

Riego por goteo

José Lauro Conde Solano

Riego por goteo

José Lauro Conde Solano

ISBN: 978-9942-53-134-6

DOI: <http://doi.org/10.48190/9789942531346>



© **José Lauro Conde Solano**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2538-1770>

jconde@utmachala.edu.ec

Universidad Técnica de Machala

© Editorial Grupo Compás, 2025

Guayaqui, Ecuador

www.grupocompas.com

<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 12/12/2025

ISBN: 978-9942-53-134-6

DOI: <http://doi.org/10.48190/9789942531346>

Distribución online

 Acceso abierto

Cita

Conde, J. (2025) Riego por goteo. Editorial Grupo Compás

Este libro es parte de la colección de la Univesidad Técnica de Machala y ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

PROLOGO.

Desde que la humanidad tuvo necesidad de producir alimentos, la agricultura fue una de sus primeras actividades, para desarrollar la agricultura tuvo la imperiosa actividad de buscar el recurso agua, y luego de transportarla, la historia nos cuenta que las primeras civilizaciones tuvieron que transportar el agua en conductos de piedra, pero la importancia del recurso agua no importaba el sacrificio. Actualmente el agua a nivel global es escasa y lo será gradualmente aún más en el futuro, representando una amenaza para la seguridad alimentaria. La agricultura es el sector económico que consume alrededor del 70% del agua utilizada en promedio global y en el Ecuador el agua destinada a la agricultura alcanza hasta un 82% del total de agua utilizada.

En este orden aumentar la productividad del agua en la agricultura es una estrategia imperativa a implementar con urgencia. Además, la agricultura enfrenta una severa escasez de agua, y en la mayoría de casos es víctima de su propia ineficiencia. El riego es una técnica y a su vez una actividad muy sensible en la agricultura. Actualmente la mayoría de sistemas de riego tienen bajos índices de productividad del agua, ya sea por inadecuadas técnicas de riego o por desconocimiento de parámetros técnico-científicos del riego. Cuando se menciona mejorar la productividad del agua en la agricultura, entonces se está hablando de mejorar la eficiencia del riego, donde encaja perfectamente el riego por goteo contenido de esta obra.

La escasez de agua, especialmente en regiones áridas y semiáridas ha generado una necesidad de crear estrategias orientadas a mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura. Una de estas estrategias es el suministro de riego a los cultivos mediante emisores (goteros) de bajo caudal y bajas presiones, en forma localizada en la masa radicular de la planta, alcanzando hasta un 95% de eficiencia de entrega del agua a la planta. Esta técnica además de entregar el agua en pequeñas dosificaciones y en forma selectiva a la raíz de las plantas, consume menos energía, lo que significa el uso equipos de bombeo de menor potencia, menor consumo de combustibles o energía eléctrica. Esta estrategia de riego cada vez más se ha difundido en la comunidad agrícola, que con el pasar del tiempo será una de las mejores alternativas de riego. Este trabajo está estructurado en 7 capítulos, que trata en forma técnica y científica el diseño y manejo del sistema de riego por goteo.

José Lauro Conde Solano

RESUMEN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, la agricultura es el sector económico que mayor cantidad de agua consume, mencionando que gran cantidad de agua aplicada a este sector no es beneficiosa para las plantas, por lo que se debe buscar estrategias que mejoren el uso del agua para riego. Investigaciones realizadas sobre los diferentes métodos de riego, se concluye que el método de riego por goteo es el más eficiente referente a la entrega de agua a la planta. Con estos antecedentes, este trabajo tiene como finalidad facilitar a estudiantes universitarios de las carreras agropecuarias, profesionales vinculados con el agro y especialmente a usuarios del riego las herramientas necesarias para aprovechar de mejor manera el agua a través del riego por goteo. La presente obra, contiene primeramente definiciones y conceptos de los diferentes elementos que intervienen en un sistema de riego por goteo, los diferentes campos del conocimiento como el diseño agronómico y el diseño hidráulico. Especialmente en el diseño agronómico se refiere a los requerimientos hídricos de los cultivos y al régimen de riego de los mismos. El diseño hidráulico tiene que ver especialmente con el dimensionamiento de las redes de distribución (tuberías) y equipos de bombeo. También menciona instrumentos de automatización como válvulas, equipos de fertilización como inyector venturi, sistemas de filtrado como anillos y mallas. También tiene un modelo matemático aplicado al riego por goteo, producto de una investigación realizada en el campo experimental de la Universidad Técnica de Machala. Finalmente, el trabajo contiene un ejemplo de diseño de riego por goteo y selección de equipos motobomba.

Índice

I	DEFINICIONES.....	4
II	DISEÑO AGRONÓMICO	7
	Requerimientos hídricos de los cultivos	8
	Factores que condicionan los requerimientos hídricos de los cultivos.....	8
	Cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos.....	9
	Programación del riego.....	17
	Tensiómetro	22
	Porcentaje de suelo humedecido o porcentaje del área bajo riego (PAR).....	24
III	DISEÑO HIDRÁULICO	31
	Goteros.....	32
	Red de distribución.....	33
	Equipo motobomba	40
IV	MODELO MATEMÁTICO APLICADO AL RIEGO	43
	Modelo Matemático	43
V	FILTRADO Y FERTIRRIGACIÓN	53
	Tipos de filtrado	53
	Obturaciones de los emisores.....	56
	Elección de filtros.....	57
	Fertirrigación	58
VI	EQUIPOS DE BOMBEO PARA RIEGO	62
	Tipo de motor.....	62
	Selección del equipo de bombeo	64
	Ubicación del equipo motobomba.	69
VII	AUTOMATIZACIÓN.....	74
	Niveles de automatización del riego.....	74
	Automatismos hidráulicos	75
	ANEXOS.....	80

I DEFINICIONES

Resumen

Este capítulo tratará de identificar y conceptualizar los diferentes elementos que están relacionados con los sistemas de riego por goteo, que facilitará al lector entender e interpretar los contenidos que trata esta obra. También se menciona un ejemplo de nomenclatura de distribución de una red de riego.

Introducción

Cada método de riego tiene su propia semántica en su terminología, que en la mayoría de casos no es muy común en los usuarios del riego. Por lo tanto, es interesante conocer dicha terminología utilizada en el riego por goteo para que el lector lo asimile e interprete con facilidad.

Riego por goteo

El sistema de riego por goteo se puede definir como un sistema de humedecimiento limitado del suelo, donde se aplica el agua únicamente a una parte del volumen del suelo ocupado por el cultivo (masa radicular). El sistema de riego por goteo se basa en una tubería (lateral de riego), en el cual están insertados los goteros, los cuales aplican el agua gota a gota. El caudal de los emisores o goteros no debe ser mayor a 8 L/h, caso contrario ya no es un sistema de riego por goteo, las presiones de funcionamiento de los emisores o goteros son bajas.

Riego por goteo subterráneo

Esta técnica de riego se caracteriza por la aplicación del agua a través de los emisores o goteros bajo la superficie del suelo, similar al riego por goteo, la diferencia es que el agua la entrega a una determinada profundidad, dependiendo del tipo de cultivo.

Bulbo húmedo

Es la porción del suelo que humedece el agua emitida por los goteros, la forma y volumen del bulbo húmedo está en función del tipo de suelo, caudal o descarga del gotero, duración del riego y frecuencia del riego.

Centro de control o cabezal de riego

Es un conjunto de accesorios para suministrar agua a un nivel adecuado de limpieza, caudal a suministrar y presión de funcionamiento.

Unidad de riego

Es la superficie del conjunto de subunidades que se riegan simultáneamente desde un mismo punto donde se controla la cantidad

de agua a suministrar por cada riego, cada unidad de riego debe llevar una válvula de control de caudal.

Subunidad de riego

Es la superficie que se riega simultáneamente desde un mismo punto donde se regula o controla la presión de entrada del agua

Conducción principal

Son las tuberías que transportan el agua desde la fuente de alimentación, o desde el cabezal de control hasta las unidades de riego.

Conducción secundaria

Son las tuberías que se derivan de las conducciones principales y transportan el agua hasta las subunidades de riego

Conducción terciaria

Son las tuberías que se derivan de las secundarias y conducen el agua a las tuberías laterales de riego.

Laterales de riego

Son las tuberías donde se conectan los emisores de riego (goteros).

Goteros

Son dispositivos que permiten la disipación interna de la energía, portando una boquilla muy pequeña por donde sale el agua a la atmósfera en forma de gotas, el caudal de los goteros oscila entre 1 y 8 L/h.



A



B

Figura 1.1: Riego por goteo: A (goteo superficial); B (goteo subsuperficial o subterráneo).

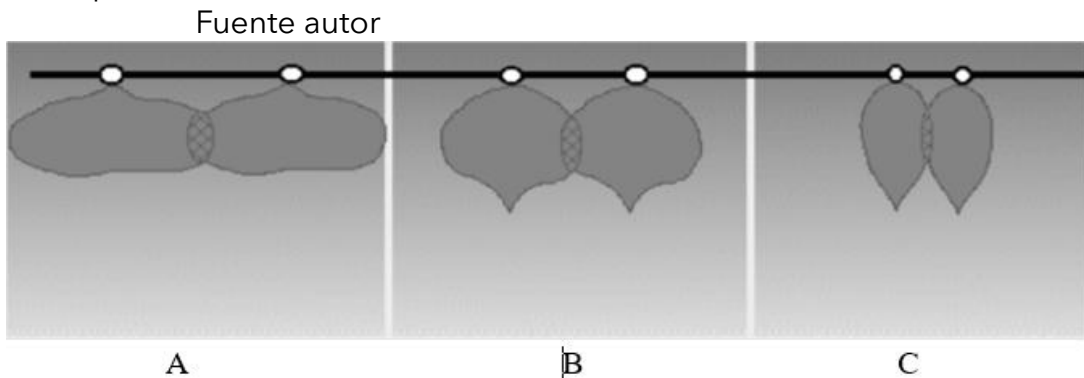


Figura 1.2: Bulbo húmedo: A (suelo arenoso); B (suelo franco); C (suelo arcilloso)

Fuente: Tarchitzky, 2010.

