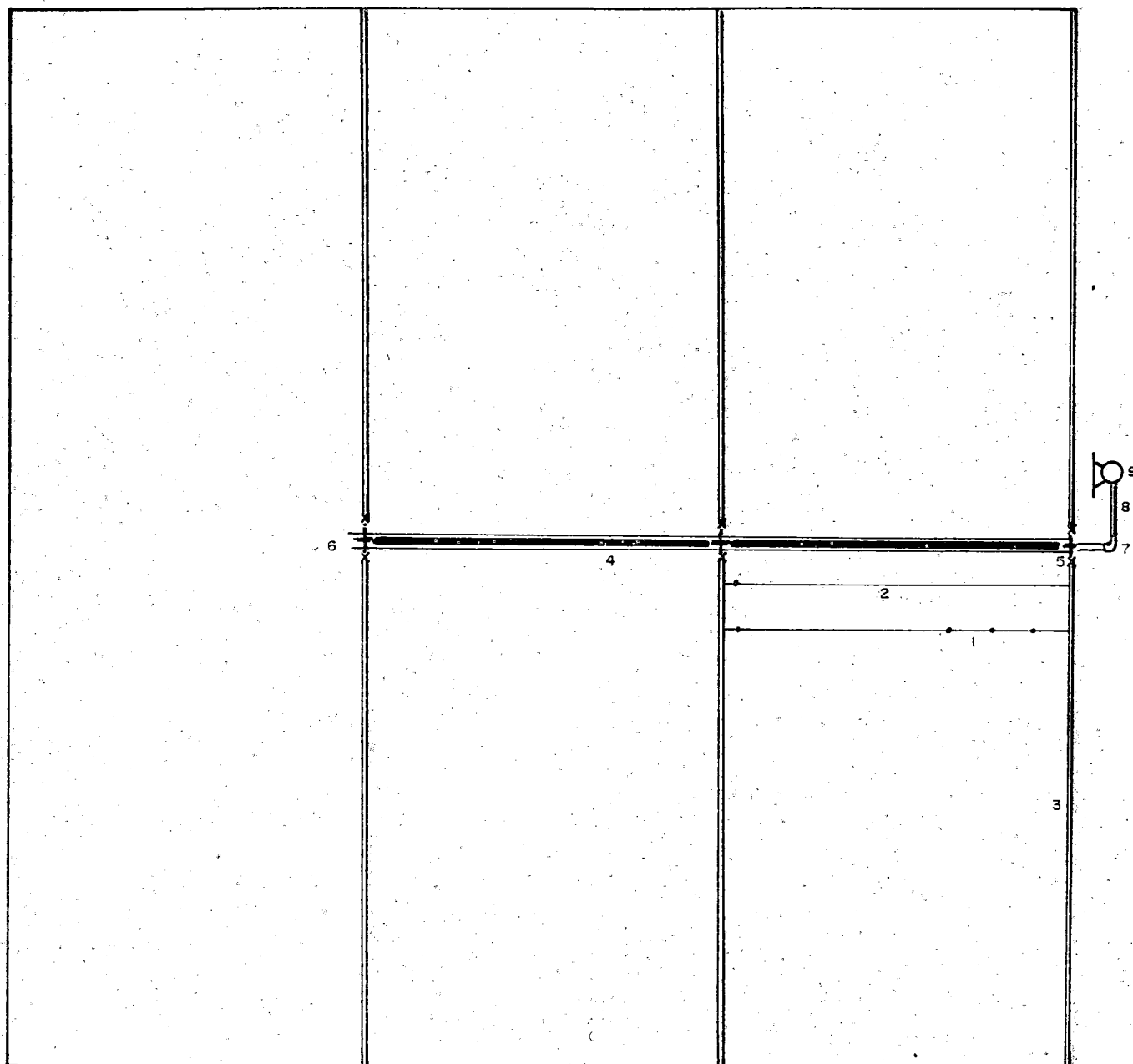


Fig. A-2 . Parcela tipo para los métodos Regulator y Rocio.  
ESC. 1 : 600

- 1 - Disposición de los goteros en el lateral
- 2 - Tubería lateral de polietileno de 16 mm.  $\emptyset$  de 50 m longitud
- 3 - Tubería múltiple de P.V.C. 3/4"  $\emptyset$  y de 33.3 m de largo
- 4 - Tubería secundaria de 3" de 83.3 m de longitud
- 5 - Tee, nipples, válvulas 3/4" y crucero de 3" x 3/4"  $\emptyset$
- 6 - Tapon de P.V.C. de 3"  $\emptyset$
- 7 - Codo de P.V.C. 3"  $\emptyset$
- 8 - Tubería principal de aluminio 3"  $\emptyset$ , 6m. longitud
- 9 - Bomba



