



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
AGRÍCOLAS
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS**



Riego por tuberías a presión

Manuel Wagner

SERIE B - N° 6

El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas es un instituto autónomo, creado de acuerdo a la Gaceta Oficial N° 36.920 del 28 de marzo de 2000, adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Serie B - De acuerdo con el Reglamento de Publicaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, aprobado por la Junta Administradora del FONAIAP en su sesión 576, celebrada el 14 de septiembre de 1999.

Serie B: corresponde a publicaciones cuyo contenido proviene de la evaluación de los resultados de investigación o la puesta en práctica de los mismos. Incluye temas tales como utilización de nuevas vacunas o la obtención y rendimientos de una nueva variedad; medidas sanitarias para la prevención de enfermedades; prácticas agropecuarias; manejo de medicamentos; pasos para tomar muestras, bien sea de suelos o de sangre, y estudios agroecológicos. Son escritos por investigadores y/o técnicos y destinados fundamentalmente a investigadores, técnicos y estudiantes de educación superior. La redacción de los trabajos es en forma descriptiva o de monografía. Toman la forma de folletos. No tienen periodicidad.

WAGNER, M. 2004. Riego por tuberías a presión. Maracay, Ven., Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 68 p. (Serie B - No. 6).

Agris: F06 - F60 - N20
Descripción temática: Cultivos; Riego; Fisiología y bioquímica de la planta; Maquinaria y equipo agrícola.



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
AGRÍCOLAS
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS**

Riego por tuberías a presión

Manuel Wagner*

* INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay. Venezuela.

SERIE B - N° 6

© Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas - INIA, 2011

Edif. Gerencia General del INIA

Av. Universidad, vía El Limón, Maracay, Aragua. Venezuela.

Teléfonos: (58) 243 2833155 - 2833311 - 2834321 - 2833544

Apartado postal 2103

<http://www.inia.gov.ve>

Coordinación editorial: Elio A. Pérez S.

Diagramación: Sonia Piña

Impresión y encuadernación: Taller de Artes Gráficas del INIA.

Hecho el Depósito de Ley

Versión impresa

Depósito Legal: lf22320046303418

ISBN 980-318-179-3

Versión digital

Depósito Legal: lfi2232011630738

ISBN 978-980-318-246-5

Esta obra digital es propiedad del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, publicado para el beneficio y la formación plena de la sociedad. Por ello se permite el uso y la reproducción total o parcial del mismo, siempre que no se haga con fines de lucro, se cite al autor y la institución conforme a las normas vigentes.

Contenido

Introducción	5
Relación suelo, agua y plantas con respecto al riego	7
Suelo	7
Agua	8
Planta	10
Sistema de riego por goteo	11
Sistema de riego por microjet (microaspersión)	22
Cálculo del diseño hidráulico	30
I. Selección de microjet (Spray-nozzle)	30
II. Selección del lateral	32
III. Selección del principal	33
IV. Carga total requerida en el sistema de riego	34
V. Soporte de Microjet	44
VI. Altura de succión	44
VII. Accesorios	44
VIII. Filtro	44
IX. Carga total requerida	45
X. Caballaje de potencia neta	45
Diseño de un sistema de riego por aspersión	48
Cálculo del diseño hidráulico	51
Rediseño	54
Bibliografía consultada	69

Introducción

Cuando el suministro de agua es limitado, la absorción radical del cultivo presenta trastornos severos y compromete drásticamente el desarrollo vegetal (Chapman, 1996). Al respecto, bajo condiciones de déficit hídrico, el sistema radicular está limitada para la absorción de agua y nutrientes, y por ello es necesario utilizar la aplicación del riego. En este sentido, Pla (1993) señala que en zonas de climas seco, árido y semiárido, los principales problemas de manejo están relacionados con el uso y la economía del agua. Por esta razón, el riego será requerido para poder producir en las zonas secas y áridas, mientras que en las zonas semiáridas se usará como complemento para regularizar la producción agrícola. El desarrollo del riego se ha concentrado hasta ahora en grandes y costosos sistemas, con muy poco control y eficiencia en el uso del agua, lo cual ha conducido en algunos casos a graves problemas de salinización de los suelos. En esta disciplina, de acuerdo a lo señalado por Wagner y Medina (1998), se utilizan una amplia variedad de técnicas y métodos, sin conocerse en detalle la forma en que se usa cada método, el suelo donde es aplicada el agua y el tipo de cultivo que se explota. Por otro lado, Villafañe (1998) indica que el aumento de la eficiencia de utilización del recurso agua puede ir, desde la introducción de modificaciones en la red de conducción y/o cambios en la operación de la misma, hasta mejoras en el diseño y operación del método de riego existente. Por estas razones, se proporcionan tecnologías relacionadas con el diseño y operación de métodos de riego localizado y por aspersión, que funcionen de moderada a baja presión.

Relación suelo, agua y plantas con respecto al riego

Suelo

Suelo: es un producto natural proveniente de la desintegración de las rocas por la acción del clima y los microorganismos (Casanova, 1996).

Textura: es la proporción relativa de las diferentes fracciones de arena, limo y arcilla que se encuentran separadas en el suelo. La textura es una característica permanente de los suelos. La infiltración y la retención de agua en el suelo se encuentran influidas por la textura, y contenido de materia orgánica. Es así como en un suelo arenoso la mayor proporción de agua al nivel de saturación, percola, mientras en un suelo arcilloso la mayor proporción es retenida (Villafañe, 1998).

Estructura: es la combinación o arreglo de las partículas primarias del suelo, arena, limo y arcilla, en partículas secundarias, denominadas microagregados (Torres y Güédez, 1979). La estructura es una característica morfológica importante del suelo porque tiene influencia sobre los factores de crecimiento de las plantas, infiltración, movimiento, retención de agua, aireación del suelo, penetración de raíces y actividad biológica del suelo (Villafañe, 1998).

Materia orgánica: la adición de residuos orgánicos al suelo, provenientes de plantas, y animales y su posterior descomposición por

los microorganismos, establece los procesos que determinan el nivel en la cual se acumula la materia orgánica en el suelo. El contenido de materia orgánica en el suelo mejora la agregación y estabilidad de los agregados, reduciendo la susceptibilidad a la escorrentía y erosión. Así mismo aumenta la capacidad de retención de humedad de los suelos, particularmente en aquellos de textura arenosa (Casanova, 1996).

Densidad aparente: es la relación que existe entre la masa o peso seco del suelo y la unidad de volumen aparente del mismo. El volumen aparente incluye a las partículas sólidas y el espacio aéreo (Montenegro y Malagon, 1990). La densidad aparente interactúa con la resistencia mecánica, con la estructura y con la humedad del suelo. Aunque es difícil de establecer valores óptimos, evidencias empíricas sugieren que suelos con bajas densidades aparentes resultan en rápido secado del suelo y déficit de agua para las plantas (Pla, 1993).

Macroporosidad: contenido de aire (%) que se encuentra en los poros del suelo, cuyo radio equivalente es superior a 15 micras. Si el porcentaje de macroporos es menor de 5% del volumen total del suelo, hay limitaciones para el desarrollo de agricultura con riego por presentar problemas de drenaje (Pla, 1977). Suelos de texturas finas retendrán la humedad en mayor proporción, presentando macroporosidad reducida. Mientras que los asociados con falta de retención de humedad se encuentran en suelos de texturas arenosas (Malagon, 1976).

Agua

Retención de humedad en el suelo: gran parte del agua que utilizan las plantas es la que queda retenida en el suelo, una vez que se pierde el exceso de la misma por drenaje interno. La retención está determinada por las características intrínsecas del material de suelo y por las condiciones de drenaje interno (Pla, 1977).

Capacidad de campo: corresponde al contenido de humedad (%) que queda un suelo saturado, luego de someterse por el método de Richard (1947), durante 24 horas a una presión que dependerá de la textura del suelo. Si el suelo es arenoso la presión varía entre 0,10 - 0,20 bares (10 - 20 KPa), si es franco entre 0,20 - 0,40 bares (20 - 40 KPa) y si es arcilloso entre 0,40 - 0,60 bares (40 - 60 KPa). Razuri (1976) señala que el valor medio, comúnmente, utilizado es de 0,33 bares (33 KPa).

Punto de marchitez: es el contenido de humedad (%) que queda un suelo saturado, luego de someterse por el método de Richard (1947), durante 24 horas a una presión de 15 bares (1.500 KPa).

Agua aprovechable: es la cantidad de agua aprovechable por las plantas y viene dada por la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Razuri, 1976).

Infiltración: es el movimiento descendente del agua en el suelo cuando se aplica cierta lámina de agua sobre el mismo (Razuri, 1976). Se obtiene utilizando el método de cilindros concéntricos. Existen tres modalidades de Infiltración; la acumulada, la instantánea y la básica. La infiltración instantánea y acumulada se ajusta muy bien a la mayoría de las condiciones de las prácticas de riego por superficie. Mientras la infiltración básica representa la tasa de penetración máxima y estable del agua de riego en el suelo, cuando ha transcurrido un tiempo determinado para alcanzar la condición antes descrita, se utiliza, generalmente, en la planificación del riego por aspersión. Valores inferiores a 5 mm/h acarrearán problemas de penetración de agua en el suelo, mientras valores mayores de 100 mm/h hace difícil la aplicación del riego por inundación o surcos, habiendo que recurrir al riego por aspersión y/o localizado; por goteo y microaspersión (Pla, 1977).

Planta

Uso consuntivo (evapotranspiración): es la pérdida de agua en forma de vapor desde la superficie vegetal. La tasa de evapotranspiración puede ser afectada por el tipo de cultivo, su estado de desarrollo, los métodos de riego, su operación y las prácticas agronómicas. Éste valor puede ser determinado experimentalmente o estimado mediante fórmulas matemáticas (Feddes y Lenselink, 1994).

Evapotranspiración de referencia: es la evapotranspiración desde una superficie extensa y uniforme de gramíneas que cubren completamente el suelo, el cual es abastecido adecuadamente de agua y donde la altura de plantas se mantienen entre 8 y 15 cm. (Villafañe, 1998).

Evapotranspiración del cultivo: es la evapotranspiración desde un área extensa, manejada con un cultivo en particular, libre de enfermedades, donde existe una adecuada suplencia de nutrientes y agua en el suelo, para lograr máxima producción bajo las condiciones climáticas del lugar (Villafañe, 1998).

Diseño de un sistema de riego localizado

En Venezuela, los productores de frutales han venido introduciendo el sistema de riego localizado, bien sea por goteo, microaspersión y microjet, debido a la necesidad de solventar los problemas de escasez de mano de obra y la poca disponibilidad de agua, que se presenta en aquellas zonas donde existe periodos secos bien marcados.

Este método de riego permite no solo el uso racional del agua, sino también la optimización de la cosecha de los frutales en canti-

dad y calidad. De acuerdo con lo expuesto en diversos seminarios nacionales e internacionales a las informaciones provenientes de los propios usuarios, el método de riego localizado presenta, en general, algunos problemas en cuanto a su mantenimiento y funcionamiento, los cuales afectan su eficiencia y tienden a incrementar los costos, que en principio son ya bastante elevados. Esta situación genera la posibilidad de que existan fallas en los diseños y/o la falta de un adecuado asesoramiento a los usuarios de estos equipos, por parte de las empresas vendedoras.

Sistema de riego por goteo

Para determinar la lámina neta de riego por goteo, investigaciones realizadas por Keller, citado por Pérez (1982), indican que existe menor evaporación y mayor transpiración, en comparación con los métodos de riego tradicionales. Por esta razón, la evapotranspiración dependerá del desarrollo de la copa del árbol y la sombra que ésta proyecte sobre el suelo. Para valores bajos de área sombreada, la evapotranspiración en riego por goteo no desciende en forma lineal, por esto, Keller propone para el cálculo de lámina neta de riego (L_{nr}) la fórmula siguiente:

$$L_{nr} = E_{tpm} [RA - 0,15 (1-RA)]$$

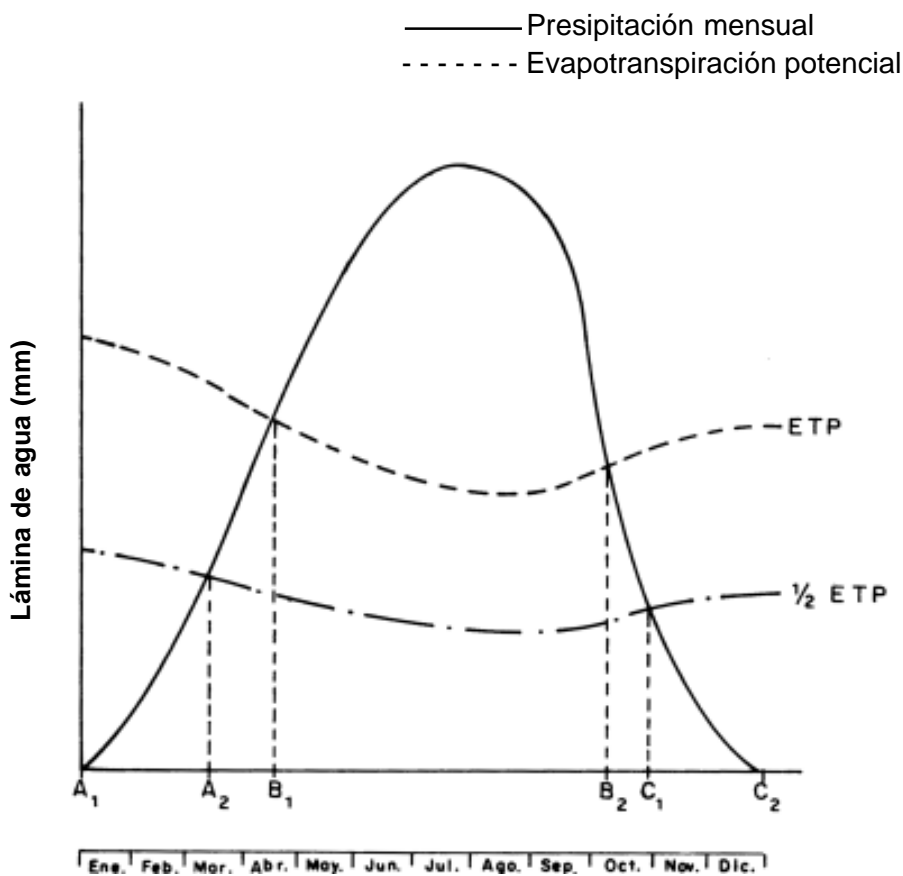
Donde:

L_{nr} = lámina neta de riego del cultivo en mm/día.