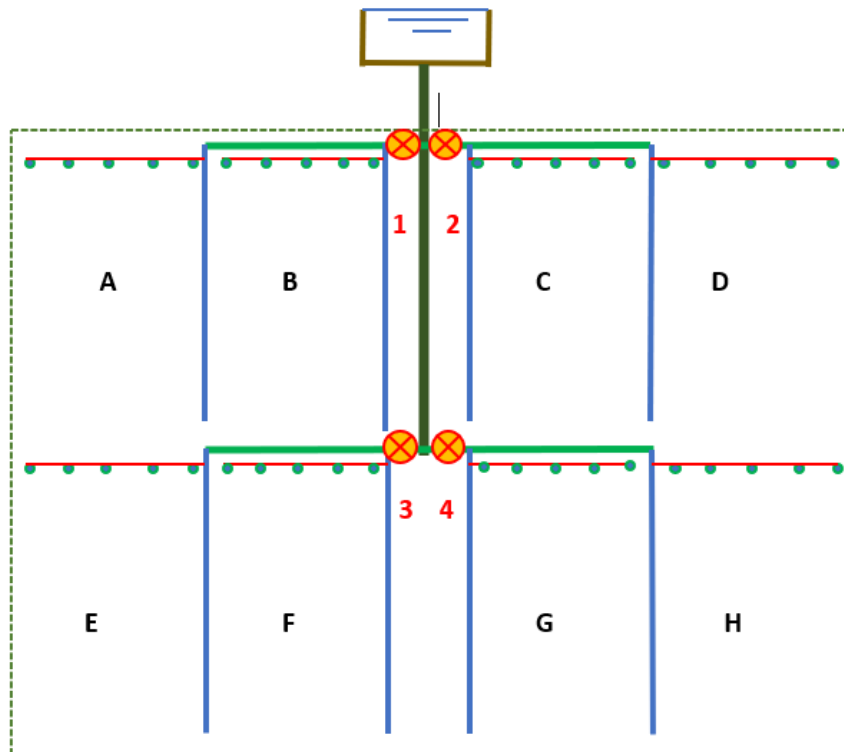









Figura 1.3: Nomenclatura: distribución de un sistema de riego, fuente autor

Legenda:

-  Fuente de abastecimiento
-  Tubería principal
-  Tubería secundaria

	Tubería terciaria
	Lateral de riego
	Válvula de control
	Emisores de riego (goteros)
1, 2, 3 y 4	Unidades de riego
A, B, C, D	Subunidades de riego

II DISEÑO AGRONÓMICO

Resumen

Este trabajo intenta tratarlo al riego por goteo desde punto de vista técnico-científico, para esto es imperativo analizar la parte agronómica del riego que es la relación que tiene el suelo, el agua, el clima y el cultivo. Primeramente, se trata los procesos de cálculo para determinar las necesidades hídricas de los cultivos, posteriormente trata de determinar los parámetros que intervienen en la programación del riego (régimen de riego de los cultivos) y finalmente en base a los dos parámetros anteriores analizar la distribución de emisores a nivel de parcela, simplificando con un ejemplo.

Introducción

El riego por lo general se orienta a satisfacer las necesidades de agua de los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la calidad agronómica de los suelos. El diseño agronómico es una parte fundamental del proyecto de riego, que en algunos casos puede presentar algunas confusiones de tipo conceptual como de cuantificar algunos parámetros por el gran número de variables a considerar como suelo, clima, cultivos, etc. Se puede decir que el diseño agronómico del riego se lo puede sintetizar en tres fases: a) Estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. b) Determinación de los parámetros de riego (régimen de riego de los cultivos) como: frecuencias o intervalos de riego, tiempos de riego, láminas o dosis de riego, número de emisores por unidad y subunidad de riego, caudal de diseño, etc. c) Disposición de emisores en el campo.

Este capítulo contempla el procedimiento para calcular las necesidades de agua de los cultivos cuando se los riega por medio de cualquier sistema de riego, para el presente, caso riego por goteo. De igual manera indica los procedimientos para determinar la programación del riego y finalmente la distribución en el campo.

2.1 Requerimientos hídricos de los cultivos

Los procedimientos para estimar las necesidades de riego de los cultivos con métodos de riego por goteo, también llamados de alta frecuencia, son los mismos que se emplean para otros métodos de riego como la aspersión, microaspersión, o el riego por gravedad, con sus respectivas particularidades. Las precipitaciones (lluvias) constituyen la única fuente natural de agua para cubrir las necesidades hídricas de las plantas, pero no siempre esta fuente natural cubre estas necesidades.

Para conocer la cantidad de agua a ser aportado por el riego al cultivo, hay que conocer las necesidades de agua de las plantas y la cantidad de agua aportadas por las precipitaciones (lluvias efectivas) durante el período vegetativo del cultivo. La diferencia de estas dos variables, debe ser cubierta a través del riego, que se puede sintetizar en la siguiente ecuación.

Requerimientos hídricos del cultivo - las precipitaciones = Necesidades de riego

2.2 Factores que condicionan los requerimientos hídricos de los cultivos

Clima.

La temperatura, insolación, viento y la humedad relativa son los elementos climáticos que influyen en los requerimientos de agua de los cultivos. Con un clima de alta temperatura, horas prolongadas de insolación, humedad relativa baja, alta velocidad del viento las plantas tienen mayores necesidades de agua que con un clima nuboso, húmedo, sin viento y frío.

Tipo de cultivo.

Los requerimientos de agua con respecto al tipo de cultivo se consideran bajo dos formas:

Necesidades diarias: Para una misma fase de desarrollo, algunas plantas necesitan más agua que otras, por ejemplo, un cultivo de maíz en su fase de desarrollo necesita más agua por día que un cultivo de remolacha o de zanahoria.

Necesidades por ciclo del cultivo: Las necesidades de agua durante todo el ciclo del cultivo depende de los requerimientos diarios y de la duración del ciclo del cultivo, por ejemplo, un cultivo anual (banano), mientras que otros su ciclo es de 120 días (maíz).

Los requerimientos diarios de agua de los dos tipos de cultivo son similares, pero el cultivo que tiene mayor ciclo de vida necesita más agua, en este caso el banano. Por otra parte, el mes o estación en que se desarrolla el cultivo, también influye el consumo de agua. Si un cultivo se desarrolla durante los meses fríos necesita menos agua si éste se desarrollara en meses calientes.

Estado de desarrollo de las plantas.

Los requerimientos hídricos de las plantas van aumentando conforme se desarrolla el cultivo, llegando a un máximo consumo, que en la mayoría de cultivos se da en la fase de floración o fructificación.

2.3 Cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos

Los requerimientos hídricos de un cultivo comprenden la transpiración de las plantas y la evaporación del agua de la superficie del suelo donde se desarrollan las plantas. Estos dos procesos constituyen la evapotranspiración del cultivo.

Es de mencionar cuando la planta está en su primera fase de desarrollo, predomina la evaporación sobre la transpiración de la planta, es decir que la mayor cantidad de agua se pierde por el proceso de la evaporación, cuando la planta está en su fase máxima de desarrollo la transpiración se vuelve más importante que la evaporación, el consumo de agua de la planta por transpiración es significativa.

Para calcular los requerimientos hídricos de los cultivos, es necesario conocer la evapotranspiración de referencia o potencial de la zona en referencia (ET_p) y las precipitaciones efectivas (Pe).

Evapotranspiración (ET)

La evapotranspiración (ET) se refiere a la combinación de dos procesos separados, por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo, estos procesos son evaporación y transpiración de la planta (Riego y Drenaje FAO 56, 2006). Los efectos del clima sobre los requerimientos de agua del cultivo vienen reflejados en la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o o uso consuntivo de agua) y el efecto del cultivo se incorpora en el coeficiente del cultivo (k_c).

Se distinguen dos formas de evapotranspiración: la evapotranspiración potencial o máxima, que es la cantidad de agua consumida durante un período de tiempo, en un suelo cubierto de vegetación homogénea densa en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua, y la evapotranspiración real, que es la cantidad de agua realmente

consumida por un determinado cultivo durante un periodo de tiempo considerado.

Evapotranspiración de referencia (ETp)

Existen algunos métodos para calcular la evapotranspiración de referencia (ETp), en el presente trabajo se va a utilizar el método del tanque evaporímetro, por ser uno de los más confiables y fáciles de obtener la información. Este método estima los efectos integrados del clima (temperatura, radiación solar, viento y humedad relativa del aire), cuyo modelo matemático es:

Tabla 2.1: (A)Tanque evaporímetro colocado en una superficie verde de poca altura

Distancia a barlovento a la cual cambia la cobertura D (m)	Velocidad del viento Km/día m/s	Humedad relativa media del aire	
		<40 >70	40-70
0 A 90	< 175	0,55	0,65
	< 2	0,75	
	175 - 425	0,50	0,60
	2 - 5	0,65	
	425 - 700	0,45	0,50
	5 - 8	0,60	
	>700	0,40	0,45
	> 8	0,50	
10 a 99	< 175	0,65	0,75
	< 2	0,85	
	175 - 425	0,60	0,70
	2 - 5	0,75	
	425 - 700	0,55	0,60
	5 - 8	0,65	
	>700	0,45	0,55
	> 8	0,60	
100 a 999	< 175	0,70	0,80
	< 2	0,85	
	175 - 425	0,65	0,75
	2 - 5	0,80	
	425 - 700	0,60	0,65
	5 - 8	0,70	
	>700	0,50	0,60
	> 8	0,65	

Más De 1000	< 175 < 2 175 - 425 2 - 5 425 - 700 5 - 8 >700 > 8	0,75 0,85 0,70 0,80 0,65 0,75 0,55 0,65	0,85 0,80 0,70 0,60

Tabla 2.1: (B) Tanque evaporímetro colocado n una superficie de barbecho seco

Distancia a barlovento a la cual cambia la cobertura D (m)	Velocidad del viento Km/día m/s	Humedad relativa media del aire	
		<40 >70	40-70
0 A 90	< 175 < 2 175 - 425 2 - 5 425 - 700 5 - 8 >700 > 8	0,70 0,85 0,65 0,80 0,60 0,70 0,50 0,65	0,80 0,75 0,65 0,60
10 a 99	< 175 < 2 175 - 425 2 - 5 425 - 700 5 - 8 >700 > 8	0,60 0,80 0,55 0,70 0,50 0,65 0,45 0,55	0,70 0,65 0,55 0,50
100 a 999	< 175 < 2 175 - 425 2 - 5	0,55 0,75 0,50 0,65	0,65 0,60

	425 - 700	0,45	0,50
	5 - 8	0,60	
	>700	0,40	0,45
	> 8	0,50	
Más De 1000	< 175	0,50	0,60
	< 2	0,70	
	175 - 425	0,45	0,55
	2 - 5	0,60	
	425 - 700	0,40	0,45
	5 - 8	0,55	
	>700	0,35	0,40
	> 8	0,45	



Figura 2.1: Tanque evaporímetro clase A (aquí se obtiene el valor de la evaporación). Fuente FAO, 2006

$$ET_p = ET_{Tan} \cdot K_{Tan}$$

Donde:

ET_p : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

ET_{Tan} : Evaporación del tanque evaporímetro clase (mm/día)

K_{Tan} : Coeficiente del tanque evaporímetro clase (tabla).

Para obtener el valor del coeficiente del tanque evaporímetro, se utiliza la tabla 2.1A o 2.1B

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

La evapotranspiración del cultivo se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra libre de enfermedades, con buena fertilización, bajo condiciones óptimas de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas.

Una vez calculada la evapotranspiración de referencia (ETp), se calcula la evapotranspiración del cultivo en mención (ETc), luego se compara los requerimientos hídricos del cultivo de referencia con el cultivo que se pretende regar mediante la ecuación siguiente:

$$ETc = ETp \cdot Kc$$

Donde:

ETc : Evapotranspiración del cultivo a regar (mm/día)

ETp : Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc : Coeficiente del cultivo (Tabla FAO, anexos)

El valor del coeficiente del cultivo k_c varía con el propio cultivo en sus diferentes fases de desarrollo.