**Fig. A - 3 . Parcela tipo para el método mariposa**  
**Esc. : 1: 600**

- 1 - Posiciones del microaspersor a lo largo del lateral .
- 2 - Tubería lateral de polietileno de 16 mm.  $\emptyset$  32 m. largo
- 3 - Tubería múltiple de P.V.C. 1"  $\emptyset$  de 48 m. longitud.
- 4 - Tubería secundaria de 3", 66.66 m. largo .
- 5 - Niples, válvula de 1"  $\emptyset$  y cruceros de 3" x 1"  $\emptyset$
- 6 - Tapón de P.V.C. de 3"  $\emptyset$
- 7 - Codo de P.V.C. de 3"  $\emptyset$
- 8 - Tubería principal de aluminio 3"  $\emptyset$ , 6 m. largo
- 9 - Bomba



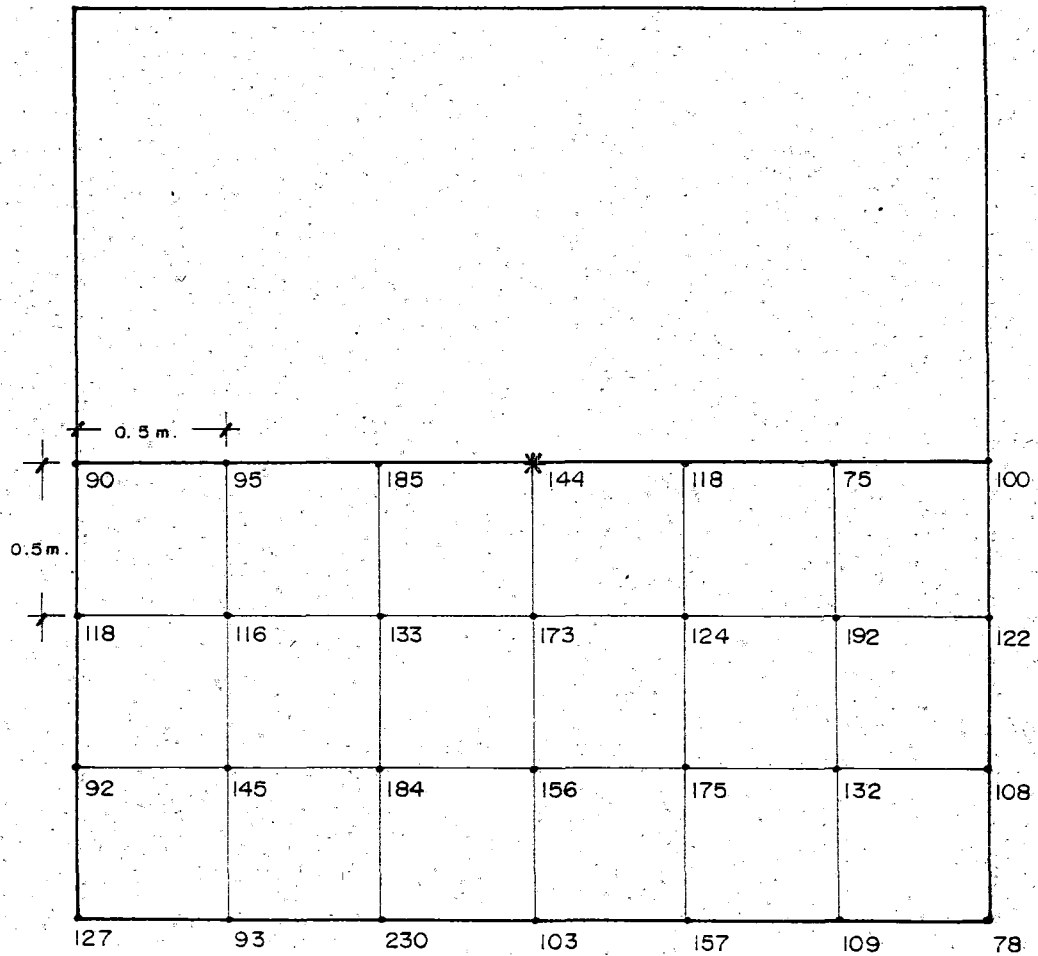


Fig.A-4. Distribución de pluviómetros en el campo y cantidades recolectadas en ml / 20 min.

- \* Posición del microaspersor
- Posición de los pluviómetros

ESC. 1 : 25

Cuadro A-13. Resumen de las variables de cultivo por repetición y por tratamiento obtenidas para el pepino en la Estación Experimental en el período comprendido del 21 de febrero al 23 de abril de 1992, ordenados para el análisis estadístico.

TRATA- MIENTOS	REPETICIONES					TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
	TAMAÑO PROMEDIO DE GUIAS (m)						
Regulador	1.21	1.22	1.24	1.14	1.23	6.04	1.21
Rocío	1.32	1.44	1.24	1.47	1.35	6.82	1.36
Mariposa	1.72	1.10	1.32	1.11	1.40	6.65	1.36
TOTAL	4.25	3.76	3.80	3.72	3.98	19.51	1.33
	NUMERO TOTAL DE FRUTOS						
Regulador	72	82	70	80	63	367	73.4
Rocío	92	84	92	108	85	461	92.2
Mariposa	89	63	77	61	75	365	73.0
TOTAL	253	229	239	249	223	1193	
	LONGITUD PROMEDIO DE FRUTOS (cms)						
Regulador	18.32	18.26	18.11	18.20	16.86	89.75	17.95
Rocío	18.02	18.00	17.40	17.68	17.81	88.86	17.77