E_{tpm} = evapotranspiración máxima en mm/día

(Figuras 1, 2, 3 y Cuadro 1).

RA = relación de área, adimensional.



Períodos agroclimáticos

- A₁A₂= Período seco (aplicación de riego normal)
- A₂B₁= Período prehúmedo (aplicación complementaria)
- B₁B₂= Período húmedo (uso de drenaje)
- B₂C₁= Período posthúmedo (aplicación de riego complementario)
- C₁C₂= Período seco (aplicación de riego normal)

Fuente: Modelo de Franklin P. (1968) PRSTOM., Brito (1983)

Figura 1. Períodos agroclimáticos, modelo de Franklin.

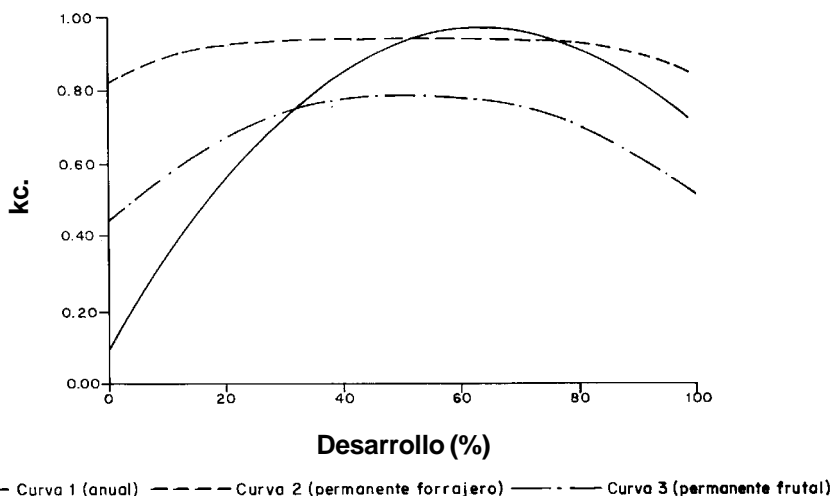


Figura 2. Curvas que relacionan el desarrollo de cultivos con el coeficiente de desarrollo (Wagner, 1979).

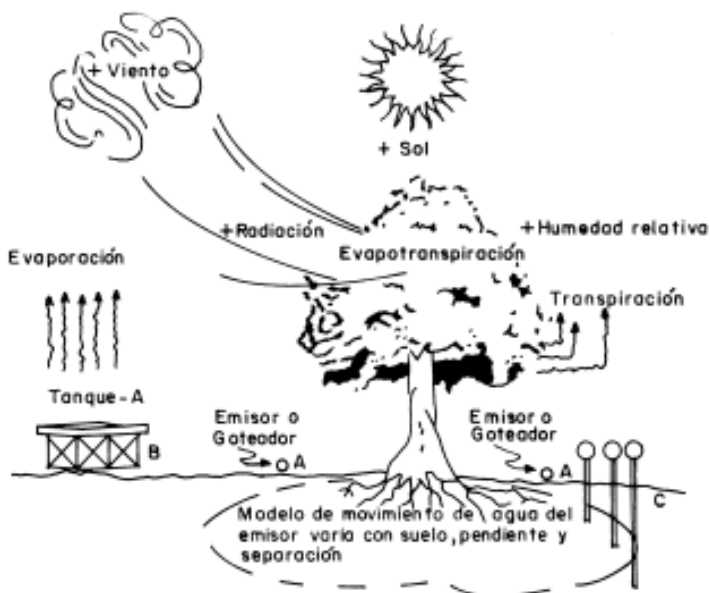


Figura 3. Relación entre la evaporación, la transpiración y la evapotranspiración de un cultivo (Howard, 1980).

Cuadro 1. Valores de evaporación diaria de Yaritagua, estado Yaracuy.

Día	Evaporación (mm)											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agó.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	5,1	4,5	7,5	9,0	7,8	4,4	2,5	4,6	5,7	6,4	5,4	5,8
2	7,2	7,8	4,6	9,4	6,9	5,8	1,7	2,3	5,8	3,7	4,3	-
3	4,0	7,7	9,4	8,3	7,6	3,8	6,5	5,1	5,7	5,5	5,7	-
4	7,7	8,9	10,1	8,9	3,3	2,6	6,6	2,5	6,2	6,5	4,3	4,1
5	5,0	8,1	9,1	4,2	7,1	3,1	4,9	3,9	5,0	8,3	2,1	2,2
6	5,5	9,5	8,8	8,4	8,6	3,1	5,3	4,1	3,2	5,1	3,6	5,3
7	7,8	9,5	9,2	11,2	7,0	3,1	1,5	5,1	8,0	5,6	4,5	5,8
8	7,0	7,4	8,3	10,5	-	2,2	1,9	5,0	6,4	6,2	3,7	5,2
9	6,0	10,8	8,0	9,0	1,3	5,2	5,1	5,2	6,9	6,0	4,1	6,1
10	8,0	8,4	8,2	9,9	6,9	6,2	3,3	4,0	6,2	5,2	4,4	3,7
11	5,3	7,6	7,5	8,1	5,1	4,0	5,2	4,2	2,6	3,4	5,5	5,0
12	2,5	9,0	9,0	10,7	8,6	4,0	6,2	6,0	5,7	4,8	5,1	6,2
13	5,2	6,2	8,3	9,1	5,0	3,0	5,5	3,0	6,3	6,2	4,9	5,0
14	8,4	6,1	10,4	10,4	7,2	2,7	2,3	4,6	5,2	1,5	5,0	4,0
15	5,6	6,3	7,6	9,2	3,8	4,0	-	4,9	5,2	1,6	5,2	5,2
16	5,6	2,5	10,3	8,3	5,4	8,2	-	6,8	4,6	6,3	4,3	5,6
17	7,3	4,4	10,5	8,8	7,2	3,8	-	6,5	4,2	4,9	0,6	4,8
18	8,3	5,5	11,1	9,3	4,6	3,4	4,8	4,8	-	5,1	1,9	5,5
19	8,1	7,7	10,7	5,7	6,6	2,8	7,4	4,8	-	6,5	3,7	5,2
20	8,8	7,1	9,2	5,6	5,4	2,5	6,4	5,2	-	4,7	5,0	5,0

...Continúa

...Continuación Cuadro 1.

Día	Evaporación (mm)											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agó.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
21	7,5	8,1	10,2	8,4	2,9	4,4	5,1	3,6	5,0	5,1	2,3	4,8
22	8,2	9,6	9,2	7,8	1,5	2,8	3,9	1,8	1,0	5,0	5,0	4,7
23	7,9	8,6	8,6	9,9	2,5	4,8	4,7	4,7	5,6	6,2	5,5	6,0
24	9,1	8,6	10,7	10,6	2,5	1,6	5,6	5,8	6,3	6,6	3,5	5,3
25	6,4	7,8	11,3	10,3	2,5	2,1	4,9	5,0	6,4	5,7	5,4	5,0
26	6,4	7,9	10,0	8,0	2,5	-	6,7	1,6	5,3	6,9	3,2	5,9
27	7,8	10,5	11,5	8,0	2,5	-	3,0	5,7	5,9	4,5	4,6	5,1
28	6,6	8,8	11,5	7,0	2,5	5,1	6,6	7,0	4,8	3,6	4,5	4,3
29	5,1	-	10,6	7,3	2,5	5,1	-	4,6	-	4,6	3,2	4,7
30	6,4	-	8,8	8,5	6,0	5,6	3,4	4,3	5,8	4,7	5,8	3,5
31	3,7	-	5,4	-	6,4	-	5,6	6,2	6,5	2,1	-	5,8
Total	207,3	205,6	286,6	280,7	134,3	(109,7)	(129,9)	(143,2)	143,5	165,5	126,1	145,5
											Annual	(2 047,9)

Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. 1986. Índice pluvio-evaporimétricos. 5 p.

De acuerdo a la fórmula anterior, se debe calcular, previamente, la relación de área (RA):

$$RA = \frac{As}{Am} = \frac{\pi \times r^2}{H \times h}$$

Donde:


RA = relación de área en m².

As = área sombreada de la copa del árbol en m².


H = separación entre hilera.

h = separación en la hilera.

R = radio de la circunferencia o sombra del árbol en m.

 = 3,1416.

Como ejemplo se puede indicar el siguiente: si el cultivo es aguacatero y las plantas están separados 8 x 8 m y el radio que proyecta la copa del árbol es de 3 m (Figura 4), la relación de área es igual a:

$$RA = \frac{\text{ \times r^2}{H \times h} = \frac{3,1416 \times (3)^2}{8 \times 8} = \frac{28,74}{64} = 0,44$$

$$E_{tpm} = K_t \times K_c \times E_v; \left[K_t = \frac{4,64 - \text{Log } E_a}{1,74} \right]$$

$$E_{tpm} = \frac{(4,64 - \text{Log } E_a)}{1,74} \times K_c \times E_v =$$

$$E_{tpm} = \frac{(4,64 - \text{Log } 2\,047,9)}{1,74} \times 0,78 \times 5,61 = 3,34 \text{ mm/día}$$

Donde:

K_t = factor de ajuste de la tina (Michelangelli, 1976).

K_c = coeficiente del cultivo aguacate (Figura 2).

E_v = evaporación (mm/día).

E_a = evaporación anual (mm).

Al disponerse de la Etpm y de RA, se procede al calculo de la lámina neta diaria:

$$Lnr = 3,34 [0,44 + 0,15 (1 - 0,44)] = 1,75 \text{ mm/día}$$

El sistema de riego por goteo tiene una característica relevante y ésta es el elevado nivel de eficiencia que se logra en el uso del agua (Pérez, 1982). Con un manejo óptimo del riego, el valor de la eficiencia de aplicación en este método es igual a:

$$Efa = Efd \times Eft$$

Donde:

Efa = eficiencia de aplicación en tanto por uno.

Efd = eficiencia de distribución en tanto por uno.

Eft = eficiencia de transpiración en tanto por uno.

De acuerdo a lo indicado por Añez, citado por Pérez (1982), se puede calcular los valores de eficiencia de distribución utilizando como referencia el Cuadro 2.

Cuadro 2. Recomendación para estimar la eficiencia de distribución en un método de riego por goteo.

Eficiencia de distribución	Topografía	
	Uniforme	Ondulado
Efd	0,80 – 0,90	0,70 – 0,80

Fuente: Pérez, F. 1982. Manual de riego localizado. Maracay, Ven., UCV. Facultad de Agronomía. 125 p.

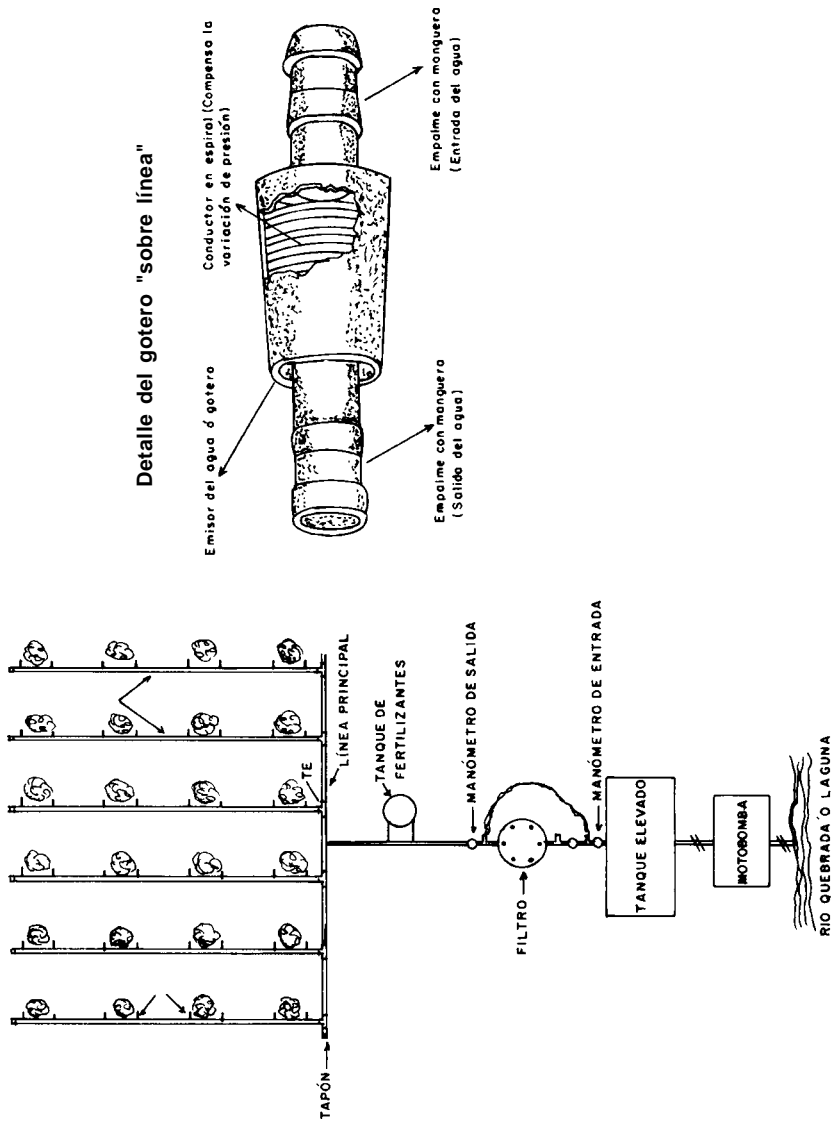


Figura 4. Esquema de un sistema de riego por goteo.

Si el cultivo del aguacatero está sembrado a 8 x 8 m, bajo condiciones topográficas uniformes, la eficiencia de distribución oscila entre 0,80 - 0,90. Tomando el valor promedio 0,85 y con los datos del Cuadro 3 se extrae la Eficiencia de Transpiración, para una condición climática árida, una profundidad radical de 0,80 m un suelo de textura franco-arenosa. El valor encontrado es igual a 0,95. Conociendo ambos valores, se calcula la eficiencia de aplicación del sistema de riego.

$$E_{fa} = 0,85 \times 0,95 = 0,81$$

Cuadro 3. Recomendación para estimar la eficiencia de transpiración en un método de riego por goteo.

Zona climática	Profundidad de las raíces	Eficiencia de transpiración			
		Textura del suelo			
		Muy arenosa	Arenosa	Media	Fina
Árida	Menor de 0,75	0,85	0,90	0,95	0,95
	0,75 – 1,50	0,90	0,90	0,95	1,00
	Mayor de 1,50	0,95	0,95	1,00	1,00
Húmeda	Menor de 0,75	0,75	0,80	0,85	0,90
	0,75 – 1,50	0,80	0,80	0,90	0,95
	Mayor de 1,50	0,85	0,90	0,95	1,00

Fuente: Pérez, F. 1982. Manual de riego localizado. Maracay, Ven., UCV. Facultad de Agronomía. 125 p.