Curva del coeficiente del cultivo

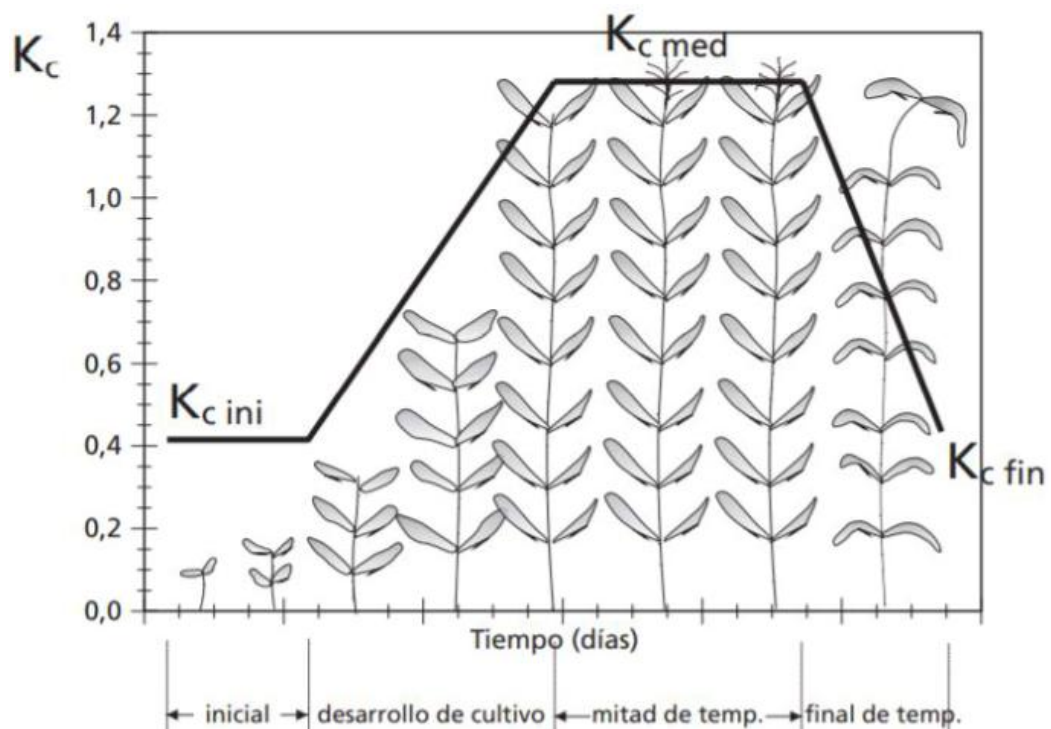


Figura 2.2: Curva característica de los cultivos anuales (K_c), Fuente FAO, 2006

Necesidades o demanda de riego

La demanda neta hace referencia a la cantidad de agua que la planta requiere, se las calcula con la ecuación siguiente:

$$Dn = ETc - Kc$$

Donde

Dn : Demanda neta de riego (mm)

ETc : Evapotranspiración o requerimientos hídricos del cultivo (mm/día)

Pe : Precipitación efectiva (mm)

Durante el proceso de almacenamiento de agua en el reservorio suelo. La precipitación pluvial constituye un alto porcentaje (en la mayoría de casos el total del almacenamiento) del contenido de agua en el suelo; pero parte de la lluvia de que dispone la planta para su desarrollo es únicamente una fracción de ésta, otra parte se pierde por escorrentía, percolación profunda o evaporación. En este sentido, el volumen de lluvia parcial utilizado por las plantas para satisfacer sus necesidades hídricas, se la ha definido como precipitación efectiva (Pe). Existen algunos métodos para estimar la precipitación efectiva. Para el presente trabajo se utilizará el método que aconseja la FAO, cuyas ecuaciones son:

Cuando la precipitación es superior a 75 mm: $Pe = 0,8 P - 25$

Cuando la precipitación es inferior a 75 mm: $Pe = 0,6 P - 10$

Donde:

Pe : Precipitación efectiva (mm)

P : Precipitación total mensual (mm)

Tabla 2.2: Información meteorológica requerida por el método del tanque evaporímetro (FAO)

Me s	Evaporación mm/mes	Viento m/s	Hum. Relativa %	Precipitación mm	Precip. Ef. mm/mes	Precip. Ef mm/día
E	79,9	1,1	79	59,4	25,6	0,8
F	69,5	0,9	79	109,8	62,8	2,2
M	83,4	2,9	79	46,3	17,8	0,6
A	102	1,2	77	75,8	35,6	1,2

M	71,9	2,6	76	70,7	32,4	1
J	85,8	3,7	76	77,5	37	1,2
Jl	98,8	5,3	73	31,1	8,7	0,3
A	126	3,3	66	46,2	17,7	0,6
S	125,5	3,7	67	60,6	26,3	0,9
O	106,4	1,5	75	34,4	10,6	0,3
N	120,1	1,2	76	60	26	0,9
D	111,1	1,8	77	81,1	39,8	1,3

Ejemplo de cálculo de los requerimientos hídricos del maíz dulce (amarillo)

La información meteorológica que menciona la tabla 2.2, siempre la disponen las instituciones estatales encargadas del registro y publicación, en caso del Ecuador es el INAMHI. Si en el sitio de estudio del proyecto no se tiene el tanque evaporímetro, se debe tomar información de la estación meteorológica más cercana y de características climáticas similares al sitio del proyecto.

Tabla 2.3: Cálculo de la evapotranspiración de referencia ET_p , (Método tanque evaporímetro)

Mes	Evaporación (ETan) mm/día	KTan	ET_p mm/día
E	2,6	0,75	1,95
F	2,5	0,75	1,87
M	2,7	0,65	1,75
A	3,4	0,75	2,55
M	2,3	0,65	1,49
J	2,8	0,65	1,82
Jl	3,2	0,6	1,92
A	4	0,75	3
S	4,2	0,6	2,52
O	3,4	0,75	2,6
N	4	0,75	3
D	3,6	0,75	2,7

La Evaporación (ETan) se la obtiene del cuadro de la información meteorológica Tabla 2.2, y el valor de (KTan) se la obtiene de la tabla 2.1A o de la tabla 2.1B, según la ubicación del tanque evaporímetro.

Tabla 2.4: Requerimientos hídricos del cultivo de maíz dulce (amarillo)

Fecha de siembra: 15 de agosto 2019

Fases desarrollo del maíz	Duración días	ETp mm/día	kc	ETc mm/día	Prec.E f mm	Demanda Neta (Dn) mm
15-31/Agosto	16	3	0,3	14,4	9,6	4,8
1-9/Septiembre	9	2,52	0,3	6,80	8,1	-1,29
10-30/Septiembre	20	2,52	0,7	35,28	18	17,28
1-15/Octubre	15	2,6	0,7	27,3	4,5	22,8
16-31/Octubre	16	2,6	1,15	47,84	4,8	43,04
1-24/Noviembre	24	3	1,15	82,8	21,6	61,2
25-30/Noviembre	5	3	1,05	15,75	4,5	11,25
1-15/Diciembre	15	2,7	1,05	42,52	19,5	23,02
	120			272,7	90,6	182,1

Tabla 2.5: Duración etapas de crecimiento del maíz dulce (amarillo) según la FAO

Fase inicial (días)	Fase de desarrollo (días)	Fase mediados de temporada (días)	Fase final (días)
25	35	40	20

Para calcular los requerimientos hídricos del cultivo de maíz, se utiliza la fórmula:

$$ETc = ETp \cdot Kc$$

El valor del kc (coeficiente de cultivo) se obtiene de la tabla de la FAO, anexo 1

Para calcular la demanda neta o la cantidad de agua que se debe suministrar a través del riego, se utiliza la fórmula:

$$Dn = ETc - Pe$$

El valor de la precipitación efectiva Pe , se obtiene del cuadro de la información meteorológica tabla 2.2

Los resultados indican que el cultivo de maíz dulce (amarillo) en todo su ciclo de vida requiere de 272,7 mm de agua como lo señala el cuadro, las precipitaciones efectivas fueron de 90,6 mm, por lo tanto, hay que suministrar al cultivo a través del riego 182,1 mm, equivalente a 1821 metros cúbicos por hectárea. Es importante mencionar que del 1 al 9 de septiembre como indica el cuadro, los requerimientos hídricos del cultivo es de 6,80 mm, las lluvias efectivas han aportado 8,1 mm, la demanda neta o la cantidad de agua que hay que suministrar a través del riego indica un valor negativo, es decir que las lluvias fueron mayores a la cantidad de agua que necesita el cultivo. Esto significa que durante ese periodo la planta no necesita riego.

2.4 Programación del riego

Una vez conocidas las necesidades de riego, interesa conocer la cantidad de agua que se debe aplicar en cada riego. La programación del riego tiene por finalidad asegurar la cantidad de agua necesaria, en el momento adecuado y en forma eficiente, lo que se traduce en el ahorro de agua y energía sin reducir la producción, para dar respuesta a las siguientes preguntas:

- a) Cuando se debe regar
- b) Cuanta cantidad de agua se debe aplicar en cada riego.
- c) Cuanto tiempo se debe aplicar el agua en cada riego.

Para contestar las dos primeras preguntas, hay que tener en cuenta los requerimientos hídricos de los cultivos y las características del suelo en cuanto a su capacidad para retener agua. Para contestar a la tercera pregunta hay que tener en cuenta la infiltración del agua en el suelo.

Agua disponible en el suelo.

Una vez conocidas los requerimientos de riego, interesa conocer la cantidad de agua que se puede aplicar en cada riego, que viene determinada por la cantidad de agua que puede retener el suelo, y a su vez depende de dos factores

- a) Capacidad del suelo para retener el agua, y
- b) Profundidad del suelo explorado por las raíces

El agua disponible (AD) para las plantas es el agua comprendida entre la humedad a capacidad de campo (H_{cc}) y el contenido de humedad al punto de marchitamiento (H_{pm}).

Contenido de humedad a capacidad de campo (Hcc)

El contenido de humedad a capacidad de campo se define como la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje, y que se alcanza según la textura del suelo entre 24 y 72 horas después del riego. En esta situación el agua ocupa los poros pequeños y el aire ocupa los poros grandes. Los valores de energía de retención del agua, la capacidad de campo se alcanza cuando la tensión matricial tiene valores de: 1/3 de atm en suelo franco, 0,1 atm para suelo arenoso, y hasta 0,5 atm en suelo arcilloso.

Contenido de humedad al punto de marchitez permanente (Hpm)

A partir de la capacidad de campo, el agua del suelo se va perdiendo progresivamente por evaporación y absorción de las plantas; es el punto en el cual la vegetación manifiesta síntomas de marchitamiento (caída de hojas, escaso desarrollo). El agua que queda es fuertemente retenida por el suelo, tanto que la raíz no puede vencer esa fuerza, se marchitan irreversiblemente.

Aproximadamente la mitad del agua contenida a capacidad da campo se encuentra fuertemente retenida que las plantas no pueden tomarla.

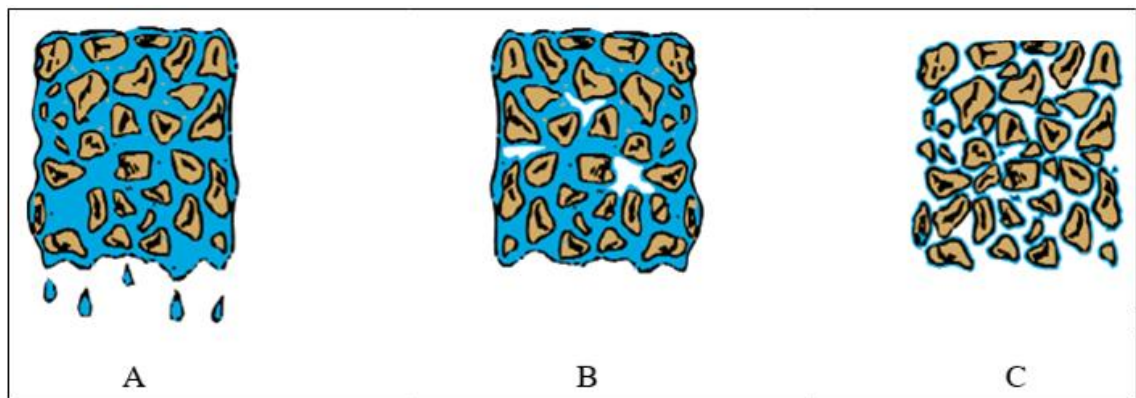


Figura 2.3: Estados de humedad del suelo: A (saturación, agua no aprovechable por la planta), B (capacidad de campo, agua aprovechable por la planta), C (punto de marchitez, agua no aprovechable por la planta).