Mariposa	18.08	17.47	15.94	18.51	17.26	88.26	17.65
TOTAL	54.42	53.73	52.45	54.34	51.93	266.87	
	NUMERO FRUTOS DE PRIMERA CLASE						
Regulador	33	42	35	36	12	158	31.6
Rocío	42	35	34	47	37	195	39.0
Mariposa	43	26	24	31	26	150	30.0
TOTAL	118	103	93	114	75	503	
	NUMERO DE FRUTOS DE SEGUNDA CLASE						
Regulador	33	35	28	41	45	182	36.40
Rocío	46	44	52	52	40	234	46.80
Mariposa	37	26	39	27	36	165	33.00
TOTAL	116	105	119	120	121	581	
	NUMERO DE FRUTOS DE TERCERA CLASE						
Regulador	6	5	7	3	6	27	5.4
Rocío	4	5	6	8	8	31	6.2
Mariposa	9	11	14	3	13	50	10.0
TOTAL	19	21	27	14	27	108	

Cuadro A-14. ANVA para longitud promedio de guía

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Calc.	F. Tablas	
					5%	1%
Bloques	4	0.06	0.015	0.5 <sup>ns</sup>	3.84	7.01
Tratamientos	2	0.06	0.03	1.00 <sup>ns</sup>	4.46	8.65
Error Exp.	8	0.2425	0.03			
T O T A L	14	0.3625				

ns : No significativo.

Cuadro A-15. ANVA para número total de frutos.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Calc.	F. Tablas	
					5%	1%
Bloques	4	217.066	54.267	0.477 <sup>ns</sup>	3.84	7.01
Tratamientos	2	1203.733	601.867	5.286*	4.46	8.65
Error Exp.	8	910.934	113.867			
T O T A L	14					

ns : No significativo.

\* : Significativa al 5% de significancia

Prueba D.M.S. usando cuadro de doble entrada para las medias de frutos de segunda clase.

MEDIAS	T <sub>2</sub> <sup>*</sup> 92.2	T <sub>1</sub> 73.4	T <sub>3</sub> 73.0	
T <sub>3</sub> = 73.0	19.2	0.4	-	
T <sub>1</sub> = 73.4	18.2	-		DMS = 15.56
T <sub>2</sub> = 92.2	-			

\* : Tratamiento T<sub>2</sub> mejor que T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub>.