Con los datos obtenidos de la Lámina neta total (Lnt) y la Eficiencia de aplicación (Efa), se calcula la Lámina bruta de riego (Lb).

$$L_b = \frac{L_{nt} \text{ (mm)}}{E_{fa} \text{ (decimal)}} = \frac{1,75}{0,81} = 2,16 \text{ mm}$$

En el ejemplo anterior, considerando una textura del suelo franco-arenosa y una profundidad radical de 80 cm, se puede estimar el gasto o descarga del gotero (Q_g) a seleccionar, de acuerdo con las cifras del Cuadro 4, el valor escogido oscila entre 8 - 12 l/h. En el mercado se puede adquirir goteros tipo inserte de 8 l/h.

Con la información de la textura del suelo y la descarga o gasto de un gotero se puede obtener el diámetro mojado (D_m), de acuerdo a los valores presentados en el Cuadro 5.

Cuadro 4. Recomendación para estimar la descarga o gasto de un gotero.

Profundidad radical (cm)	Gasto o descarga de un gotero (l/h)	
	Textura del suelo	
	Franco (no arenoso)	Arcilloso (pesados)*
0 - 30	4-8	2 - 4
30 - 60	6-10	4
60 - 90	8-12	6

* Para suelos arenosos es recomendable usar Microjet.

Fuente: Pérez, F. 1982. Manual de riego localizado. Maracay, Ven., UCV. Facultad de Agronomía. 125 p.

Cuadro 5. Diámetro mojado por gotero expresado en metros.

Textura	Diámetro mojado (m)			
	Gasto (l/h)			
	2	4	8	12
Gruesa (no arenosa)	0,4	0,7	1,0	1,2
Media	0,8	1,4	2,0	2,6
Fina	1,5	2,0	2,5	3,0

Fuente: Pérez, F. 1982. Manual de riego localizado. Maracay, Ven., UCV. Facultad de Agronomía. 125 p.

Para el caso del aguacatero, como se trata de un gotero con un gasto de 8 l/h y es un suelo de textura franco-arenosa (media), el diámetro mojado (Dm) es igual a 2 m. Este último valor se toma como referencia para calcular el área que es capaz de regar un gotero (Ag), aplicando la fórmula siguiente:

$$Ag = \pi \left(\frac{Dm}{2} \right)^2 = 3,1416 \left(\frac{2m}{2} \right)^2 = 3,1416m^2/\text{gotero}$$

Conociendo el área que ocupa un gotero (Ag = 3,1416 m²/gotero) y el área sombreada de la copa del árbol (As = 28,74 m²) se puede determinar el número de goteros a utilizar en cada planta, por medio de la fórmula siguiente:

$$Ng = \frac{As}{Ag} = \frac{28,74m^2}{3,1416m^2/\text{gotero}} = 9 \cdot \text{goteros}$$

En este caso, con el número de goteros por planta (Ng = 9 goteros) y el gasto emitido por cada gotero (Qg = 8 l/h), se determina el gasto total por planta (Qt), aplicando la fórmula siguiente:

$$Qt = Qg \times Ng = 8 \text{ l/h} \times 9 \text{ goteros} = 72 \text{ l/h/goteros}$$

Pérez (1982) señala que cuando la cantidad de goteros es numerosa, se recomienda utilizar el método de riego por microjet (microaspersión). El productor de aguacate debe aplicar una cantidad precisa de agua, que llegue a la zona radical, no sólo de la planta, sino también para evitar un exceso de humedad, que favorezca el ataque de hongos. Por esta razón, debe calcularse el tiempo o la duración del riego, de la manera más preciso posible, mediante la fórmula siguiente:

$$Tr = \frac{Lb \times As}{Qt}$$

Donde:

Tr = duración del riego en horas.

Lb = lámina bruta en mm.

As = área sombreada en m².

Qt = gasto o descarga total de los goteros por planta en l/h.

$$Tr = \frac{2,16 \text{ mm} \times 28,74 \text{ m}^2}{72 \text{ l/h}} = 0,86 \cong 1 \text{ hora.}$$

Sistema de riego por microjet (microaspersión)

El riego por microjet constituye un método reciente de aplicar el agua al terreno (Figura 5), el cual cambia totalmente las prácticas que normalmente rigen la utilización de los restantes métodos existentes en el país. En este sentido, la preparación del agricultor para un empleo eficiente exige que esté centrado en el conocimiento de los factores que siguen su diseño y las características propias de los elementos que lo componen. Barreto (1973) señala que la idea base del riego por microjet (microaspersión) radica en reponer con una frecuencia de riego, que oscila entre 1 - 3 días, la cantidad de agua extraída por el cultivo del suelo, tomando en cuenta que el contenido útil de humedad que exista en el suelo no descienda por debajo de 50 - 60% o que el coeficiente de agotamiento sea de 50 - 40%, de su capacidad total de retención. Esto conduce a establecer que la aplicación del agua por unidad de superficie sea muy pequeña y la variación de descarga de los microaspersores varíe entre 30 y 120 l/h (Pérez, 1982). Actualmente, en Venezuela existen empresas comerciales encargadas de distribuir este tipo de equipo de riego, las cuales tienen en existencia microaspersores de 30, 35, 40, 70 y 100 l/h.

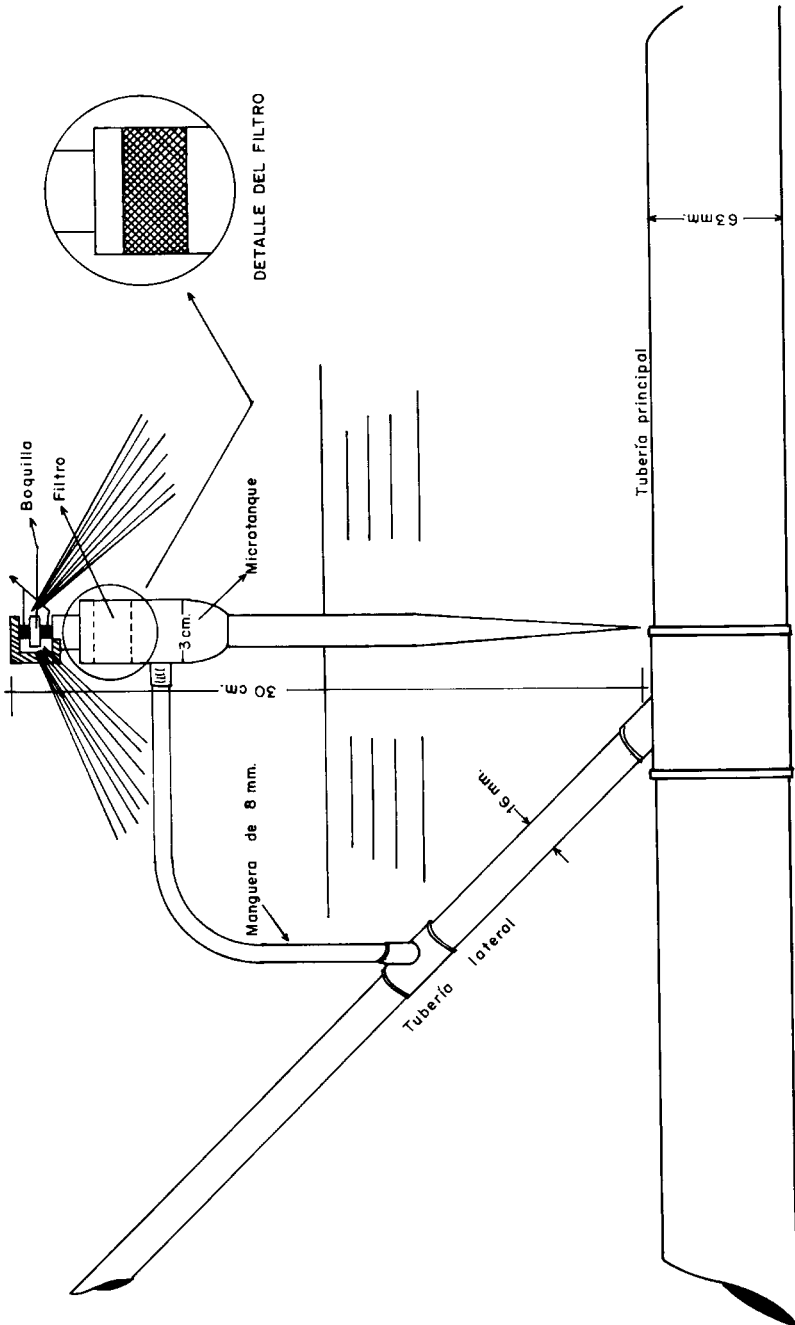


Figura 5. Microaspersor (Spray - Nozzle) acoplado a manguera de distribución y conducción de agua.

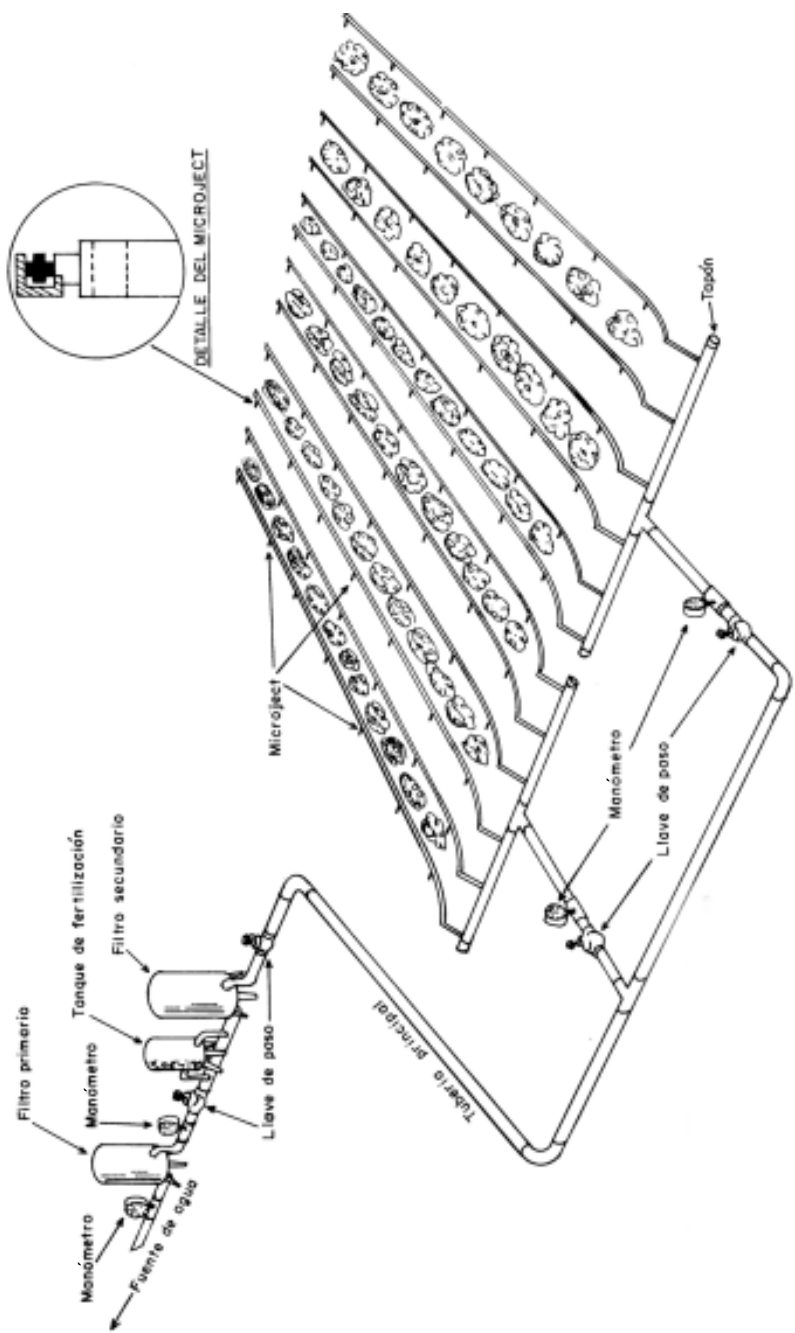
La composición de un sistema de riego microjet se detalla en la Figura 6, destacándose:

- Una fuente de abastecimiento de agua (río, estanque, pozo profundo).
- Un equipo de bombeo o tanque elevado.
- Filtrado de sistema (hidrociclón), filtro de basalto, filtro de arena.
- Reguladores de presión, válvulas de alivio, etc.
- Tanques de fertilizantes.
- Tuberías de conducción y distribución.
- Tuberías para líneas regantes.
- Microaspersores o microjet (Figura 5).
- Accesorios: manómetros, válvulas de limpieza, etc.

A continuación se presenta como ejemplo de aplicación, el manejo del sistema de riego en el campo, con la finalidad de dar una orientación al productor de naranja.

Como referencia se tomará un huerto de naranja, el cual se encuentra establecido en el Campo Experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIA, Maracay, estado Aragua, bajo condiciones de suelo franco-arenoso. Primero se determinará la evapotranspiración potencial máxima del cultivo de naranja, mediante la fórmula señalada por Pérez, (1982):

$$E_{tpm} = E_v \times K_t \times K_c$$



Fuente: Howard J. 1980. Planning for on irrigation System p. 89

Figura 6. Componentes de un sistema de riego por microproject.

Donde:

Etpm = evapotranspiración potencial máxima en mm/día.

Ev = evapotranspiración tina-tipo A, en mm/día.

Kt = Constante de ajuste al método de la tina A (Michelangelli, 1976).

Kc = coeficiente de desarrollo del cultivo naranja (Figura 2).