La cantidad de agua retenida por un suelo a capacidad de campo y punto de marchitez se determina en laboratorio. Pero a falta de laboratorio se puede determinar a través de modelos matemáticos, como los siguientes:

$$H_{cc} = 0,48 A_c + 0,162 L + 0,023 A_r + 2,62 \text{ (fórmula de Peele)}$$

$$H_{pm} = 0,302 A_c + 0,102 L + 0,0147 A_r \text{ (fórmula de Briggs)}$$

Donde:

Hcc : Humedad a capacidad de campo

Hpm : Humedad al punto de marchitez permanente

Ac : Contenido de arcilla (humedad gravimétrica)

L : contenido de limo (humedad gravimétrica)

Ar : Contenido de arena (humedad gravimétrica)

Ejemplo:

Calcular la humedad a capacidad de campo y al punto de marchitez permanente de un suelo que tiene la siguiente textura:

35% de arcilla, 20% de limo, y 45% de arena

$$Hcc = 0,48 (35\%) + 0,162 (20\%) + 0,023 (45\%) + 2,62$$

$$Hcc = 23,7 (\% \text{ en base a peso seco del suelo})$$

$$Hpm = 0,302 (35\%) + 0,102 (20\%) + 0,0147 (45\%)$$

$$Hpm = 13,3 (\% \text{ en base a peso seco del suelo})$$

Lámina de agua disponible a la profundidad radicular del cultivo (LDzr)

La cantidad de agua disponible en el suelo a ser tomada por las plantas, está comprendida entre el rango de humedad a capacidad de campo (0,33 bares) y el punto de marchitez permanente (15 bares). La lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva del cultivo se calcula con la siguiente fórmula, (Avidan, 1994).

$$LDzr = (Hcc - Hpm)Da.Zr.10$$

LDzr : Lámina de agua disponible a la profundidad radicular (mm).

Hcc : Humedad a capacidad de campo (% en base al peso seco del suelo).

Hpm : Humedad al punto de marchitez (% en base a peso seco del suelo).

Da : densidad aparente (g/cm³).

Zr : Profundidad radicular (m). Corresponde al período de máximo consumo de agua Factor 10 convierte los datos a mm.

Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva del cultivo (LAzr).

La planta no puede aprovechar toda el agua que el suelo puede retener, sino solamente una fracción de aquella. La cantidad de agua que puede aprovechar la planta está en función de la variedad del cultivo y de las condiciones climáticas de la zona, algunas variedades de plantas son más

sensibles a la humedad que otras, tomando menor porcentaje de agua de la que está disponible en el suelo. La lámina de agua aprovechable por la planta se calcula con la siguiente fórmula, (Avidan, 1994).

$$LAzr = LDzr \cdot Pa \cdot PAR$$

Donde:

LAzr : Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular (mm).

LDzr : Lámina de agua disponible a la profundidad radicular (mm).

Pa : Máximo porcentaje de agua aprovechable por el cultivo (fracción de %).

PAR : Porcentaje de área de riego, o porcentaje de suelo humedecido (%).

Tabla 2.6: Máximos porcentajes de agua aprovechable (Pa %) de acuerdo a la Eto y al cultivo.

Tipo de Cultivo	Etp	
	Baja (2 - 5 mm/día)	Media a alta (6 a 10 mm/día)
Hortalizas	30 - 40	15 - 25
Frutales	50 - 60	25 - 40
Pastos	50 - 70	35 - 50
Cereales Algodón Oleaginosas Caña de Azúcar	60 - 70	45 - 60

Profundidad de raíces

Todo cultivo tiene un determinado patrón de distribución de raíces, el mismo que varía según la edad de la planta, las condiciones de humedad, la naturaleza física del suelo. Las características físicas en especial la textura y la humedad del suelo, tienen una gran influencia en la profundidad de enraizamiento.

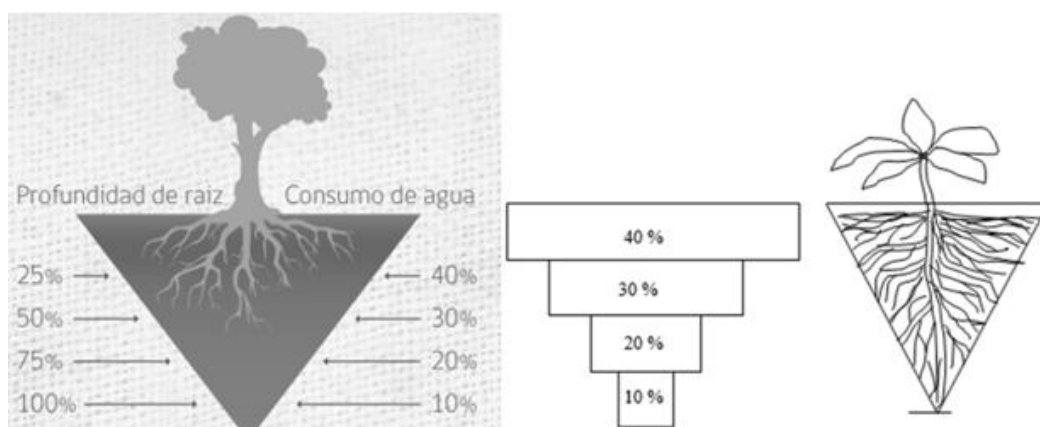


Figura 2.4: Patrón de enraizamiento y la distribución del agua aportada por riego. Fuente: CONADI, Chile (2017). <http://www.gea.uchile.cl>

Si la profundidad de enraizamiento (D) de un cultivo cualquiera se divide en 4 partes iguales, el patrón de agua extraída por el cultivo según la profundidad empezando de arriba hacia abajo será: 40, 30, 20 y 10%.

Con fines de planificación y diseño de riego, se concluye que suministrando riego las tres cuartas partes en profundidad de la raíz, se logra suministrar agua o regar el 90% del volumen de la masa radical del cultivo, sin perjudicar su rendimiento.

Volumen de suelo mojado.

Black (1974) realizó una experiencia donde dividió el sistema radicular de manzanos jóvenes en cuatro partes iguales y los plantó sobre cuatro macetas conteniendo cada una el 25% del volumen de raíces. Las cuatro macetas fueron regadas diariamente y cuando se consiguieron sistemas radiculares bien desarrollados, comenzaron los tratamientos, que consistieron en regar las cuatro macetas (testigo), tres, dos una y ninguna de las cuatro, la diferencia de los valores medios de transpiración obtenidos, expresados en porcentaje respecto al testigo, fueron:

Tabla 2.7: Porcentaje de transpiración versus volumen radicular

Volumen radicular mojado (%)	Transpiración (%)
100	100
75	94
50	88
25	74

Suponiendo incluso, que la disminución de transpiración obtenida se tradujese en disminución de actividad fotosintética, las diferencias son tan pequeñas frente a las reducciones en el volumen de raíces mojado, se puede concluir que, para las condiciones del mencionado ensayo, con suficiente disponibilidad de agua mediante riego diario, puede no mojarse el 100% del volumen radicular sin producir un estrés hídrico importante.

En el riego por goteo no se humedece toda la superficie del suelo, lo que para una profundidad de raíces dada equivale a decir que no se humedece todo el volumen de suelo correspondiente a la zona radicular. Pero siendo las raíces la principal vía de entrada del agua a la planta, el dato que interesa, a efectos de nutrición hídrica, es el volumen de raíces humedecido, que normalmente no coincidirá con el volumen de suelo húmedo, ya que ni el suelo es explorado uniformemente por las raíces, ni todas las raíces igualmente activas respecto a la absorción de agua.

2.5 Tensiómetro

El tensiómetro se basa en medir la mayor o menor fuerza de succión que tiene que ejercer las raíces para absorber el agua adherida a las partículas del suelo. El tensiómetro consta de un tubo lleno de agua con una cápsula de cerámica porosa en el extremo del tubo, equipado con un manómetro que mide el vacío que se forma dentro del tubo. El tubo se instala en el suelo, colocando la cápsula de cerámica porosa a la profundidad cuya tensión se requiere registrar, el manómetro queda por encima de la superficie del suelo.

Cuando el suelo se seca succiona agua del tubo a través de la capsula porosa, creándose un vacío que es detectado por el manómetro. Cuanto más seco esté el suelo mayor cantidad de agua succiona del tubo por lo tanto aumenta la lectura del manómetro. Si el suelo recibe agua se verifica el proceso contrario; es decir que el tubo succiona agua del suelo y el manómetro indica una lectura menor.

Los tensiómetros tienen longitudes de 30, 60, y 90 cm su escala está en centibares de 0 a 80 cb. Lecturas bajas del tensiómetro indican altos contenidos de humedad. Lecturas altas del tensiómetro indican contenidos bajos de humedad. La interpretación de las lecturas varía con el tipo de suelo y cultivo; de forma general se puede indicar las normas siguientes.

Lecturas de 0 a 10 cb, indica suelo saturado, lecturas de 10 a 30 cb, el suelo está a capacidad de campo, lecturas de 30 a 60 cb, la mayoría de las plantas necesitan suministro de riego, Lecturas superiores a 70 cb indican que las plantas no pueden tomar toda el agua que necesitan.



Figura 2.5: Instalación y componentes de un tensiómetro (fotos autor).

Calibración del tensiómetro

El tensiómetro debe ser calibrado en el sitio donde se va a implementar el proyecto de riego.

Curva tensión-humedad	
Tensión (cb)	Humedad (%)
4	35,82
7	31,8
13	25,4
20	21,9
32	20,8
41	20,5
45	20,45

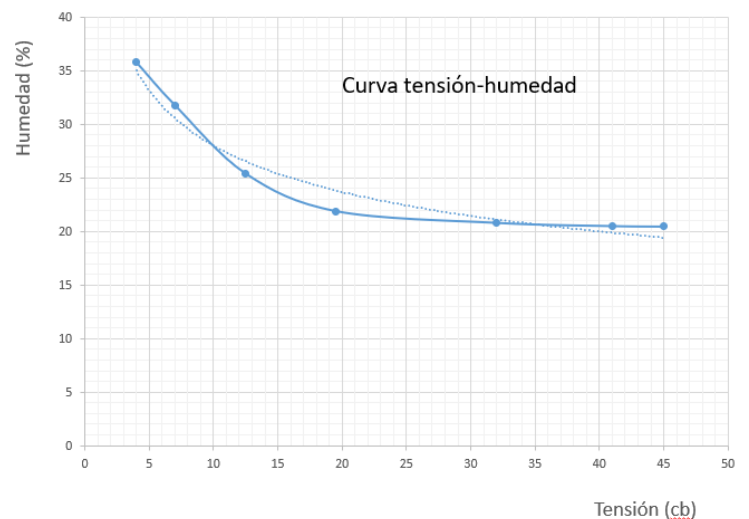


Figura 2.6: Curva tensión-humedad (investigación personal)

El procedimiento consiste en determinar el contenido de humedad del suelo por cada lectura que registra el manómetro. Las lecturas que registra el manómetro, y el contenido de humedad del suelo se realiza una vez por día, por un lapso entre 8 y 10 días. Se tiene un ejemplo de calibración de un tensiómetro.

En la figura 2.6 se puede observar que la curva tensión-humedad tiende a volverse horizontal a 45 centibares, significa que en ese instante el cultivo necesita riego.