Cuadro A-16. ANVA para longitud promedio de frutos.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Calc.	F. Tablas	
					5%	1%
Bloques	4	1.70	0.425	2.01 <sup>ns</sup>	3.84	8.65
Tratamientos	2	0.23	0.115	0.545 <sup>ns</sup>	4.46	7.07
Error Exp.	8	1.69	0.211			
T O T A L	14	3.62				

ns : No significativo.

Cuadro A-17. ANVA para número de frutos de primera clase.

Factor de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Calc.	F. Tablas	
					5%	1%
Bloques	4	400.39	100.1	1.665 <sup>ns</sup>	3.84	7.01
Tratamientos	2	230.39	115.26	1.917 <sup>ns</sup>	4.46	8.65
Error Exp.	8	480.81	60.1			
T O T A L	14	1111.73				

ns : No significativo.

Cuadro A-18. ANVA para número de frutos de segunda clase.

Factor de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Calc.	F. Tablas	
					5%	1%
Bloques	4	56.93	14.33	0.30 <sup>ns</sup>	3.84	7.01
Tratamientos	2	516.93	258.47	5.38*	4.46	8.65
Error Exp.	8	377.07	47.13			
T O T A L	14	550.93				

ns : No significativo

\* : Significativo al 5% de significancia.

Prueba D.M.S. usando cuadro de doble entrada para las medias de frutos de segunda clase.

M E D I A S	T <sub>2</sub> *	T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub>	
	46.80	36.40	33.00	
T <sub>3</sub> =33.0	13.80	3.40	-	DMS ; 10.01
T <sub>1</sub> =36.40	10.4	-		
T <sub>2</sub> =46.80	-			

\* Tratamiento T<sub>2</sub> mejor que T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub>.

Cuadro A-19. ANVA para número de frutos de tercera clase.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	F. Calc.	F. Tablas	
					5%	1%
Bloques	4	41.067	10.267	1.443 <sup>ns</sup>	3.84	7.01
Tratamientos	2	60.40	30.20	4.243 <sup>ns</sup>	4.46	8.67
Error Exp.	8	56.933	7.117			
T O T A L	14	158.4				

ns : No significativo.

MEMORIA DE CALCULOS

Parámetro	Fórmula	VALOR OBTENIDO		
		Regulador	Rocío	Mariposa
Eficiencia de riego (%)	$Ef = \frac{QS}{QE} \times 100$	81.5	75.9	64.8
Area de planta (m <sup>2</sup> )	$A = \frac{\text{Sep.} \div \text{surco}}{\text{Sep.} \div \text{planta}} \times$	0.6	0.6	0.6
Area humedecida (m <sup>2</sup> )	$Ah = \pi (R)^2$			11.34
Volumen de agua a aplicar (lts)	$V = \frac{ETC \times IR \times A}{Ef}$	3.6 lts	3.841 lts	
Lámina bruta (cm)	$db = \frac{Lr}{Ef}$			1.5
Volumen bruto de Aplic. (lts)	$Vb = db \times Ah$			170.1 lts
Tiempo de aplicación para goteo (horas)	$Ta = \frac{V}{q}$	Calculado 1.57 Aprox. 2	Calculado 1.79 Aprox. 2	
Tiempo de aplicación : Microaspersión (horas)	$Ta = \frac{Vb}{q'}$			Calculado 0.198 Aproximada 0.25
Uniformidad de emisión (%)	$Eu = qn/qa \times 100$	98.7%	82.8%	
Pluviometría (mm/hora)	$P = q'/Ah$			75.7
Coefficiente de uniformidad (%)	$CU = 100 \left( 1 - \frac{\sum xi - \bar{x}}{\bar{x}n} \right)$			76.5

- Valores de carga dinámica total (C.D.T.) y potencia del equipo de bombeo para una hectárea, considerando un terreno plano para los tres métodos de riego.