En la zona bajo estudio, Wagner *et al.*, (1998) registraron datos de evaporación anual de 1 654,10 mm, los cuales equivalen a 4,53 mm/día. El coeficiente de desarrollo del cultivo (Kc) para el cultivo de naranja es igual a 0,79 (Hargreaves citado por Grassi, 1975). Con la información de ambos datos se calcula la Etpm del cultivo:

$$Etpm = \frac{Ev \times (4,64 - \text{Log } Ea) \times Kc}{1,74}$$

$$Etpm = \frac{4,53 (4,64 - \text{Log } 1\ 654,10) \times 0,79}{1,74}$$

$$Etpm = 4,53 \times 0,82 \times 0,79 = 2,93 \text{ mm/día}$$

Barreto (1973) señala que la frecuencia de riego (F) no debe exceder de tres días, para que la planta no realice un esfuerzo hídrico que merme su producción. En consecuencia, se toma dos días como referencia y conociendo el valor de Etpm, se calcula la lámina neta de riego (Ln) aplicando la fórmula siguiente:

$$Ln = Etp_m \times F = 2,93 \text{ mm/día} \times 2 \text{ días} = 5,86 \text{ mm}$$

Pérez (1982) señala que entre las características que tiene el riego por microaspersión, destaca el elevado nivel de eficiencia que se logra en el uso del agua. Con un manejo óptimo del riego, la eficiencia de aplicación de este método es igual a:

$$E_{fa} = E_{fd} \times E_{ft}$$

Donde:

E_{fa} = eficiencia de aplicación en tanto por uno.

E_{fd} = eficiencia de distribución en tanto por uno.

E_{ft} = eficiencia de transpiración en tanto por uno.

Tomando como referencia al cultivo de naranja, la cual está sembrado a 6 x 6 m y se encuentra bajo condiciones topográficas uniformes (Figura 7), se puede observar en el Cuadro 6 que la eficiencia de distribución oscila entre 0,90 y 0,94, y el valor promedio es 0,92. Con la información del Cuadro 7, se elige el valor de la eficiencia de transpiración para una condición climática árida y con una profundidad radical de 0,80 m. Entonces, para un suelo de textura franco-arenosa se encuentra un valor igual a 0,85.

$$E_{fa} = 0,92 \times 0,85 = 0,782$$

Cuadro 6. Recomendación para estimar la eficiencia de distribución de un método de riego por microjet.

Topografía	Microjet	
	Muy espaciados mayor de 2,5 m	Poco espaciados menor de 2,5 m
Uniforme	0,90 < E_{fd} < 0,94	0,86 < E_{fd} < 0,90
Ondulada	0,88 < E_{fd} < 0,92	0,84 < E_{fc} < 0,90

Fuente: Pérez, F. 1982. Manual de riego localizado. Maracay, Ven., UCV. Facultad de Agronomía. 125 p.

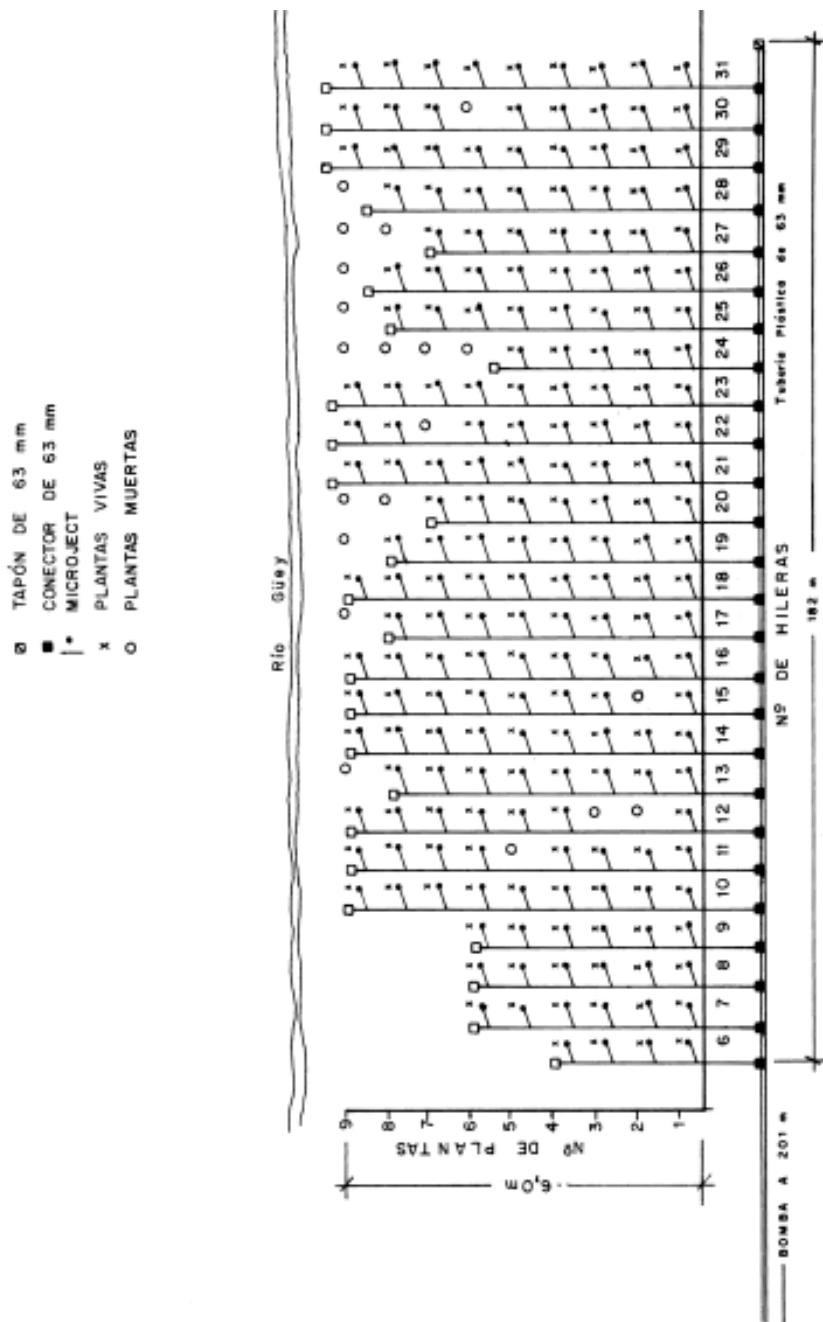


Figura 7. Componentes de un sistema de riego por microjet diseñado para un huerto cítrica del Campo Experimental del Ceniap.

Con los datos estimados de la lámina neta de riego (L_n) y la eficiencia de aplicación se calcula la lámina bruta de riego (L_b):

$$L_b = \frac{L_n \text{ (mm)}}{E_{fa} \text{ (decimal)}} = \frac{5,86 \text{ mm}}{0,782} = 7,49 \text{ mm}$$

Wagner *et al.*, (1983) señalan que el radio de humedecimiento de un microjet varía entre 1,65 - 2,19 m (Cuadro 8). Sí se toma el valor promedio de éste (1,92 m) y aplicando la fórmula de la circunferencia, se puede calcular el área de humedecimiento del microjet (A_h), por medio de la ecuación siguiente:

$$A_h = \pi r^2 = 3,1416 (1,92 \text{ m})^2 = 11,58 \text{ m}^2$$

En Venezuela existen empresas distribuidoras de equipos de riego por microaspersión, los mismos emiten una descarga que varía entre 12-120 l/h. En este caso se tomará como referencia un microjet que tenga una descarga de 70 l/h, donde la duración o tiempo de riego se determina por la fórmula siguiente:

$$tr = \frac{L_b \times A_h}{Q}$$

tr = duración del riego en horas.

L_b = lámina bruta en mm.

A_h = área de humedecimiento del suelo en m^2 .

Q = descarga del microjet en l/h.

$$tr = \frac{7,49 \text{ mm} \times 11,58 \text{ m}^2}{70 \text{ l/h}} = 2 \text{ horas}$$

En resumen, este productor debe mantener en funcionamiento su sistema de riego durante 2 horas, cada dos días, con la finalidad de garantizar la aplicación del agua que el cultivo requiere para su óptimo desarrollo y producción (Figura 6).

Cuadro 7. Recomendación para estimar la eficiencia de transpiración en un método de riego por microjet.

Zona Climática	Profundidad de las raíces	Eficiencia de transpiración			
		Textura del suelo			
		Muy arenosa	Arenosa	Media	Fina
Árida	Menor de 0,75	0,75	0,80	0,85	0,85
	0,75 – 1,50	0,80	0,80	0,85	0,90
	Mayor de 1,50	0,75	0,85	0,90	0,90
Húmeda	Menor de 0,75	0,70	0,75	0,80	0,85
	0,75 – 1,50	0,75	0,75	0,85	0,90
	Mayor de 1,50	0,80	0,85	0,90	0,95

Fuente: Pérez, F. 1982. Manual de riego localizado. Maracay, Ven., UCV. Facultad de Agronomía. 125 p.

Cálculo del diseño hidráulico

I. Selección de microjet (Spray-nozzle)

De acuerdo a los fabricantes de equipos para riego, existen microjet con las características hidráulicas siguientes:

- Microjet EINTAL 40 (40 litros por hora) 20 PSI máximo.
- Microjet DAN PAL 70 (70 litros por hora) 20 PSI máximo.
- Microjet EINTAL 35 (35 litros por hora) 20 PSI máximo.

Cuadro 8. Determinación del área efectiva de riego (AER) en un huerto cítrico con riego por microjet en el Campo Experimental del Ceniap.

Hileras (N°)	Microjet	Gasto (l/h)	Presión (libras/pulgada ²)	RH (m)	RS (m)	La (m)	A1 (m ²)	As (m ²)	AER* (m ²)
31	5 (5)	49,68	9,00	1,78	1,20	0,79	9,95	0,332	9,618
29	1 (18)	61,20	11,50	2,37	1,49	1,50	17,63	0,320	17,32
28	4 (31)	61,20	10,50	2,22	1,43	1,29	15,47	0,870	14,50
26	6 (44)	68,40	13,00	1,89	1,21	0,89	11,21	0,295	10,91
24	5 (58)	59,76	10,00	1,69	1,00	0,10	8,96	0,024	8,93
23	9 (71)	59,76	12,50	1,72	0,65	1,15	9,28	0,110	9,17
21	5 (84)	68,40	10,50	2,25	1,30	1,12	15,89	0,730	15,16
19	3 (98)	59,76	10,50	2,01	0,71	0,10	12,68	0,087	12,59
18	2 (111)	57,76	11,00	1,57	1,45	1,19	7,73	0,760	6,97
16	6 (124)	59,76	11,00	1,89	1,50	1,10	11,21	0,602	10,608
14	9 (138)	56,16	11,50	2,02	1,33	3,07	12,81	2,170	10,64
13	5 (151)	68,40	20,00	2,23	1,19	0,44	15,61	0,030	15,58
11	3 (164)	68,40	19,50	1,90	1,30	0,88	11,34	0,353	10,98
10	1 (178)	59,76	20,50	1,46	1,14	1,20	6,69	0,0636	6,054

* Velocidad del viento (10/1/83 = 5 km/h).

Fuente: Wagner, M.; Haddad, O.; Guevara, R. 1983. Caracterización de un sistema de riego por aspersión en los valles de Taiguaguay y Tucutunemo y su comparación con un modelo de riego. *Agronomía Tropical* (Ven.) 36(4-6):51-62.

De estos modelos, se eligió como referencia el microjet Manitrón DAN PAL 70 (Empresa fabricante, señalado por Aguasol, 1980), cuya descarga es de 70 l/h y de una presión máxima de 20 libras/pulgada². De ahí que el gasto del microjet es igual a:

$$q_m = 70 \text{ l/h (referencia tomada de los fabricantes)}$$

II. Selección del lateral

Para seleccionar la tubería lateral, es necesario conocer el gasto en el lateral (QL) y el diámetro de la tubería lateral correspondiente (DL). Por otra parte, debido a que el huerto de cítricas no es uniforme en cuanto a la distribución de las plantas (Figura 7), se tomaron como referencia 9 plantas/hileras para calcular el número de microjet por lateral.

Gasto en el lateral

Si el microjet seleccionado tiene una descarga 70 l/h por planta, el gasto en el lateral está en función de:

$$QL = nm \times q_m$$

Donde:

$$\begin{aligned} QL &= \text{gasto en el lateral (m}^3\text{/h)}. \\ nm &= \text{número de microjet por lateral.} \\ q_m &= \text{gasto del microjet (m}^3\text{/h)}. \end{aligned}$$

Entonces:

$$QL = 9 \times 70 \text{ l/h} = 630 \text{ l/h (0,63 m}^3\text{/h)}$$

Diámetro de la tubería lateral

El diámetro de la tubería lateral se determina siguiendo el procedimiento señalado por Saint (1975), el cual toma como referencia el gasto aplicado por el microjet seleccionado y la ecuación siguiente:

$$DL = 15,5 (QL)^{0,5}$$

Donde:

DL = Diámetro de la tubería lateral (mm).

QL = Gasto que circula en el lateral (m³/h).

Luego:

$$DL = 15,5 (0,63 \text{ m}^3/\text{h})^{0,50}$$

$$DL = 12,30 \text{ mm}$$

$$DL = 12,50 \text{ mm (medida comercial más cercana)}$$

III. Selección del principal

Para la selección del principal, se calcula el gasto de la tubería principal (QP) y el diámetro de la tubería lateral correspondiente (DL).

Gasto en la tubería principal

Para un huerto de naranja, que tiene 210 plantas (Figura 7), se regará por una tubería principal y el gasto se determina utilizando la ecuación siguiente:

$$QP = N \times Qm$$

Donde:

QP = Gasto en la tubería principal (m^3/h).

N = Número de microjet.

QM = Gasto en cada microjet (m^3/h).

Entonces:

$$QP = 210 \times 70 \text{ l/h} = 14\,700 \text{ l/h} \text{ (} 14,70 \text{ m}^3/\text{h}\text{)}$$

$$QP = 14,7 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Diámetro de la tubería principal

El diámetro de la tubería del principal se determina utilizando el procedimiento indicado por Saint (1975), el cual toma como referencia el gasto aplicado por el microjet seleccionado y se calcula por medio la ecuación siguiente:

$$D_p = 15,5 (QP)^{0,50}$$

Donde:

D_p = Diámetro de la tubería principal (mm).

QP = Gasto que circula por la tubería principal (m^3/h).

Entonces:

$$D_p = 15,5 (QP)^{0,50}$$

$$D_p = 15,5 (14,7 \text{ m}^3/\text{h})^{0,50}$$

$$D_p = 59,42 \text{ mm}$$

IV. Carga total requerida en el sistema de riego

El microjet posee una presión de trabajo máxima de 20 libras/pulgada², que es igual a 13,60 m. Para determinar las pérdidas de carga unitarias en la tubería lateral y principal se utilizará el Ábaco

de Tisón (Figura 8). Para cada caso en particular se determinó el gasto (l/s) y el diámetro (mm) de cada tubería seleccionada, estos resultados son llevados y graficados en el Ábaco de Tisón, uniendo el valor de ambos puntos y prolongando una recta hasta interceptar la pérdida de carga unitaria de la tubería, la cual es expresada en mm.