2.6 Porcentaje de suelo humedecido o porcentaje del área bajo riego (PAR)

En el riego por goteo no se humedece el 100% del área a regar, sino un porcentaje de ésta. Se ha comprobado que regando el 50% del potencial de raíces se han obtenido excelentes resultados, Reed Irrigation System lo fija en 40%. Según Keller y Karmeli (1975) en cultivos de espaciamiento alto se debe humedecer un 33 % del área. En términos medios para especies arbóreas se debe regar entre un 30 a 50%, y para hortalizas el PAR debe estar entre un 50 y 70%.

Lo ideal es hacer pruebas con diferentes caudales y tiempos, y, diseñar con estos valores, pero generalmente esto no es factible, por lo que se recurre a tablas que dan valores de humedecimiento de acuerdo al caudal del gotero, espaciamiento de este en la línea y espaciamiento entre líneas. Uno de estos cuadros es el propuesto por (Keller y Karmeli, 1975).

Tabla 2.8: Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo (PAR)

Espaciamiento Entre Laterales (m)	Descarga del gotero (L/h)														
	Menos de 1,5			2			4			8			Más de 10		
	Textura del suelo														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	Espaciamiento de los goteros en el lateral (m)														
0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0	
Porcentaje del área bajo riego estimado (%)															
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6,0	5	12	20	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

G = Textura gruesa
M = Textura media (franca)

Keller & Karmelli. Trickle Irrigation Design
Rain Bird Sprinkler Manufacturing Co, USA

Para el riego por goteo, el espaciamiento de los goteros, su puede calcular con la tabla 2.8 de (Keller y Karmeli, 1975). Tomando en cuenta siempre el espaciamiento óptimo entre goteros y laterales de riego recomendado.

Disposición de laterales de riego y emisores

La localización adecuada de las zonas húmedas respecto a la planta, se realiza a través de la disposición de líneas laterales y de la situación de los

emisores. La disposición de los laterales de riego y de los goteros más frecuentes se puede mencionar las siguientes:

Línea lateral simple, línea lateral doble, disposición zigzag, disposición en anillos y disposición de goteros multisalida.

Cuando se trata de disposición de goteros en línea en cultivos con marco de plantación medio o amplio, se debe garantizar que en condiciones normales de riego la profundidad del bulbo húmedo no sobrepase el 75% de la profundidad de la raíz. Así mismo se debe tomar en cuenta, conforme la planta crece también las raíces van extendiéndose, por lo tanto, necesita mayor área humedecida. Esto significa que el diseño debe permitir la instalación adicional de goteros.

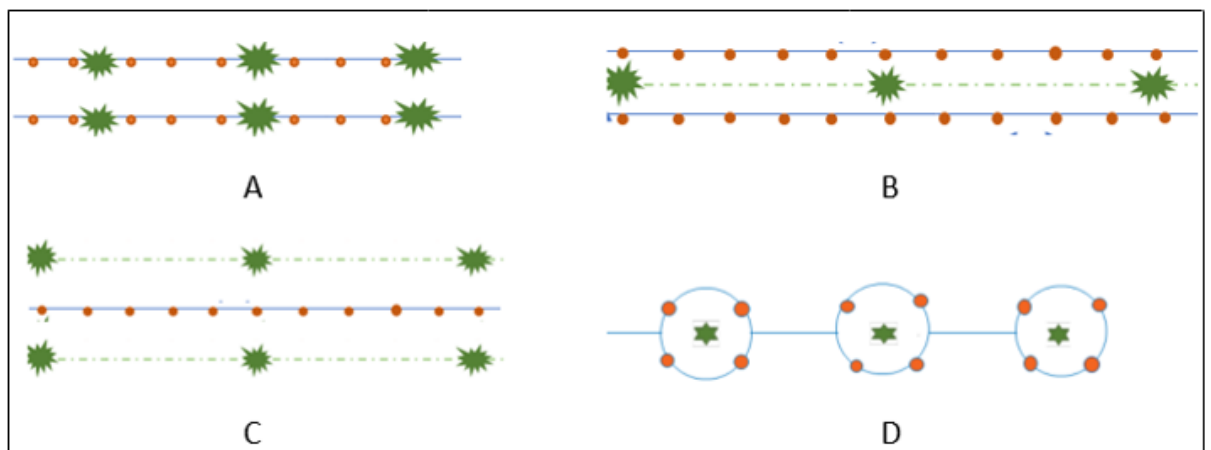


Figura 2.7: Disposición de los laterales de riego por goteo: A (1 lateral por cada hilera de plantas), B (2 laterales de riego por cada hilera de plantas), C (1 lateral de riego por cada 2 hileras de plantas), D (disposición tipo anillo con múltiples goteros por cada planta)

Ejemplo 1: Cálculo del PAR, utilizando la tabla 2.8 de (Keller y Karmeli, 1975).

Determinar el PAR y el espaciamiento entre goteros adecuado para un gotero de 4 l/h, en un suelo de textura media, donde el espaciamiento entre árboles es de 3,5 m x 3,5 m, ubicando un lateral de riego por fila de árboles.

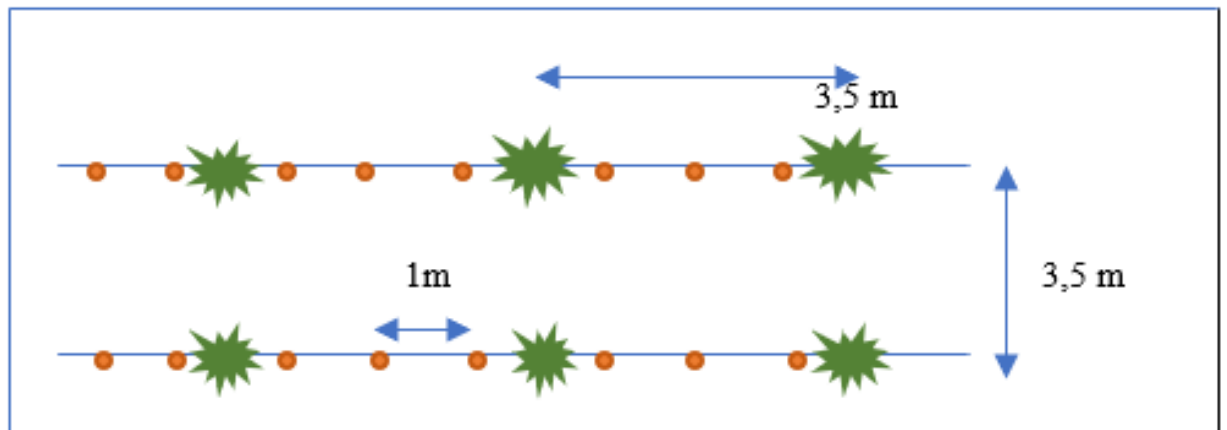


Figura 2.8: Disposición de los laterales de riego del ejemplo uno

Resolución:

En la tabla 2.8 “porcentaje de área humedecida en el riego por goteo ó porcentaje de área bajo riego” PAR, se obtiene para $Q = 4 \text{ L/h}$, suelo medio, el espaciamiento entre goteros corresponde a 1 m. Interceptando la distancia entre laterales de 3,5 m el PAR corresponde al 34%.

Cuando se tiene dos líneas de laterales por línea de plantas:

Cuando se tiene dos líneas de laterales por línea de plantas con goteros uniformemente distribuidos, se debe procurar que tanto el espaciamiento corto $S1$ y espaciamiento entre goteros sea el máximo que de un porcentaje de área bajo riego (PAR), $P1 = 100 \%$; lo cual maximiza los goteros y deja una franja seca entre el espaciamiento largo $S2$. Para este caso se utiliza la siguiente ecuación

$$PAR = (P1 \cdot S1 + P2 \cdot S2) / Sr$$

Donde:

- P1 : Porcentaje de humedecimiento 1
- P2 : Porcentaje de humedecimiento 2
- Sr : Espaciamiento entre hileras
- S1 : Espaciamiento corto entre laterales
- S2 : Espaciamiento largo entre laterales

Ejemplo 2: Cálculo del PAR, utilizando la tabla de (Keller y Karmeli, 1975).

Determinar el PAR y espaciamiento adecuado entre goteros y laterales para un cultivo con espaciamiento de 6 m x 6 m. El gotero que se usará

es de 4 l/h, y suelo de textura media. Se ubicará dos laterales de riego por fila de árboles.

Resolución:

Con 4 L/h y textura media (M), el espaciamiento entre goteros (S_e) = 1 m, entro a la tabla 2.8 de keller & Karmeli, se obtiene un PAR de 100%, con estos datos obtengo el espaciamiento corto entre laterales ($S_1 = 1,2$ m). Como el espaciamiento entre árboles es ($S_r = 6$ m), el espaciamiento largo ($S_2 = S_r - S_1$), por lo tanto, $S_2 = 4,8$ m.

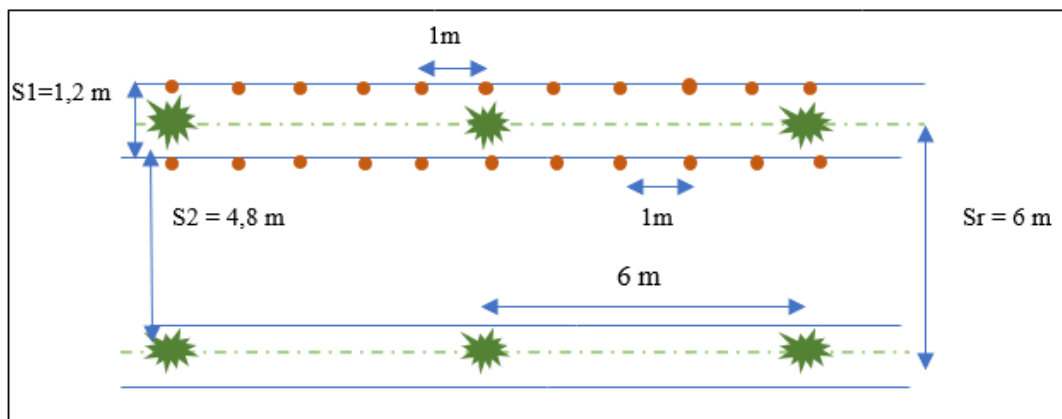


Figura 2.9: Disposición de los laterales de riego del ejemplo dos. Con el espaciamiento largo entre laterales ($S_2 = 4,8$ m), espaciamiento entre goteros ($S_e = 1$ m), Caudal (4 L/h), y textura media (M), ingresa a la tabla 2.8 de Keller y Karmeli (1975) se obtiene un ($P = 25\%$).

Para obtener el PAR se utiliza la fórmula siguiente:

$$PAR = (P_1 \cdot S_1 + P_2 \cdot S_2) / S_r$$

$$PAR = (100 \cdot 1,2m + 25 \cdot 4,8m) / 6 m$$

$$PAR = 40\%$$

Frecuencia de riego (Fr)

La frecuencia de riegos o intervalo entre dos riegos, expresado en días, se obtiene dividiendo la cantidad de agua (LA_{zr}) que se debe reponer, por la demanda neta diaria (D_n).

$$FR = LA_{zr} / D_n$$

Donde:

FR : Frecuencia o intervalo de riego (días)

LA_{zr} : Lámina de agua aprovechable a l zona radicular (mm)

D_n : demanda neta o necesidades de riego (mm/día)

Lámina bruta (LB)

El agua aplicada en el riego no es aprovechada en su totalidad por la planta, por lo tanto, se debe suministrar una cantidad de agua adicional a la lámina de agua aprovechable, para compensar las pérdidas, caso contrario las plantas no tendrían toda el agua que requieren.