	Regulador	Rocío	Mariposa
Caudal del emisor (l/h)	2.3 (l/h)	2.16 (l/h)	859.2 (l/h)
Caudal del múltiple (l/h)	6440 (l/h)	6048 (l/h)	11,169.6 (l/h)
Número de sub-unidades	6	6	3
Presión de operación (m.c.a.)	1.0 m.c.a.	2.0 m.c.a.	10.0 m.c.a.
Pérdidas por fricción: lateral	0.38 mt.	0.34 mt.	7.86 mt.
Pérdidas en múltiple	1.23 mt.	1.10 mt.	12.0 mt.
Pérdidas en la Tee.	1.11 mt.	0.54 mt.	
Pérdidas en válvula	1.01 mt.	0.90 mt.	1.17 mt.
Pérdidas en tubería secundaria	2.0 mt.	1.77 mt.	0.98 mt.
Pérdidas debidas al codo	0.19 mt.	0.17 mt.	0.14 mt.
Pérdidas tubería principal	0.50 mt.	0.47 mt.	0.38 mt.
Carga dinámica total	7.42 mt.	7.29 mt.	32.03 mt.
Capacidad equipo bombeo	2.0 HP	2.0 HP	5 HP
Costo de energía	¢ 75.71	¢ 75.71	¢ 213.11

Fórmulas utilizadas :  $Lk = N \times D$

Donde : N = Valor característico del diseño del accesorio (adimensional); D = Diámetro del accesorio (mt).

LK = Longitud equivalente del accesorio (m).

$$J = 1.131 \times 10^9 \left[ \frac{Q}{c} \right]^{1.852} \times \left[ \frac{1}{d} \right]^{4.87}$$

Donde : J = Gradiente hidráulico (pérdidas) (m/m).

Q = Caudal ( $m^3/h$ )

c = Coeficiente de fricción (130 para aluminio y 140 para P.V.C.)

d = Diámetro interno del tubo (mm)

$$H_{P(b)} = \frac{Q \times C.D.T.}{75 \times Ef(b)}$$

Donde :  $H_{P(b)}$  = Capacidad de la bomba

$Q$  = Caudal (lt/seg).

C.D.T. = Carga dinámica total (mt)

$Ef(b)$  = Eficiencia de la bomba (%)

$$H_{P(m)} = \frac{H_{P(b)}}{Ef(m)}$$

Donde :  $H_{P(m)}$  = Potencia del motor

$Ef(m)$  = Eficiencia del motor (%)



MEMORIA DE CALCULOS

	ESTRATO			$\bar{X}$	Goteo Microasp.	Goteo	Microas.	M E S				
	a	b	c					FEB	MAR	ABR	MAYO	
Densidad aparente (gr/cc)	1.071	1.176	1.161									
Capacidad de campo (%)	34.1	38.53	39.02									
Punto de marchitez permanente (%)	18.12	21.95	24.15									
Cap. de retención 1/ (%)	15.98	16.58	14.87	15.81								
Lámina Máx. 2/ (cm)					18.97							
Fracción de agotamiento (%)						15	30					
Lámina de reposición 3/						2.84	5.69					
ETP (Hargreaves) 4/ (mm/día)								4.9	5.3	5.4	4.7	
Kc promedio (FAO) 5/								0.84	0.86	0.9	0.81	
ETC (mm/día) 6/								4.07	4.56	4.86	3.81	
Intervalo de riego (días)												
Calculado 7/						5.84	11.7					
Fijado						1	2					
Lámina de reposición con intervalo de riego fijado (cm) 8/						4.86	9.72					

ECUACION UTILIZADA PARA LOS CALCULOS :

1/ = CR =  $(\Theta_{vcc\%} - \Theta_{v Pmp\%}) \div 100$  ; 2/ = Dmax =  $(\Theta_{vcc} - \Theta_{vPmp}) \times$   
Prof. radicular.

3/ = Lr = Dmax x Fracción de Agotam.

4/ = ETP =  $0.0023 Ra \sqrt{TD} (T \text{ } ^\circ\text{C} + 17.8)$

5/ = Kc = el inicial, se obtiene de Fig. 15 y el Kc intermedio y final del Cuadro A-18. Los Kc promedio mensual con ecuación :  $\bar{Kc} = (kc \text{ inicial} + kc \text{ final}) \text{ del mes } \div 2$

6/ = ETC = ETP x Kc mes

7/ = IR = Lr/ETC

8/ = Lr = IR x ETC.