Pérdida de carga total en tubería lateral

Para calcular la pérdida de carga total en la tubería lateral se utiliza la fórmula siguiente:

$$HL = Hlu \times LI \times Csm$$

Donde:

HL = Pérdida de carga total en tubería lateral (m).

Hlu = Pérdida de carga unitaria en la tubería lateral (m/m).

LI = Longitud de la tubería lateral (m.)

Csm = Coeficiente de salida múltiple en función de número de microjets a instalar.

Por lo tanto: con QL = 630 l/h (0,18 l/s) y DL = 12,5 mm, se busca en el ábaco de Tisón (Figura 8) el valor de las pérdidas de cargas unitarias en la tubería lateral, luego:

$$Hlu = \frac{2,5 \text{ m/m}}{10}$$

Si la longitud del lateral (LI) es igual a 63 m y el coeficiente de salidas múltiples (Csm) para 9 microjets es 0,391 (Cuadro 9), la pérdida de carga por fricción (HL) en la tubería lateral es igual a:

$$HL = Hlu \times LI \times Csm$$

$$HL = \frac{2,5 \text{ m/m} \times 63 \times 0,391}{10} = 6,16 \text{ m}$$

Para comprobar la veracidad del diámetro del lateral seleccionado se utiliza la fórmula siguiente:

$$\blacktriangle HLMAX = 0,235 \times Pm$$

Donde:

$\blacktriangle HLMAX$ = Diferencia de presión máxima aceptable entre los extremos del lateral (m).

Pm = Presión media del microjet (m)

Entonces:

$$\blacktriangle HLMAX = 0,235 \text{ m/m} \times 13,60 \text{ m}$$

$$\blacktriangle HLMAX = 3,20 \text{ m}$$

Si HL es mayor que $\blacktriangle HLMAX$ se rechaza el diámetro de la tubería, hasta verificar que HL sea menor o muy próximo a $\blacktriangle HLMAX$. En este caso, HL (6,16 m) es mayor que $\blacktriangle HLMAX$ (3,20 m), por lo tanto, se rechaza la tubería de 12,5 mm y se realiza la prueba con la tubería de 16 mm de diámetro, cuya presión de resistencia es de 2,5 kg/cm² (Pérez, 1982).

Para determinar de nuevo el valor de HL, se tiene los resultados de QL = 630 l/h (0,18 l/s) y DL = 16 mm, se busca en el Ábaco de Tisón (Figura 8) el valor de las pérdidas de cargas unitarias en la tubería lateral, luego:

$$Hlu = \frac{1 \text{ mm}}{100}$$

Cuadro 9. Coeficiente de perdidas de carga por fricción en tuberías plásticas con salidas múltiples.

Número de salidas (Csm)	Coeficiente de salidas
1	1,000
2	0,625
3	0,518
4	0,469
5	0,440
6	0,412
7	0,408
8	0,398
9	0,391
10	0,385
11	0,380
12	0,376
13	0,373
14	0,370
15	0,367
16	0,365
17	0,363
18	0,361
19	0,360
20	0,359
22	0,357
24	0,355
26	0,353
28	0,351
30	0,350
35	0,347
40	0,345
50	0,343
100	0,338

Fuente: Grassi, C. 1976. Métodos de riego. Mérida, Ven., CIDIAT. p. 265

Nota: Cuando el número de salidas es mayor de 100, el factor tiende a ser constante, teniendo un valor de 0,353.

Donde: $H_{fe} = H_f \times C_{sm}$.
 C_{sm} = Coeficiente de salidas.
 N = Número de salidas.
 H_{fc} = Perdidad de carga por fricción corregida.
 H_f = Perdida de carga por fricción.

Entonces:

$$HL = Hlu \times LI \times csm = \frac{1 \text{ mm}}{100} \times 63 \times 0,391$$

$$HL = 0,24 \text{ m}$$

Como el valor de HL (0,24 m) es menor que el de $\blacktriangle HLMAX$, se acepta comercialmente el diámetro de 16 mm.

La presión al inicio del lateral (PL) viene dada por la fórmula siguiente:

$$PL = Pm + \frac{3}{4} HL \pm \frac{1}{2} So$$

Donde:

PL = Presión al inicio del lateral (m).

Pm = Presión de trabajo del microjet (m).

HL = Pérdida de carga en el lateral (m).

So = Pérdida de carga por desnivel del terreno (m),
despreciable = 0

Entonces:

$$PL = 13,60 \text{ m} + \frac{3}{4} (0,24 \text{ m}) + 0 \text{ m}$$

$$PL = 13,78 \text{ m}$$

Pérdidas de carga en la tubería principal (ramal de 182 m)

Para calcular la pérdida de carga en la tubería principal de 182 m (Figura 8), primero se determina el gasto en ese ramal (l/s), con la fórmula siguiente:

$$QR_1 = NL \times QL$$

$$QR_1 = 25 \times 0,18 = 4,50 \text{ l/s}$$

Donde:

QR_1 = Gasto en el ramal de 182 m (4,50 l/s).

NL = Número de laterales que integran ese ramal.

QL = Gasto en el lateral (l/s).

Con el gasto en el ramal ($QR_1 = 4,50$ l/s) y el diámetro de la tubería calculado $D_p = 59,42$ mm (63 mm, valor comercial) se busca en el Ábaco de Tisón el valor de las pérdidas de carga unitaria en ese ramal: $HRu_1 = 4$ m/100m (Figura 8).

Si la longitud del ramal (LR_1) es 182 m (Figura 7), la pérdida de carga en este ramal (HRT_1) vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$HRT = \frac{HRu_1 \times LR_1}{100 \text{ m}}$$

Donde:

HRT_1 = Pérdida de carga total (m) en el ramal de 182 m.

HRu_1 = Pérdida de carga unitaria (m) en el ramal de 182 m.

LR = Longitud (m) en el ramal de 182 m.

Entonces:

$$HRT_1 = \frac{4,00 \text{ m} \times 182 \text{ m}}{100 \text{ m}}$$

$$HRT_1 = 7,28 \text{ m}$$

Para comprobar la veracidad del diámetro seleccionado para el ramal se considera la fórmula siguiente:

$$\blacktriangle HRTMAX_1 = 0,169 \times PL$$

Donde:

$\blacktriangle HRTMAX_1$ = Presión máxima aceptable en el ramal de 182 m, expresada en metros.

PL = Presión al inicio del lateral (m).

Entonces:

$$\blacktriangle \text{HRTMAX}_1 = 0,169 \times 13,78$$

$$\blacktriangle \text{HRTMAX}_1 = 2,32 \text{ m}$$

Como $\text{HRT}_1 = 7,28 \text{ m}$ es mayor que $\blacktriangle \text{HRTMAX}_1 = 2,32 \text{ m}$, se rechaza el diámetro calculado de 63 mm y se prueba con la tubería comercial de 75 mm (3"). Si el valor calculado es menor o próximo a $\blacktriangle \text{HRTMAX}_1 = 2,32 \text{ m}$ se acepta esta tubería.

Como:

$$\text{QR}_1 = 4,50 \text{ l/s}$$

$$\text{Dp} = 75 \text{ mm (Figura 8)}$$

$$\text{HRT}_1 = \frac{1,5 \text{ m/m}}{100} \times 182 \text{ m}$$

$$\text{HRT}_1 = 2,73 \text{ m}$$

Donde:

$$\text{PT}_1 = \text{PL} + \text{HRT}_1 \pm \text{So}$$

PT_1 = Presión al inicio del ramal.

HRT_1 = Pérdida de carga total en el ramal (m).

PL = Presión al inicio del lateral (m).

So = Perdida de carga por desnivel del terreno = 0,85% (m).

Entonces:

$$\text{PT}_1 = 13,78 \text{ m} + 2,73 + \frac{0,85 \text{ m} \times 182 \text{ m}}{100 \text{ m}}$$

$$\text{PT}_1 = 13,78 \text{ m} + 2,73 \text{ m} + 1,54 \text{ m}$$

$$\text{PT}_1 = 18,05 \text{ m}$$

Pérdidas de carga en la tubería principal (ramal de 201 m)

La pérdida de carga en la tubería principal de 201 m se obtiene mediante el gasto (QR_2) que circula en la misma y el diámetro de la tubería principal (Dp), antes calculado. A tal efecto, con estos datos, se busca en el Ábaco de Tisón el valor de la pérdida de carga unitaria.

Como:

$$QR_2 = 4,50 \text{ l/s}$$

$$Dp = 75 \text{ mm (Figura 8)}$$

$$HRu_2 = \frac{1,5 \text{ m/m}}{100}$$

La pérdida de carga total en el ramal de 201 m se determina mediante la fórmula siguiente:

$$HRT_2 = HRu_2 \times LR_2$$

Donde:

HRT_2 = Pérdida de carga (m) en el ramal de 201 m.

HRu_2 = Pérdida de carga unitaria (m/m) en la tubería principal de 201 m.

LR_2 = Longitud principal en m (ramal de 201 m).

Entonces:

$$HRT_2 = \frac{1,5 \text{ m/m}}{100} \times 201 \text{ m}$$

$$HRT_2 = 3,015 \text{ m}$$

Para verificar la selección del diámetro calculado, se debe considerar que:

$$\blacktriangle \text{HPMAX}_2 = 0,169 \times \text{PT}_1$$

Donde:

$\blacktriangle \text{HPMAX}_2$ = Presión máxima aceptable en el ramal principal de 201 m, expresada en m.

PT_1 = Presión al inicio del ramal de 182 m, expresada en m.

Entonces:

$$\blacktriangle \text{HPMAX}_2 = 0,169 \times 18,05 \text{ m}$$

$$\blacktriangle \text{HPMAX}_2 = 3,05 \text{ m}$$

Como $\text{HRT}_2 = 3,015 \text{ m}$ está muy cerca del valor de $\blacktriangle \text{HPMAX}_2 = 3,05 \text{ m}$, se acepta el diámetro calculado de 75 mm. Luego de verificada la presión máxima aceptable en función del diámetro de la tubería, se procede a calcular la presión al inicio del principal del ramal de 201 m aplicando:

$$\text{PT}_2 = \text{PT}_1 + \text{HRT}_2 \pm \text{So}$$

Donde:

PT_2 = Presión al inicio del principal ramal de 201 m, expresada en m.

PT_1 = Presión al inicio del ramal de 182 m.

HRT_2 = Pérdida de carga en el ramal de 201 m, expresada en m.

So = Pérdida de carga por desnivel del terreno (m) = 0,85%.

Entonces:

$$\text{PT}_2 = 18,05 \text{ m} + 3,015 \text{ m} + \frac{0,85 \times 201 \text{ m}}{100}$$

$$\text{PT}_2 = 22,77 \text{ m}$$

V. Soporte de Microjet

La pérdida de carga en el soporte de microjet (H_m) depende de la altura a la que está colocado el mismo. En este ejemplo, el microjet está colocado sobre un soporte de 0,30 m.

VI. Altura de succión

Corresponde a la profundidad donde se encuentra colocado el extremo de la manguera de succión en la laguna Dupuy (3,00 m). La bomba succiona el agua desde la laguna Dupuy hasta el huerto con una altura de succión (H_s) de 3,00 m.

VII. Accesorios

Para obtener la pérdida de carga en los accesorios (H_{ac}) se estimó 10% de la presión a inicio de la tubería principal (Ramal de 201 m). La parcela bajo estudio tiene una pendiente de 0,85% en el sentido de la tubería principal y lateral. Este valor corresponde con 10% de la pérdida de carga al inicio de la tubería principal, luego:

$$H_{ac} = 0,10 \times PT_2$$

$$H_{ac} = 0,10 \times 22,77 \text{ m}$$

$$H_{ac} = 2,27 \text{ m}$$

VIII. Filtro

Se empleó un filtro (H_f) de basalto cuya pérdida de carga se estima en 4 m. Las pérdidas de carga varían entre 3 - 5 m. (Aguasol, 1980).

IX. Carga total requerida

Para determinar la carga total requerida en el sistema de riego, se procede a sumar las pérdidas de carga registrada en el inicio de la tubería principal (PT_2), soporte del microjet, altura de succión, accesorios y filtro:

$$H = PT_2 + H_m + H_s + H_{ac} + H_f$$

$$H = 22,77 \text{ m} + 0,30 \text{ m} + 3,00 \text{ m} + 2,27 \text{ m} + 4 \text{ m}$$

$$H = 32,34 \text{ m}$$

X. Caballaje de potencia neta

La potencia neta (H_{pn}) requerida por la bomba (figuras 9 y 10) se determina mediante la fórmula siguiente:

$$H_{pn} = \frac{QP \times P \times H}{76}$$

Donde:

H_{pn} = Caballaje de potencia neta.

QP = Gasto en la tubería principal (l/s).

P = Peso específico del agua (1 kg/l).

H = Carga total requerida en el sistema de riego (m).

Entonces:

$$H_{pn} = \frac{4,55 \text{ l/s} \times 1 \text{ kg/l} \times 32,34 \text{ m}}{76}$$

$$H_{pn} = 1,93$$

Nota: La metodología antes desarrollada puede ser aplicada en un sistema de riego por goteo, sólo hay que sustituir el gasto de los goteros por planta en el lugar que ocupa el microjet.