Se utiliza la siguiente ecuación para calcular la lámina bruta, para el riego por goteo:

$$Lb = LAzr/Ea$$

La eficiencia en riego por goteo, depende de dos factores: Coeficiente de uniformidad de riego y la relación de transpiración. El coeficiente de uniformidad se puede estimar un valor entre 0,80 y 0,9 y el Rt , se obtiene de la tabla 2.9

$$Ea = Cu \cdot Rt$$

$$Lb = LAzr/(Cu \cdot Rt)$$

Donde:

Lb : Lámina bruta (mm)

$LAzr$: Lámina de agua aprovechable a l zona radicular (mm)

Ea : Eficiencia de riego

Cu : Coeficiente de uniformidad (0,80 - 0,90)

Rt : Relación de transpiración, Tabla 2.9

Tabla 2.9: Valores de Rt en función de la profundidad de raíces y textura del suelo.

Profundidad raíz (m)	Textura			
	Muy arenosa	Arenosa	Media	Fina
< de 0,75	0,9	0,9	0,95	1,0
De 0,75 a 1,50	0,9	0,95	1,0	1,0
> de 1,50	0,95	1,0	1,0	1,0

Tiempo de riego (horas)

Es el tiempo requerido en horas, para aplicar por medio de los goteros, la lámina bruta, depende del caudal del gotero. Se calcula con la fórmula siguiente

$$Tr = V / Q$$

Donde

Tr : Tiempo de riego (horas)

V : Volumen (m³), se debe transformar a litros (L)

Q : Caudal del gotero (L / h)

$$V = Lb. Se. S1$$

$$V = Lb. Se. sp$$

Donde

V : Volumen (m³), se debe transformar a litros (L)

Lb : lámina bruta (mm), se debe transformar a metros

Se : Espaciamiento entre goteros (m)

S1 : Espaciamiento corto entre laterales (dos laterales por hilera de plantas)

Sp : Espaciamiento entre plantas (m) (para un lateral por hilera de plantas)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Allen, RG., Pereira L. S., Raes D., Smith M., Evapotranspiración del cultivo. Estudio FAO RIEGO Y DRENAJE. N° 56. Roma 2006

Avidan, A. (1994). Determinación del régimen de riego de los cultivos. Factores que influyen sobre el régimen de riego. Fascículo N° 1. Ministerio de Agricultura. Servicio de Extensión Agrícola. Departamento de Riego y Suelos. Estado de Israel.

Black, J. D. F. y West, D. W. (1974). Water uptake by an apple tree with various proportions of the root system supply with water. En II internat. Drip irrigation Proceeding. California. USA. 432-433p.

Keller J. and D. Karmeli 1975. Trickler irrigation design. Edited and published by Rain Bird sprinkler corporation, Glendora, California 91740 USA. 20-25 pp. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2017. Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo

III DISEÑO HIDRÁULICO

Resumen

Este capítulo relacionado al diseño hidráulico de un sistema de riego por goteo, corresponde al dimensionamiento y distribución de las redes de abastecimiento de agua, ubicación de elementos de control como válvulas, filtros, manómetros que complementan el manejo del riego. El dimensionamiento y distribución de las redes de riego, así como la ubicación de los distintos elementos de manejo, se fundamentan a partir del diseño agronómico. El diseño agronómico indica las cantidades de agua que los cultivos han consumido, estas cantidades de agua hay que suministrar por intermedio del riego a los cultivos. Este trabajo indica los procesos de cálculo que permiten dimensionar los laterales de riego, secundarios, terciarios y conducciones principales, así como la distribución de unidades y subunidades de riego con sus respectivos sistemas de control. Finalmente se indica la selección del equipo motobomba.

Introducción

Cada vez más, se tiende a dimensionar las instalaciones de riego colectivo, para que trabajen a la demanda, cuya finalidad supone un ahorro de agua y facilidad de manejo; las redes hidráulicas se clasifican en ramificadas, malladas y mixtas. El dimensionamiento de la red para riego a la demanda, que sea capaz de cubrir las necesidades de riego en sus necesidades más críticas con escasas posibilidades de fallo en el suministro, puede encarecer el costo de la instalación. La mayoría de los problemas hidráulicos que se plantea en el diseño de una conducción de agua a presión se reducen a calcular cuál será el diámetro mínimo de las tuberías necesario para suministrar un caudal garantizando una presión o carga determinada.

Esto hace a los diseñadores y planificadores plantear variantes que conduzcan a un riego por turnos o demanda restringida. Con un cierto nivel de automatización se puede manipular la apertura y cierre de válvulas de cada subunidad de riego, que puede ser desde la forma manual o a través de un ordenador central, permitiendo al regante la libre disponibilidad de agua en condiciones de presión y caudal necesarios, esto contribuye a tener un mejor uso del agua, permitiendo que cada regante pueda planificar sus riegos de acuerdo con las necesidades de agua de los cultivos.

Una vez definida la red de riego, se debe dimensionar la estación de bombeo, y diseñar su regulación y control buscando su óptimo

funcionamiento, salvo que se disponga con energía suficiente por gradiente geométrico (diferencia de nivel) donde no se necesita un equipo de bombeo,

3.1 Goteros

Existe una amplia variedad de goteros, simplificando de acuerdo a la configuración de los conductos de paso de agua, entre los principales se pueden mencionar los siguientes:

De laberinto: Pertenecen a este tipo una serie de goteros, llamados de segunda generación, tienen largos conductos tortuosos, que permite que aumente la turbulencia del flujo, permitiendo que las descargas sean bajas y estables. Este tipo de emisores son menos sensibles a las obturaciones.

De orificio: En este tipo de goteros, el agua sale al exterior a través de uno o varios orificios de pequeño diámetro, en donde la presión se disipa. El régimen de flujo es turbulento, son muy sensibles a las obturaciones.

Tipo vortex: Están provistos de una cámara circular, en donde se produce un flujo vorticial, esto se produce al entrar el agua tangencialmente a la pared circular de la cámara. El movimiento de rotación consigue que el eje del vortex obtenido esté en el eje de la cámara, como consecuencia de aquello se da la pérdida de energía que se produce es superior que la del gotero de orificio del mismo diámetro. Son muy sensibles a las obturaciones.

Autocompensantes: Se trata de goteros de flujo turbulento o transitorio en los que se intenta obtener un caudal constante independiente de la presión. La autorregulación se consigue normalmente mediante una pieza móvil y flexible de goma o caucho que se deforma con la presión, disminuyendo la sección de paso del agua y limitando así el caudal. Debido a la presencia de piezas móviles, el efecto autorregulante se consigue a partir de una presión que será indicada por el fabricante.

Sistemas integrados: En estos sistemas, los goteros se sitúan en el interior de la tubería en el mismo proceso de fabricación. En algunos casos pueden ser goteros tipo laberinto sin carcasa exterior, actuando como tal la propia tubería. En otros casos pueden ser goteros autocompensados. El caudal de estos goteros es por lo general menor a 4L/h. Este tipo de gotero se puede adaptar perfectamente a cultivos como hortalizas, menos a frutales.

Estos sistemas integrados se diseñan para reducir costos en los cultivos que requieren gran cantidad de goteros. La durabilidad es variable, está

en función de la calidad de la tubería, en términos generales tienen una durabilidad de dos temporadas, las distancias de ubicación en los laterales pueden estar desde 0,30 m hasta 1,50 m, pueden operar con presiones bajas desde 3 mca.

El reemplazo de goteros puede ser un problema, se necesita adaptadores especiales a conexiones estándar.

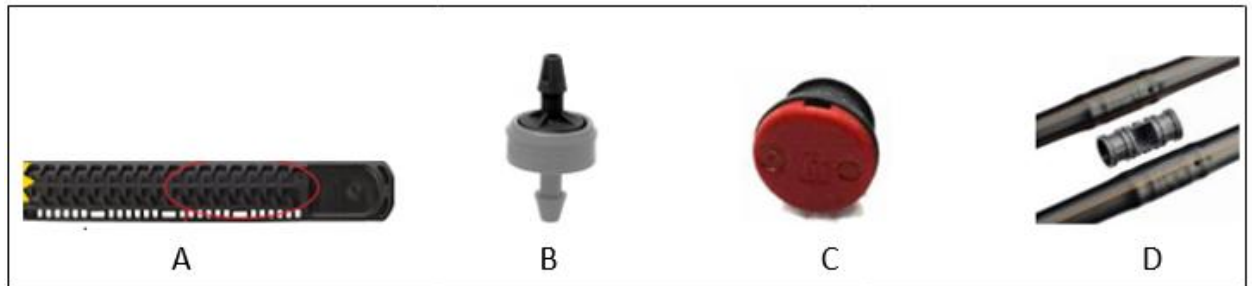


Figura 3.1: Tipos de goteros: A (tipo laberinto), B (tipo botón), C (tipo vortex), D (sistemas Integrados), Catálogo NETAFIM.

3.2 Red de distribución.

Los materiales más utilizados en las tuberías de distribución son plásticos como el policloruro de vinilo (PVC) o el polietileno (PE). Las tuberías de PVC se utilizan principalmente en las conducciones principales, de diámetros mayores a 50 mm, existen de diferentes presiones de trabajo, son dadas por las casas fabricantes. Las tuberías de PVC, no deben estar expuestas por mucho tiempo al aire libre, debido a que la radiación solar las deteriora. Las tuberías de polietileno es un material flexible, se utiliza para diámetros menores a 50 mm. Es de uso casi obligado en los laterales de riego, por la facilidad de ubicación de los emisores, esta tubería no tiene inconvenientes con la exposición a la radiación solar.

La red colectiva de distribución puede ser ramificada, mallada o mixta. En las redes ramificadas los caudales de demanda se calculan a partir de los nudos; partiendo de los nudos más alejados y continuando aguas arriba hasta la cabecera, verificando en cada nudo las presiones de trabajo. En redes ramificadas el agua solo puede seguir un camino para llegar a cada nudo; en las malladas las posibilidades son múltiples, estas redes son alimentadas desde diferentes puntos lo que origina mayor seguridad de suministro, son más costosas.

Si las parcelas a regar tienen pendientes mayores a 2% y el cabezal de riego está en un nivel más bajo (cota menor) con respecto a los laterales de riego, se debe tener en cuenta que no es aconsejable tender laterales de riego de más de 100 m de longitud, ya que las pérdidas de presión podrían perjudicar la uniformidad de riego. En el caso de terrenos planos

no se recomienda longitudes mayores a 140 m. Otro factor que limita la longitud de los laterales de riego es el tipo de emisores, si son autocompensados la única limitación es que en el último emisor exista la presión mínima que recomienda el fabricante, si no son autocompensados la uniformidad de riego se verá perjudicada a longitudes mayores de 100 m.

Tuberías laterales

Las tuberías laterales son aquellas que alimentan directamente a los emisores y es donde van insertados los emisores (goteros). Generalmente son de material plástico (PVC, poliethileno) de diámetros pequeños (12, 16, 20, 25 mm). En terrenos con pendientes hasta el 5%, los laterales se situarán en dirección de esta pendiente. En caso de pendientes superiores, los laterales se colocarán siguiendo, la menor pendiente del terreno, ubicando las terciarias en la máxima pendiente.

El diseño consistirá en la determinación o selección del diámetro adecuado de las tuberías, la longitud del lateral, número de laterales por hilera de plantas, número de emisores por planta, número de emisores por lateral, distancias entre emisores, caudales respectivos tanto de laterales como de emisores y presiones de trabajo así mismo de laterales y emisores.