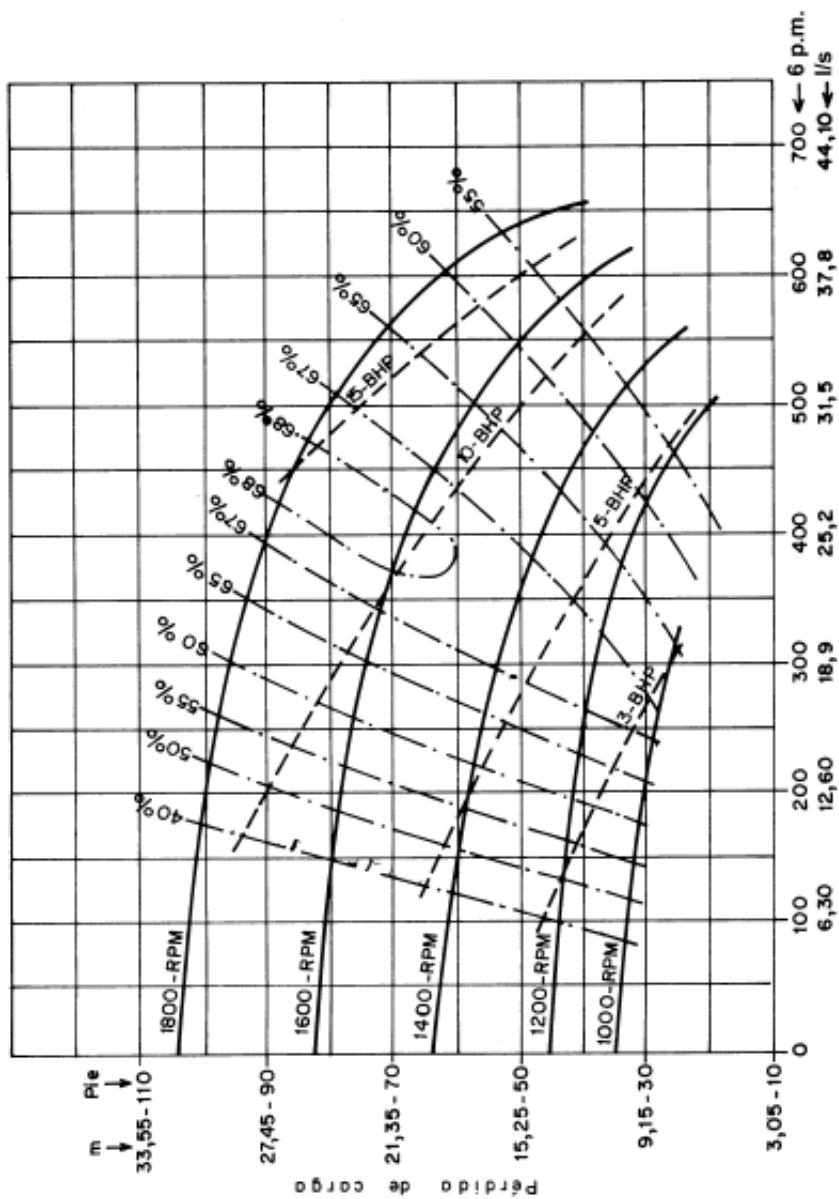


Figura 9. Curvas características de una bomba centrífuga.

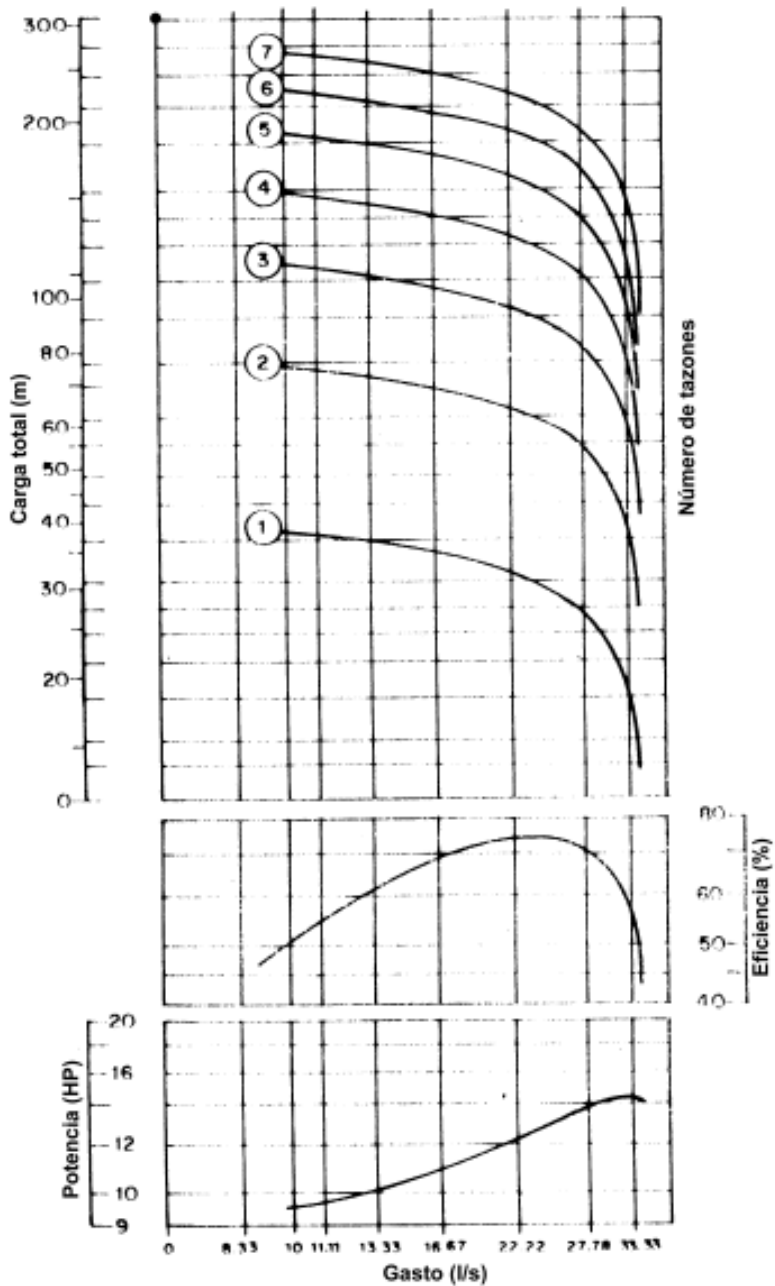


Figura 10. Bomba sumergible de 3 450 rpm y 7 tazones.

Diseño de un sistema de riego por aspersión

El riego por aspersión adquiere cada día mayor importancia por presentar numerosas ventajas, entre las cuales se mencionan: control de la cantidad de agua que se aplica y que hace más eficiente su uso, cuando es escasa; se adapta a la mayoría de los tipos de suelo; su uso es adecuado para terrenos de pendientes pronunciadas susceptibles a la erosión y puede utilizarse en la mayoría de las condiciones climáticas, excepto cuando la velocidad del viento es superior a los 15 km/h.

Se economiza mano de obra, ya que el regador no necesita estar presente, durante todo el tiempo de aplicación del riego, como ocurre en los métodos superficiales y finalmente cuando el diseño y el equipo son adecuados, se obtiene una distribución uniforme del agua y se aminoran las pérdidas por escorrentía y percolación profunda.

Los componentes de un sistema de riego por aspersión se muestran en la Figura 11, entre los cuales se encuentran:

- Fuente de agua
- Equipo de bombeo
- Tubería principal
- Tubería lateral
- Aspersores
- Accesorios

A continuación se da un ejemplo de la aplicación del riego por aspersión, con la finalidad de proporcionar una orientación a un productor del cultivo de la caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre del

manejo de este sistema de riego en el campo. Wagner *et al.* (1985) evaluaron una parcela sembrada con el cultivo de caraota, bajo condiciones de suelo franco, en el Asentamiento El Cortijo, estado Aragua. En primer lugar, se determinó la lámina neta de riego (L_n) mediante la fórmula siguiente:

$$L_n = \frac{(CC - PMP) \times DAS \times R_x \times CA}{100 \times DA}$$

Donde:

CC = Capacidad del campo a 0,33 bar (33 KPa) = 23,86%

PMP = Punto de marchitez permanente a 15 bar

(1 500 KPa) = 14,03%

DAS = Densidad aparente del suelo = 1,44 Mg/m³

R_x = Profundidad de raíces = 600 mm.

CA = Coeficiente de agotamiento = 0,45 (Smith, 1993).

DA = Densidad del agua (1 Mg/m³)

Entonces:

$$L_n = \frac{(23,86 - 14,03) \times 1,44 \text{ Mg/m}^3 \times 600 \text{ mm} \times 0,50}{100 \times 1,00 \text{ Mg/m}^3}$$

$$L_n = 42,46 \text{ mm}$$

Wagner *et al.* (1985) reportaron en el Asentamiento El Cortijo una eficiencia de aplicación igual a 59%, con los datos determinados de la lámina neta de riego (L_n) y eficiencia de aplicación (E_{fa}) se procede a calcular la lámina bruta de riego (L_b), utilizando la fórmula siguiente:

$$L_b = \frac{L_n}{E_{fa}} = \frac{42,46 \text{ mm}}{0,59}$$

$$L_b = 71,96 \text{ mm}$$

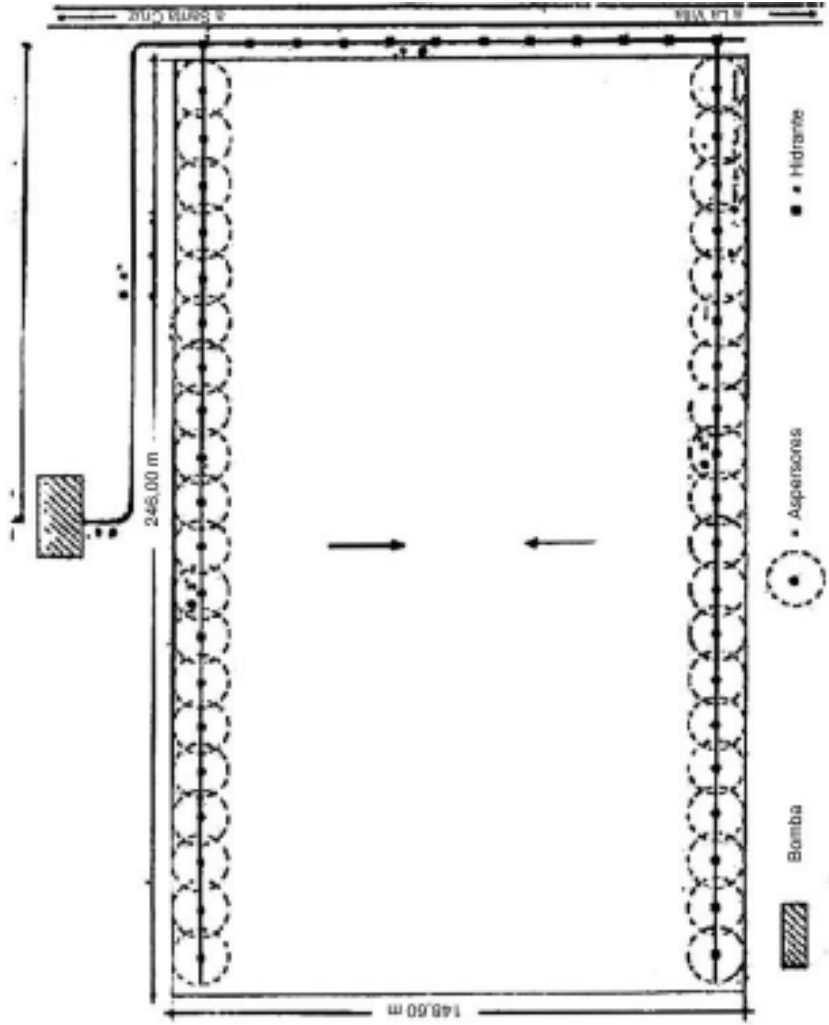


Figura 11. Ubicación de la parcela considerada para la evaluación del uso de índices y métodos de riego en el pequeño sistema de riego.

Si el aspersor utilizado presenta una presión de 41 libras/pulgada², un gasto de 0,51 l/s y un espaciamiento 12 m x 12 m, que genera un área de humedecimiento de 144 m² (Wagner *et al.*, 1985). Con esta información se puede calcular el tiempo de riego (TR), por medio de la fórmula:

$$TR = \frac{Lb \times Ah}{Qa \times 3\,600 \text{ s/h.}}$$

Donde:

Lb = Lámina bruta de riego (mm).

Ah = Área de humedecimiento (m²).

Qa = Gasto del aspersor (l/s).

Entonces:

$$TR = \frac{71,96 \text{ mm} \times 144 \text{ m}^2}{0,51 \text{ l/s} \times 3\,600 \text{ s/h}}$$

$$TR = 6 \text{ h}$$

En resumen, este productor debe mantener en funcionamiento su sistema de riego durante 6 horas, a fin de garantizar la aplicación del agua que el cultivo de caraota requiere para óptimo desarrollo y producción.

Cálculo del diseño hidráulico

1. Esquema de la parcela (Figura 11)

2. Posiciones del lateral = $\frac{\text{área de la parcela (m}^2\text{)}}{\text{El (m) x N}^{\circ}\text{ Lat}}$

$$\frac{L \text{ Lat } 148,60 \text{ m} \times 246 \text{ m}}{12 \text{ m} \times 2 \times 246 \text{ m}} = 6$$

$$3. \quad N^{\circ} \text{aspersores/Lat} = \frac{L \text{ Lat (m)}}{Ea(m)} = \frac{246 \text{ m}}{12 \text{ m}} = 21$$

4. Infiltración básica del suelo (franco-arcilloso) = 3,7 mm/h

5. Selección de la boquilla: Gasto del aspersor (q_a)

$$q_a = \frac{IB \times (Ea \times EI)}{3\,600 \text{ s/h}} = \frac{3,7 \text{ mm/h} \times 12 \text{ m} \times 12 \text{ m}}{3\,600 \text{ s/h}}$$

$$q_a = 0,15 \text{ l/s}$$

Presión de operación del aspersor (P_a) seleccionado, 2 - 4 atm (29,1 - 58,8 libras/pulgada²) (Grassi, 1976).

$$P_a = 44,10 \text{ libras/pulgada}^2$$

Para seleccionar el tipo de boquilla, se remite al Cuadro 10 para obtener una primera aproximación de la boquilla, con la información de la presión estimada de 44,10 libras/pulgada² y el gasto unitario de 0,15 l/s (2,38 galones/min), encontrándose que en el mercado sólo existe una boquilla con las especificaciones siguientes:

Diámetro: 5/32" x 3/32"

Presión: 45 libras/pulgada² (31 m)

Diámetro mojado: 94 pie (28,67 m)

Gasto: 6,48 galones/min (0,41 l/s)

Cuadro 10. Presión, diámetro mojado y descarga de un aspersor.

Presión	Diámetro mojado (Pie) y descarga de la boquilla (Galones/minuto)															
	5/32" x 3/32"	11/64" x 3/32"	3/16" x 3/32"	3/16" x 1/8"	13/64" x 1/8"	7/32" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"	1/4" x 1/8"
pulgada ²	PIE	GPM	PIE	GPM	PIE	GPM	PIE	GPM	PIE	GPM	PIE	GPM	PIE	GPM	PIE	GPM
25	85	5,19	87	5,55	89	6,31	89	7,41	90	6,30	92	9,24	93	11,3		
30	90	5,28	92	6,07	95	6,93	95	8,14	97	9,15	100	10,20	102	12,4		
35	92	5,71	95	6,57	98	7,52	98	8,83	100	9,94	103	11,10	105	13,4		
40	93	6,11	96	7,03	100	8,07	100	9,48	103	10,70	106	11,90	109	14,5		
45	94	6,48	98	7,46	102	8,57	102	10,10	105	11,50	108	12,70	112	15,4		
50	96	6,84	100	7,87	104	9,04	104	10,50	107	11,90	110	13,30	115	16,2		
55	97	7,17	101	8,25	106	9,46	106	11,10	109	12,50	112	13,90	118	17,0		
60	98	7,47	102	8,59	107	9,85	107	11,60	110	13,00	113	14,40	120	17,7		

GPM = Galones/minuto

Q (l/s) = GPM x 0,063;

$$Q \text{ (GPM)} = \frac{Q \text{ (l/s)}}{0,063}$$

D (m) = pie x 0,305

Rediseño

1) $Ea = 0,70 \times Dm = 0,70 \times 28,67 \text{ m} = 20 \text{ m}$

$$Ea \times EI = 18 \times 18 \text{ m}$$

2) $N^{\circ} \text{ posiciones} = \frac{148,60 \text{ m} \times 246 \text{ m}}{18 \text{ m} \times 2 \times 246 \text{ m}} = 4$

3) $N^{\circ} \text{ aspersores/lat} = \frac{L \text{ lat}}{Ea} = \frac{246 \text{ m}}{18 \text{ m}} = 14 \text{ aspersores}$

Velocidad del viento	% del diámetro
Menor 9 km/h	0,65
9-12,5 km/h	0,70*
Mayor 12,5 km/h	0,80

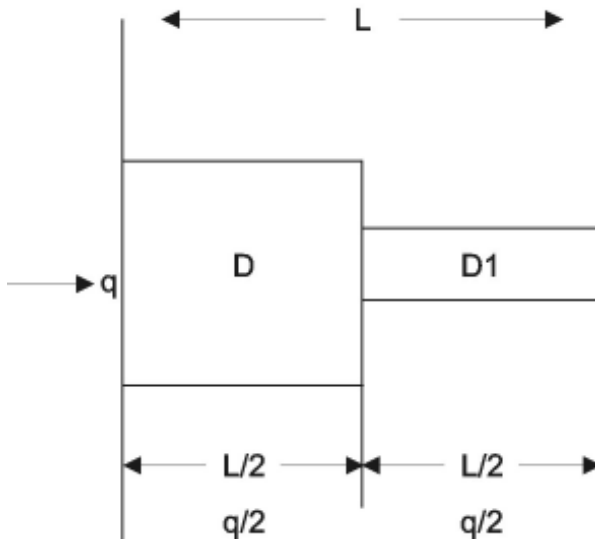
* Velocidad del viento = 9,75 km/h (dato meteorológico).

4) Selección de la tubería lateral (HL)

Gasto en el lateral (QL)

$$QL = N^{\circ} \text{ aspersores} \times qa = 14 \text{ aspersores} \times 0,41 \text{ l/s} = 5,74 \text{ l/s.}$$

Aplicamos el criterio de Christianzen (1962)



1. Se calcula H_f con L , q y D
2. Se calcula H_f con $\frac{L}{2}$, $\frac{q}{2}$ y D (1° tramo)
3. Se calcula H_f con $\frac{L}{2}$, $\frac{q}{2}$ y $D1$ (2° tramo)
4. $H_{fL} = H_f(1) + H_f(3) - H_f(2)$

Pérdida de carga permisible en el lateral

$$H_{fpl} = 0,20 \text{ Pasp} = 0,20 \times 31 \text{ m} = 6,2 \text{ m}$$

$$6,2 \text{ m} - 246 \text{ m}$$

$$x - 100 \text{ m}$$

$$x = H_{F_{pl}} = 2,52 \text{ m}/100\text{m}$$

Con el valor $QL = 5,74 \text{ l/s}$ y $H_{fpl} = 2,52 \text{ m}/100 \text{ m}$ (Cuadro 11)

$$QL = 6,30 \text{ l/s} \quad D = 4'' \quad H_f = 0,893 \text{ m}/100\text{m}$$

$$QL = 6,30 \text{ l/s} \quad D1 = 3'' \quad H_f = 3,75 \text{ m}/100\text{m}$$

De acuerdo a Christianzen (1962)

1. $H_f(1) = ?; \quad L = 246 \text{ m}; \quad QL = 6,30 \text{ l/s}$ y $D = 4''$

$$H_f(1) = 0,893 \text{ m}/100 \text{ m} \times 246 \text{ m}$$

$$H_f(1) = 2,19 \text{ m}$$

2. $H_f(2) = ?; \quad \frac{L}{2} = 123 \text{ m}; \quad \frac{QL}{2} = 3,15 \text{ l/s}$ y $D = 4''$

$$H_f(2) = 0,239 \text{ m}/100 \text{ m} \times 123 \text{ m}$$

$$H_f(2) = 0,294 \text{ m}$$

3. $\frac{H_f}{2}(3) = ?; \quad \frac{L}{2} = 123 \text{ m}; \quad QL = 3,15 \text{ l/s}$ y $D = 3''$

$$H_f(3) = 1,006 \text{ m}/100 \text{ m} \times 123 \text{ m}$$

$$H_f(3) = 1,23 \text{ m}$$

$$4. \quad H_{fl} = H_f(1) + H_f(3) - H_f(2) = 2,19 \text{ m} + 1,23 - 0,294 \text{ m}$$

$$H_{fl} = 3,12 \text{ m}$$

$$H_{flc} = H_{fl} \times csm = 3,12 \text{ m} \times 0,363$$

$$H_{flc} = 1,13 \text{ m}$$

$$Csm = 0,363 \quad n = 28 \text{ (Cuadro 11)}$$

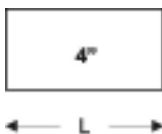
$$\begin{array}{rcl} 1,13 \text{ m} & - & 246 \text{ m} \\ x & - & 100 \text{ m} \end{array}$$

$$x = 0,45 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$H_{fl} = 0,893/100 \text{ m} \times Csm \qquad H_{fl} = 0,45 \text{ m}/100 \text{ m}$$

$$H_{fl} = 0,893 \times 0,363 \qquad H_{fl} = 0,324 \text{ m}/100 \text{ m}$$

Como $H_{fl} = 0,324 \text{ m}/100 \text{ m}$ es menor a $H_{fpl} = 2,52 \text{ m}/100 \text{ m}$, se selecciona la tubería de 4" o se coloca $\frac{L}{2}$ para 4" x $\frac{L}{2}$ para 3".



Como se puede observar la pérdida de carga en la tubería de 3" (3,75 m) es superior a la Hfpl (2,52 m/100 m), lo cual implica el rechazo de la misma.

5) Selección de la tubería principal (Hp):

a. Gasto en la tubería principal (QP)

$$QP = N \text{ Lat} \times QL = 2 \times 5,74 \text{ l/s} = 11,48 \text{ l/s.}$$

QL = gasto en el lateral.

N Lat = Número de laterales que integra el ramal.

b. Aplicando el criterio de Christianzen (1962)

Pérdida de carga permisible en el principal

$$Hf_{pp} = 0,20 \times P_{asp} = 0,20 \times 31 \text{ m} = 6,2 \text{ m}$$

$$L_p = 148,60 \text{ m} + 123 \text{ m} \qquad L_p = 271,60 \text{ m}$$

$$\begin{array}{rcl} 6,2 \text{ m} & - & 271,60 \text{ m} \\ x & - & 100 \text{ m} \end{array}$$

$$Hf_{pp} = 2,28 \text{ m/100 m}$$

$$QP = 11,48 \text{ l/s} \text{ y } Hf_{pp} = 2,28 \text{ m/100 m} \text{ (Cuadro 11)}$$

$$QP = 12,60 \text{ l/s} \quad D = 5'' \qquad Hf_{pp} = 1,10 \text{ m/100 m}$$

$$QP = 12,60 \text{ l/s} \quad D = 4'' \qquad Hf_{pp} = 3,33 \text{ m/100 m}$$

Cuadro 11. Pérdida de la carga en metro por cada 100 m de tubería de aluminio Ks = 0,40.

Litro/ segundo	Diámetro interno (Pulgadas)										Factor de salidas (m: 1,90)	
	3	4	5	6	7	8	10	Aspersores	C.S.M.			
2,52	0,658	0,157						1	1,010			
3,15	1,006	0,239						2	0,634			
3,78	1,423	0,339						3	0,528			
4,41	1,906	0,449	0,150					4	0,480			
5,04	2,457	0,584	0,193					5	0,451			
5,67	3,073	0,731	0,242					6	0,433			
6,30	3,754	0,893	0,295	0,120				7	0,419			
7,56	5,307	1,263	0,417	0,170				8	0,410			
8,82	7,113	1,693	0,560	0,227				9	0,402			
10,08	9,169	2,182	0,721	0,293				10	0,398			
11,34	11,47	2,729	0,967	0,366				11	0,392			
12,60	14,01	3,333	1,102	0,448	0,209			12	0,388			
13,86	16,79	3,996	1,321	0,537	0,251			13	0,384			
15,12	19,81	4,713	1,158	0,633	0,298			14	0,381			
16,38	30,27	6,316	2,089	0,849	0,397			15	0,379			
18,90	34,22	7,203	2,381	0,967	0,452	0,235		16	0,377			
20,16	38,39	8,142	2,692	1,094	0,511	0,265		17	0,375			
21,42	42,80	9,137	3,020	1,227	0,573	0,298		18	0,373			
22,68	47,43	10,18	3,366	1,368	0,639	0,332		19	0,372			

...Continúa

Litro/ segundo	Diámetro interno (Pulgadas)										Factor de salidas	
	3	4	5	6	7	8	10	Aspersores	C.S.M.			
23,94	52,38	11,29	3,731	1,516	0,708	0,388		20	0,370			
25,20		12,44	4,113	1,671	0,781	0,399	0,136	22	0,368			
26,46		13,65	4,930	1,833	0,857	0,445	0,149	24	0,366			
27,72		14,57	5,364	1,988	0,936	0,486	0,163	26	0,364			
28,98		16,23	5,815	2,179	1,019	0,529	0,177	28	0,363			
30,24		17,59	6,284	2,363	1,104	0,573	0,192	30	0,362			
31,50		19,01	7,532	2,554	1,193	0,620	0,208	35	0,359			
34,65		22,79	8,886	3,060	1,430	0,742	0,249	40	0,357			
37,80		26,88	10,35	3,611	1,687	0,876	0,294	50	0,355			
40,95		31,30	11,91	4,204	1,965	1,020	0,342	100	0,350			
44,10		36,03	13,58	4,839	2,262	1,174	0,394	(+100)	0,345			
47,25		41,08	17,22	5,517	2,520	1,139	0,449					
50,40			19,20	6,237	2,915	1,513	0,507					
53,55			21,28	6,999	3,271	1,693	0,569					
57,60			23,45	7,801	3,646	1,893	0,635					
63,00			28,11	8,645	4,041	2,097	0,703					
69,30				11,42	5,338	2,771	0,929					
75,60				13,58	6,298	3,269	1,090					
81,90				15,69	7,333	3,806	1,277					

./...Continuación cuadro 11.

Litro/ segundo	Diámetro interno (Pulgadas)										Factor de salidas (m: 1,90)	
	3	4	5	6	7	8	10	Aspersores	C.S.M.			
88,20				18,06	8,841	4,382	1,470					
94,50				20,59	9,264	4,990	1,675					
100,80				23,28	10,88	5,648	1,894					
107,10				26,12	12,21	6,337	2,125					
113,40					13,61	7,064	2,369					
119,70					15,08	8,829	2,625					
126,00					16,62	8,630	2,894					

C.S.M. = Coeficiente de Salidas Múltiples

Fuente: Scobey, citado por Grassi, C. 1978. Método de riego. CIDIAT. Convertido a C.G.S. por Manuel Wagner. 1985.

De acuerdo con Christianzen (1962)

1. $H_f(1) = 1,10 \text{ m}/100 \text{ m} \times 271,60 \text{ m} = 2,98$; $L = 271,60 \text{ m}$;

$$q = 12,60 \text{ l/s}$$

2. $H_f(2) = ?$; $\frac{q}{2} = 6,30 \text{ l/s} \times \frac{L}{2} = 135,8 \text{ m}$; $D = 5''$

$$H_f(2) = 0,295 \text{ m}/100 \text{ m} \times 135,8 \text{ m} = 0,40 \text{ m}$$

3. $H_f(3) = ?$; $\frac{q}{2} = 6,30 \text{ l/s} \times \frac{L}{2} = 135,8 \text{ m}$; $D = 4''$

$$H_f(3) = 0,893 \text{ m}/100 \times 135,8 \text{ m} = 1,21 \text{ m}$$

4. $H_{fp} = H_f(1) + H_f(3) - H_f(2) =$

$$H_{fp} = 2,98 \text{ m} + 1,21 \text{ m} - 0,40 \text{ m} = 3,79 \text{ m}$$

$$\begin{array}{r} 3,79 \text{ m} \quad - \quad 271,60 \text{ m} \\ \times \quad \quad - \quad 100 \text{ m} \end{array} \quad H_{fp} = 1,39 \text{ m}/100 \text{ m}$$

Se selecciona la tubería de 5", porque $H_{fp} = 1,10 \text{ m}/100 \text{ m}$ es menor que $H_{fp} = 2,28 \text{ m}/100 \text{ m}$ o la $L/2$ con diámetro de 5", debido a que $H_{fp} = 1,39 \text{ m}/100 \text{ m}$ es menor que $H_{fp} = 2,28 \text{ m}/100 \text{ m}$.

Como se puede observar la pérdida de carga en la tubería de 4" ($3,33 \text{ m}/100 \text{ m}$) es superior a la $H_{fp} = 2,28 \text{ m}/100 \text{ m}$, lo cual implica el rechazo de la misma.

6) Accesorios: codos, hidrantes y reducciones (Hacc).

a. Codos (Hc)

$$N^{\circ} \text{ de codos} = 2 \text{ de } 90^{\circ}$$

$$D_p = 6'' (0,15 \text{ m})$$

$$Q_p = 11,48 \text{ l/s } (0,01148 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$V = \frac{Q_p}{A} = \frac{Q_p}{\pi \times r_p^2} = \frac{0,01148 \text{ m}^3/\text{s}}{3,1416 \times (0,08 \text{ m})^2} = 0,57 \text{ m/s}$$

$$h_{c_1} = \frac{K_c \times V^2}{2 \times g} = \frac{0,988 \times (0,57)^2}{2 \times (9,8)} = 0,02 \text{ m}$$

$$D_p = 5'' (0,13 \text{ m}); \quad V = \frac{0,01148 \text{ m}^3/\text{s}}{3,1416 \times (0,06)^2} = 1,01 \text{ m/s}$$

$$h_{c_2} = \frac{0,988 \times (1,01)^2}{2 \times (9,8)} = 0,05 \text{ m}$$

$$h_c = h_{c_1} + h_{c_2} = 0,02 \text{ m} + 0,05 \text{ m} = 0,07 \text{ m}$$

Donde:

V = velocidad de circulación del agua.