Diseño de tuberías laterales de riego:

Las ecuaciones o modelos hidráulicos para el diseño de los laterales de riego por goteo, son los mismos que se utiliza para riego por aspersión con características propias de cada uno de ellos, en el caso del riego por goteo, los caudales de los emisores son pequeños, igualmente las presiones de funcionamiento son bajas. Los buenos procedimientos de diseño y manejo requieren el entendimiento de conceptos como eficiencia y uniformidad, (Tarchitzky, 2002).

Pérdidas de carga o energía

Las pérdidas de energía ó carga por longitud que ocurren en una tubería lateral se pueden calcular según el diámetro de la tubería, el número de emisores, descarga por emisores, espaciamento entre emisores.

Las pérdidas de carga se pueden calcular utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hazen - Williams, (Saldarriaga, 2007). En este texto se va a utilizar la ecuación Hazen - Williams cuya ecuación es la siguiente:

$$hf = 1,131 \cdot 10^9 \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \cdot D^{-4,872} \cdot L \cdot F$$

Donde

- hf: Pérdida de carga o energía (m)
 Q: Caudal (lateral), (m³/h)
 C: Coeficiente de Hazen & Williams (polietileno y PVC, asumir 150), tabla 3.1
 D: Diámetro interno de la tubería lateral (mm)
 L: Longitud de la tubería lateral (m)
 F: Coeficiente de Christiansen, (en función del número de goteros en el lateral, tabla 3.2)

Tabla 3.1: Valores del coeficiente "C" para la ecuación de Hazen - Williams.

Material	Coeficiente "C"
Acero nuevo	140
Aluminio nuevo	140
Acero viejo (15 años)	120
Acero remachado (10 años)	110
Aluminio con acoples	120
Galvanizado con uniones	115
PVC	150
Polietileno	140

Tabla 3.2: Coeficiente "F" de Christiansen para múltiples salidas en el lateral.

Número de salidas (goteros)	F (Polietileno y PVC)
5	0,469
10	0,415
12	0,406
15	0,398
20	0,389
25	0,384
30	0,381
40	0,376
50	0,374
100	0,369
200	0,366

La pérdida de carga en los laterales de riego por goteo es baja, se estima como norma, que la máxima pérdida de carga permitida cuando el lateral está a nivel, debe ser igual o menor a:

$$hf = 0,2 \cdot Po$$

Donde

Hf : pérdida de carga en la tubería lateral (m)

Po : Presión de operación del emisor o gotero (m)

Cálculo de la Presión de entrada en el lateral

Para garantizar que todos los emisores (goteros) que están ubicados en el lateral de riego incluido el último, tengan presión adecuada para su funcionamiento, se calcula con la siguiente ecuación, el lateral debe estar ubicado a nivel en el terreno. Si el lateral está ubicado con una pendiente se debe tomar en cuenta para el cálculo de la presión de entrada (PE), se sumará si la pendiente está hacia arriba, y se restará si la pendiente está hacia abajo

$$PE = Po + 3/4 (hf)$$

Donde:

Po : Presión del emisor o gotero (m)

Hf : Pérdida de carga (m)

Ejemplo de diseño.

Diseñar el sistema de riego por goteo de acuerdo al siguiente esquema de distribución en el campo. Se regará en dos turnos, primer turno módulo 1, segundo turno módulo 2

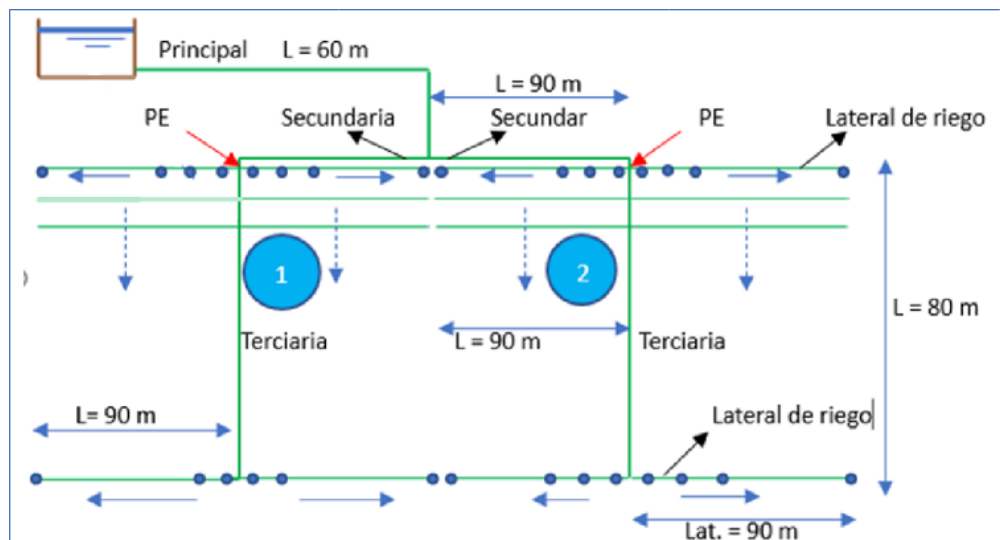


Figura 3.2: Distribución del sistema de riego del ejemplo mencionado, (fuente autor)

Diseño del lateral de riego:

Longitud del lateral de riego : 90 m
 Caudal de descarga del gotero : 4 L/h
 Presión de funcionamiento del gotero : 6 m
 Espaciamiento entre goteros : 0,75 m
 Espaciamiento entre laterales de riego : 1,50 m

Se calcula las pérdidas de carga o energía en el lateral de riego con la siguiente ecuación.

$$hf = 1,131 \cdot 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \cdot D^{-4,872} \cdot L \cdot F$$

$$Hf = 1,131 \cdot 10^9 (0,48/150)^{1,852} (20)^{-4,872} \cdot 90 \cdot 0,366$$

$$Hf = 0,41 \text{ m}$$

Donde:

0,48 m³/h es el caudal de los 120 goteros.

150 es el coeficiente por ser tubería de polietileno (tabla 3.1)

20 corresponde al diámetro de la tubería (catálogo de tuberías).

90 m longitud de la tubería lateral.

0,368 coeficiente en función del número de salidas en este caso 120 goteros (tabla 3.2).

Esta pérdida de carga está dentro del rango permitido.

Calculadas las pérdidas de carga en el lateral de riego, se procede a calcular la presión de entrada en el lateral.

$$PE = Po + 3/4 (hf)$$

$$PE = 6m + 3/4 (0,41 m)$$

$$PE = 6,31 m$$

Esta es la presión que se debe tener a la entrada de todos los laterales de riego, para garantizar el funcionamiento de todos los goteros.

Diseño de tuberías terciarias

La tubería terciaria en la subunidad de riego es la que alimenta a las tuberías laterales por lo general los diámetros son de 32, 40, 50, 63, 75 y 90 mm, si las tuberías son PVC, tienen que ser enterradas, se debe tener en cuenta que la velocidad del agua no debe sobrepasar los 2,5 m/s.

Las tuberías terciarias pueden cambiar su diámetro aguas abajo, de acuerdo a las características hidráulicas y fines económicos.

Las tuberías terciarias se calculan y se diseñaran de la misma forma que las tuberías laterales.

Se calcula las pérdidas de carga o energía en la tubería terciaria con la siguiente ecuación, que es la misma para tuberías laterales.

$$hf = 1,131 \cdot 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \cdot D^{-4,872} \cdot L \cdot F$$

$$Hf = 1,131 * 10^9 (50,88/150)^{1,852} (86,4)^{-4,872} * 80 * 0,374$$

$$Hf = 1,7 m$$

Donde:

50,88 m³/h es el caudal de los 12720 goteros.

150 es el coeficiente por ser tubería PVC (tabla 10)

86,4 mm corresponde al diámetro de la tubería (catálogo de tuberías).

80 m longitud de la tubería terciaria.

0,374 coeficiente en función del número de salidas, en este caso 53 laterales (tabla 3.2).

Diseño de la tubería secundaria

Se calcula las pérdidas de carga o energía en la tubería secundaria con la siguiente ecuación.

$$hf = 1,131 \cdot 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \cdot D^{-4,872} \cdot L$$

$$Hf = 1,131 \cdot 10^9 (50,88/150)^{1,852} (105,6)^{-4,872} \cdot 90$$

$$Hf = 1,90 \text{ m}$$

Donde:

50,88 m³/h es el caudal de 12720 goteros.

150 es el coeficiente por ser tubería PVC (tabla 3.1)

105,6 mm corresponde al diámetro de la tubería (catálogo de tuberías).

90 m longitud de la tubería secundaria.

Es de mencionar, en la tubería secundaria no se toma en cuenta el coeficiente por el número de salidas.

Diseño de la tubería principal

Se considerará como principio fundamental que la tubería principal recorra la menor distancia posible. El diseño de la tubería principal, está en función de los turnos de riego, para este caso será diseñada para que toda el área sea regada en dos turnos. Primer turno módulo 1, segundo turno módulo 2. Es decir, la tubería principal tiene que abastecer con agua a una sola tubería secundaria. Las pérdidas de carga o energía en la tubería principal se las calcula con la siguiente ecuación.

$$hf = 1,131 \cdot 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \cdot D^{-4,872} \cdot L$$

$$Hf = 1,131 \cdot 10^9 (50,88/150)^{1,852} (105,6)^{-4,872} \cdot 60$$

$$Hf = 1,3 \text{ m}$$

Donde:

50,88 m³/h caudal de 12720 goteros.

150 es el coeficiente por ser tubería de PVC (tabla 3.1)

105,6 mm corresponde al diámetro interno de la tubería (catálogo de tuberías).

60 m longitud de la tubería principal.

3.3 Equipo motobomba

Para seleccionar el equipo de bombeo se requiere conocer el caudal de diseño (Q), y la altura dinámica de bombeo o altura manométrica (Hd), con estos datos se ingresa al catálogo de las motobombas.

Para el presente caso la altura dinámica de bombeo o altura manométrica se calculó con la siguiente ecuación:

$$Hd = Z + ha + hf(l) + hf(ac) + PE + v^2/2g$$

Donde:

Z 1,5 m, (diferencia de cota entre el espejo del agua en la captación y el sitio más desfavorable topográficamente, o si es terreno plano el lateral más distante)

ha 0 (la fuente da agua es un canal de caudal constante, no hay abatimiento).

hf(l) 4,9m (Suma de las pérdidas de carga por longitud de la tubería terciaria, Secundario y principal)

hf(ac) 1m (pérdidas de carga por accesorios para este caso se consideró el 20% de las Pérdidas de carga por longitud)

PE 6,31 m (presión de entrada en los laterales de riego)

V²/2g 0,13 m (la velocidad del agua se calcula en la tubería principal, para el presente caso la tubería es de 105,6 mm).

Hd 1,5 m + 0 + 4,9 m + 1 m + 6,31 m + 0,13 m

Hd 13,84 m

Con el valor del caudal de diseño (Q = 50,88 m³/h), y el valor de (Hd = 13,84 m) se ingresa al catálogo de bombas, dado por la casa fabricante.

Con el valor del caudal (50,88 m³/h) en la escala horizontal, se intercepta la curva del catálogo correspondiente, una vez interceptada la curva, se dirige horizontalmente a la escala vertical altura manométrica (H), para el

presente caso es de 15 m. (indica la línea roja entrecortada en la figura 3.3). Por lo tanto, la motobomba requerida es la Hf 20B, porque garantiza los 13,84 m calculados, correspondiente al valor de la altura dinámica de bombeo o carga manométrica.

El valor de la altura manométrica (H) que indica la curva de la bomba en el catálogo no puede ser menor al valor de la altura manométrica calculado (Hd). Es de resaltar que cada curva corresponde a un tipo de motobomba del mismo género.