Qp = gasto de la tubería principal.

A = área de la tubería.

Dp = diámetro del principal.

r_p = radio de la tubería principal.

K_c = coeficiente de roce en los codos (Tabla A).

g = gravedad específica.

Tabla A. Coeficiente de roce en los codos (Trueba, 1955).

Ángulo	Coeficiente
45°	0,183
90°	0,988

b. Hidrantes (Hh)

Nº de hidrantes = 2

$$D_p = 5'' (0,13 \text{ m}); V = \frac{0,01148 \text{ m}^3/\text{s}}{3,1416 \times (0,06)^2} = 1,01 \text{ m/s}$$

$d_1/d_2 = 4''/5'' = 0,8$; $K_h = 0,29$ (Cuadro A)

$$H_h = \frac{K_h \times V^2}{2 \times g} = \frac{0,29 \times (1,01)^2}{2 \times 9,8} = 0,02 \text{ m}; 2 \times (0,02) = 0,04 \text{ m}$$

Donde:

D_p = diámetro del principal.

V = velocidad de circulación.

K_h = coeficiente de roce en los hidrantes (Tabla B).

Tabla B. Coeficiente de roce en los hidrantes (Trueba, 1955).

<div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;">d_2</div> <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px;">d_1</div>	
d_1/d_2	Kh
0,1	225,90
0,2	47,77
0,3	30,83
0,4	7,80
0,5	3,75
0,6	1,80
0,7	0,80
0,8	0,29
0,9	0,06

c. Reducciones (HR)

Nº reducciones = 29

1. 6" → 5" = ... 6" (0,15m)

$$d_2/d_1 = 6"/5" = 1,2; \text{ KR} = 0,19 \text{ (Tabla C)}$$

$$V = \frac{Q_p}{\pi \times r^2}$$

$$V = \frac{0,01148 \text{ m}^3/\text{s}}{3,1416 \times (0,08)^2} = 0,57 \text{ m/s}$$

$$HR_1 = \frac{\text{KR} \times V^2}{2 \times g} = \frac{0,19 (0,57)^2}{2 \times 9,8} = 0,003 \text{ m}$$

Donde:

KR: Coeficiente de roce en las reducciones (Tabla C).

V: velocidad de circulación del agua.

Qp: gasto en la tubería principal.

r: radio de la tubería principal.

g: gravedad específica.

Tabla C. Coeficiente de roce en las reducciones (Trueba, 1955).

d_2/d_1		KR
d_2/d_1	d_1/d_2	
4,0	0,45	
3,5	0,43	
3,0	0,42	
2,5	0,40	
2,0	0,37	
1,5	0,28	
1,25	0,19	
1,10	0,10	
1,00	0,00	

2. $QL = 5,74 \text{ l/s} (0,00574 \text{ m}^3/\text{s})$

$4'' \rightarrow 1''; DL \text{ } 0 \text{ } 4'' (0,10 \text{ m})$

$d_2/d_1 = 4/1 = 4; KR = 0,45 \text{ (Tabla C)}$

$$V = \frac{QL}{\pi r^2}$$

$$V = \frac{0,00574 \text{ m}^3/\text{s}}{3,1416 \times (0,05)^2} = 0,73 \text{ m/s}$$

$$HR_2 = \frac{K_h \times V^2}{2 \times g} = \frac{0,45 \times (0,73)^2}{2 \times (9,8)} = 0,01 \text{ m}$$

$$HR_2 = 28 \text{ reducciones} \times 0,01 \text{ m} = 0,28 \text{ m}$$

$$HR = HR_1 + HR_2 = 0,003 \text{ m} + 0,28 \text{ m} = 0,283 \text{ m}$$

$$H_{acc} = H_c + H_h + HR$$

$$H_{acc} = 0,007 \text{ m} + 0,04 \text{ m} + 0,283 \text{ m} = 0,39 \text{ m}$$

7) Succión (Hs)

Nota: Utilizando la alternativa de regar a partir de un pozo subterráneo, donde la profundidad hasta el nivel de bombeo es igual a 50 m.

8) Altura del aspersor (Ha): 0,60 m.

9) Presión de la boquilla (Hb): 45 libras/pulgada² (31 m).

10) Desnivel del terreno (He):

a. Lateral: $He_1 = \frac{1,5 \text{ m} \times 246 \text{ m}}{100} = 3,69 \text{ m (+)}$

b. Principal: $He_2 = \frac{2 \text{ m} \times 271,60 \text{ m}}{100} = 5,43 \text{ m (+)}$

$$He = He_1 + He_2$$

$$He = 3,69 \text{ m} + 5,43 \text{ m} = 9,12 \text{ m}$$

11) Carga de bombeo:

$$H_t = H_s + H_{fp} + H_e + H_a + H_{fl} + H_{acc}$$

$$H_t = 50 \text{ m} + 3,79 \text{ m} + 9,12 \text{ m} + 3,12 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 31 \text{ m} + 0,39 \text{ m}$$

$$H_t = 98,02 \text{ m}$$

12) Selección de la bomba:

Al disponerse del gasto (11,48 l/s) y la carga de bombeo (98,02 m) se encuentra la potencia de la bomba (9,60 Hp), la eficiencia (56%) y el número de impulsores o tazones (3), la cual se muestra en la Figura 10 (Saint, 1975).

Nota: Utilizando la alternativa de regar de una tanquilla a un metro de profundidad:

$$H_t = 1,00 + 3,79 + 9,12 + 3,12 + 0,60 + 31 + 0,39$$

$$H_t = 49,02 \text{ m}$$

Con la eficiencia ($E_f = 65\%$), el gasto ($Q_b = 11,481 \text{ l/s}$) y la carga de bombeo ($H_t = 49,02 \text{ m}$) se determina la potencia de la bomba aplicando la fórmula siguiente:

$$H_p = \frac{Q_b \text{ (l/s)} \times P_e \text{ (1 kg/l)} \times H_t \text{ (m)}}{76 \times E_f}$$

$$H_p = \frac{11,48 \times 1 \times 49,02}{76 \times 0,65}$$

$$H_p = 11,39$$

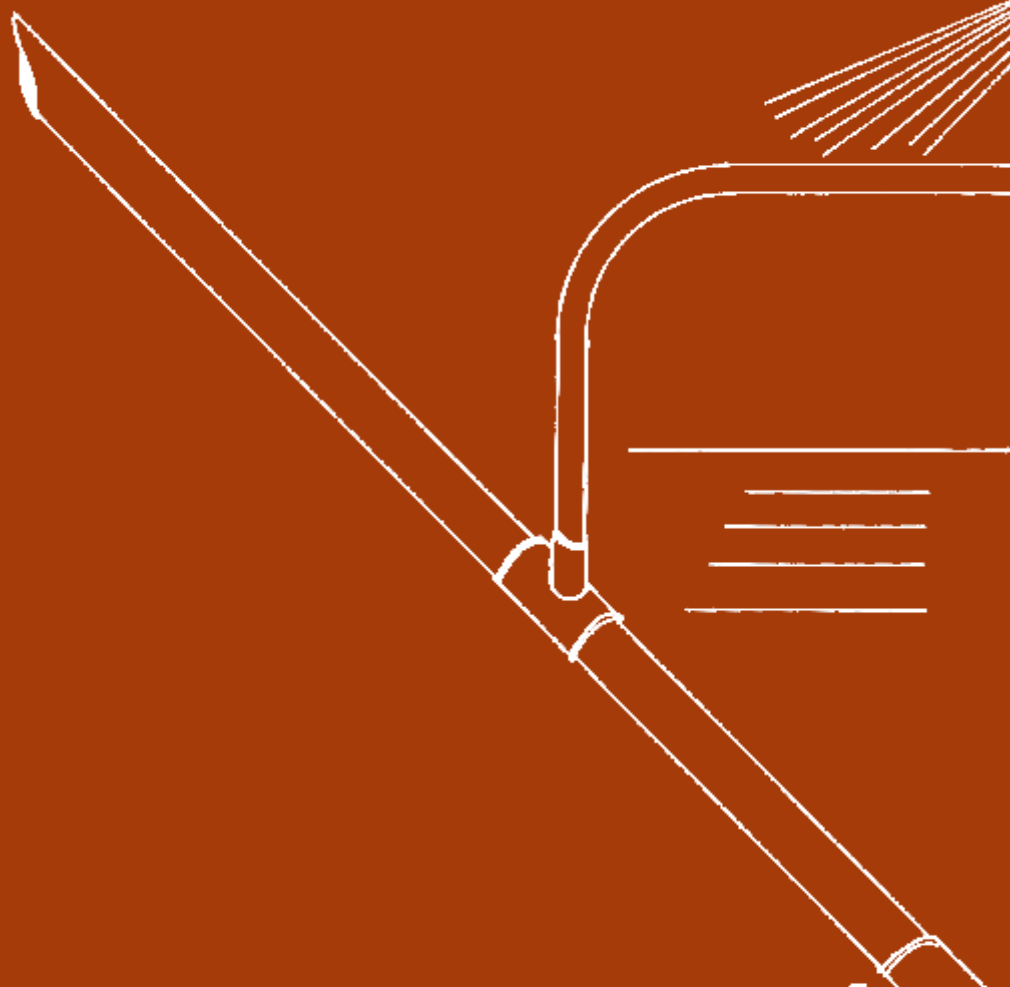
Nota: P_e , representa el peso específico del agua (1 kg/l).

Bibliografía consultada

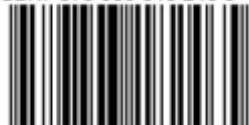
- AGUASOL. 1980. Sistema de riego. Barquisimeto, Ven., Oficina de Ingeniería. 27 p.
- BARRETO, G. 1973. Proyecto experimental do un sistema do irrigación por goteo. Secretaría de Agricultura do Estado do Sao Paulo. Boletín Técnico no. 5. 24 p.
- BLAIR, E. 1963. Manual de riego y avenamientos. Lima, Perú, OEA. Proyecto no. 39. 544 p.
- BRITO, P. 1983. Caracterización agroclimática de las áreas Pira-Cojedes. Maracay, Ven., FONAIAP. CENIAP. 64 p.
- CASANOVA, E. 1996. Introducción a la Ciencia del suelo. Caracas, Ven., Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 379 p.

- CHAPMAN, L. 1996. Necesidad de potasio en caña de azúcar determinada por experimentos a largo plazo. INPOFOS (Ecuador) 25:4-5.
- CHRISTIANZEN, J. 1962. Irrigation by sprinkling, Cal Agri. Exp. Sta. Bulletin no. 670, 20 p.
- DONEEN, I.; WESTCOT, D. 1988. Irrigation practice and water management. Roma, Italia., FAO. 63 p.
- FEDDES, R.; LENSELINK, K. 1994. Evapotranspiration, Inc: drainage principles and aplicaciones. Ed. by HP Ritzema. 2 ed. rev. ILRI Publication 16. Wageningen, The Netherland. p. 145-173.
- GRASSI, C. 1975. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Mérida, Ven., CIDIAT. 300 p.
- GRASSI, C. 1976. Métodos de riego. Mérida, Ven., CIDIAT. 265 p.
- HOWARD, J. 1980. Planning for an irrigation system. USDA. 250 p.
- MALAGON, D. 1976. Física de suelos. Bogotá, Col., IGAC. 622 p.
- MICHELANGELLI, J. 1976. Factor de evaporación. Cagua, Ven., División de Edafología. p. 4-5.
- PÉREZ, F. 1982. Manual de riego localizado. Maracay, Ven., UCV. Facultad de Agronomía. 125 p.
- PLA, I. 1977. Metodología para caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y Conservación de suelos en condiciones tropicales. Maracay, Ven., UCV-FAGRO. 112 p.
- PLA, I. 1993. Uso, manejo y degradación de suelos en América Latina. En: Memorias de la Segunda Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista. Maracay, Ven., FONAIAP-FAO-UNELLEZ. p. 20-30. (Serie Especial N° 32).
- RICHARD, L. 1947. Pressure – membrane apparatus construcción and use. Agr. Engin. 28: 451-460.
- RAZURI, L. 1976. Características importantes del suelo en relación al riego. Mérida, Ven., CIDIAT 32 p.

- SAINT, F. 1975. Riego por aspersión. Barcelona, Esp., Limusa. 252 p.
- SMITH, M 1993. Cropwat. Program to calculate irrigation requirement and generate irrigation schedules: FAO. Irrigation and drainage. Paper FAO, Italia. p. 59-60
- TORRES, S.; GÜEDEZ, J. 1979. Glosario de términos de la Ciencia del Suelo. Maracay, Ven., Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. 215 p.
- TRUEBA, S. 1955. Hidráulica. México, Mex., Norgis. Avance. 306 p.
- VENEZUELA. MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES. 1986. Índices pluvio-evaporimétricos. Valencia, Ven., MARNR. División de Hidrología. 5 p. (Mimeografiado).
- VILLAFAÑE, R. 1998. Diseño agronómico del riego. Maracay, Ven., Fundación Polar. UCV-FAGRO. 147 p.
- WAGNER, M. 1979. Consideraciones sobre el riego en algunos frutales cultivados en Venezuela. Maracay, Ven., FONAIAP. CENIAP. 20 p.
- WAGNER, M.; HADDAD, O.; GUEVARA, R. 1983. Caracterización de un sistema de riego por microaspersión (microjet) en un huerto cítrico de un suelo del orden Mollisol. Maracay, Ven., FONAIAP. CENIAP. 27 p.
- WAGNER, M.; ÁVILA, I.; PACHECO, H.; MEDINA G.; HADDAD, O. 1985. Evaluación del método de riego por aspersión en los Valles de Taiguaguay y Tucutunemo y su comparación con un modelo de riego. *Agronomía Tropical (Ven.)* 36 (4-6): 51-62.
- WAGNER, M.; MEDINA, G. 1998. Técnicas de evaluación de compactación de suelos. Maracay, Ven., FONAIAP. CENIAP. p. 5-6. (Serie B - N° 33)
- WAGNER, M.; MIRELES, M.; BORREGO, R.; CORTEZ, A.; MEDINA, G. 1998. Evaluación de factores limitantes suelo, clima y riego en zonas bananeras de la región Central de Venezuela. *INFOMUSA*. 7(2): 8-11



ISBN: 978-980-318-246-5



9 789803 182465