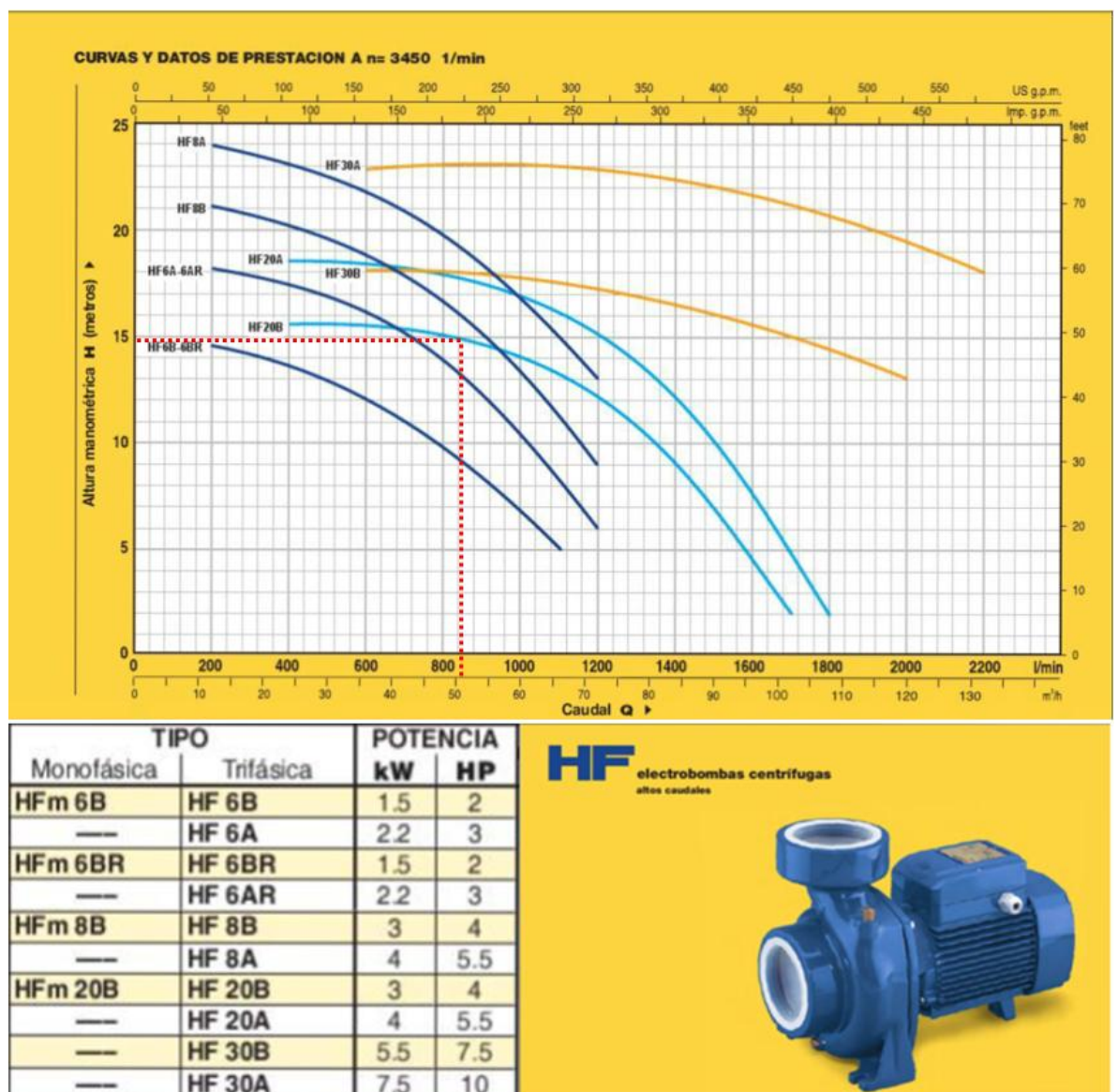


Figura 3.3: Selección de la motobomba para el sistema de riego mencionado (catálogo de bombas PEDROLLO).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Oliva Molina, R. M. & Zapata Sierra, A. J. (2024). Diseño del sistema de riego localizado en una explotación con varios cultivos: (1 ed.). Editorial Universidad de Almería.
<https://elibro.net/es/lc/utmachala/titulos/281164>.

Saldarriaga, J., Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes, riego. Universidad de los Andes. Alfaomega Bogotá. D.C. 2007. ISBN 978-958-682-680-8.

Saldarriaga, J., Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes, riego. Universidad de los Andes. Alfaomega Bogotá. D.C. 2007. ISBN 978-958-682-680-8.

Tarchitzky, J. (2002). El riego por goteo. Planificación de redes de riego a presión. 27 p

Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (2008). El riego por aspersión y su tecnología: (3 ed.). Mundi-Prensa.
<https://elibro.net/es/lc/utmachala/titulos/35828>

IV MODELO MATEMÁTICO APLICADO AL RIEGO

Resumen

La utilización de modelos matemáticos (regresión lineal) ha proporcionado una capacidad aceptable de estimación predictiva de la demanda de agua de los cultivos, es una herramienta fácil de ser usada, que permite un uso más racional del agua. En el presente trabajo se menciona todo el proceso de funcionamiento y aplicación del modelo matemático por intermedio de un ejemplo, donde constan las curvas rendimiento-producción con sus respectivas ecuaciones, que sintetizan las cantidades de agua que se requiere disponer para el ciclo vegetativo del cultivo de maíz.

Introducción

El uso eficiente del agua para riego solo puede lograrse cuando en la planificación del proyecto, el suministro del recurso agua estén orientados a atender en cantidad y tiempos adecuados al cultivo, considerando los períodos de escasez de agua, para un crecimiento óptimo y alta productividad. El conocimiento de las funciones agua-rendimiento en la planificación y operación del riego adquiere significativa importancia, investigadores como Molden et al (2003), y Dehghanisani et al (2009) manifestaron que a partir de estas funciones (agua/rendimiento) pueden elaborarse reglas con criterios técnico-económicos para la aplicación del agua de un cultivo a fin de maximizar la producción en condiciones de déficit hídrico. Los modelos matemáticos como la regresión lineal y múltiple, generan resultados predictivos aceptables especialmente cuando se considera la variable de entrada, demanda de agua de dos días anteriores al estimado, (Pulido et al; 2005).

4.1 Modelo Matemático

Considerando que las funciones agua-producción son de importancia económica para establecer niveles óptimos de riego que permitan obtener los máximos beneficios especialmente en casos donde el agua es escasa o de alto valor económico. El estudio de las funciones o modelos agua-producción y su uso dentro de la planificación del uso del agua en la agricultura es una vía importante para trazar estrategias de manejo que contribuyan al incremento de la productividad del agua en el sector agrícola; utilizando información del consumo de agua y, agua aplicada por riego.

Con ayuda de herramientas de análisis de regresión en el presente trabajo de investigación se estimó las funciones rendimiento versus agua

aplicada en el cultivo de maíz duro. Las funciones obtenidas pueden servir como herramienta para alcanzar los rendimientos potenciales del cultivo estudiado y en la toma de decisiones cuando el recurso agua sea limitado, tal como lo indicó (González y col. 2013). Así mismo, Pulido y col. (2005) afirmaron que la utilización de regresiones múltiples, han proporcionado una buena estimación de la demanda de agua en zonas de riego, filtrando adecuadamente la serie de datos.

Los modelos matemáticos investigados han sido varios, pero la mayoría de ellos tienen su complejidad en su aplicación. El modelo de regresión lineal es uno de ellos, y fue el utilizado para el análisis de la eficiencia de uso del agua a través del riego por goteo superficial y subsuperficial en la presente investigación, cuyo modelo fue:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_j : lámina aplicada acumulada (cm).

X_i : días después de la siembra (dds), 100 días (ciclo cultivo).

β_0 : intercepto en el origen (mm).

β_1 : pendiente de la recta ($\text{cm}\cdot\text{d}^{-1}$).

El estudio de las funciones agua-rendimiento dentro de la planificación del uso del agua es una vía importante para implementar estrategias de manejo que contribuyan al mejoramiento de la producción agrícola. La información utilizada para encontrar el modelo matemático a través de la regresión lineal fue la lámina de agua acumulada aplicada por cada riego en el día correspondiente después de la siembra.

La aplicación del riego estuvo en función de las lecturas dadas por los tensiómetros instalados y calibrados previamente, se suministró cuando el tensiómetro marcó 45 centibares. Mientras que el registro de los valores de la cantidad de agua suministrada (primero m^3 , luego mm) se la realizó a través de medidores de volúmenes de agua o caudalímetros. La información de campo está en la tabla 4.1.



Figura 4.1: Tensiómetro instalado agua (fotos autor)

Figura 4.2: Medidor de

Tabla 4.1: Agua aplicada acumulada (mm), durante el ciclo del cultivo de maíz

dds	Riego por goteo superficial	Riego por goteo subsuperficial		
		Prof. 10 cm	Prof. 20 cm	Prof. 30 cm
1	1,9	1,9	1,9	1,9
2	3,8	3,8	3,8	3,8
3			5,6	5,6
4			7,6	7,6
5	5,6	5,6	13,1	13,1
7	7,6	7,6		
8			17,5	17,2
9	9,4	9,4		
11			20,6	20,6
12	12,6	12,6		
15	15,9	15,2	23,8	23,3
18	19	18,1		
19			27,5	26,9
21	22,8	21,3		
23			31,3	29,6
24	26,5	24,4		
27	31,8	28,8	35,6	34,8
30	36,9	33,8		
31			40,5	39,2
33	42,1	38,2		
36			46,2	44,2
37	47,3	43,7		
39	53,1	48,8	51,5	49,5
42	58,4	52,4		
43			57,2	55,5
45	64,7	58,1		
47			63,5	61,6
48	71,2	64,1		
51	77,6	68,7	69,7	68
54	83,6	74		
55			74,9	74,3
56	90,1	78,8		
59	95,6	83,8	81,7	80,8
62	100,7	88,9		
63			87,7	86,7
65	106,4	94,3		
67			93,3	91,9
68	111,3	99,1		

72			99,4	97,2
73	116,9	103,8		
77			105,3	102,3
78	121,1	108,9		
82	126,3	114,3	111,7	108,4
85	131	118,9		
87			117,7	114,3
88	135,7	123,4		
92	141,9	128	122,7	119,8
96	147	133,8	125,4	124,2
100	152	139,2	130,4	129,2

Ingresada y procesada la información, se obtuvo la tendencia de cada uno de los tratamientos y su respectiva ecuación o modelo de regresión lineal.

Se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos de riego por goteo superficial y subsuperficial); donde el tratamiento de riego por goteo superficial resultó diferente estadísticamente al resto de los tratamientos, con la mayor lámina de agua acumulada aplicada (152 mm), los tratamientos de riego por goteo subsuperficial no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, con láminas de agua acumuladas que disminuyeron con la profundidad en que fue instalado el sistema de riego, los valores estuvieron entre 139,2; 130,4 y 129,2 mm, respectivamente para 10, 20 y 30 cm de profundidad respectivamente, tabla 4.1.

las frecuencias de riego fueron mayores para el riego por goteo superficial y subsuperficial a 10 cm de profundidad (3 días para cada uno), mientras que para el riego por goteo subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad las frecuencias de riego disminuyeron (3,6 días para cada tratamiento), registrándose la menor frecuencia de riego hasta en 5 días.

Se aplicaron 33 riegos para los sistemas de riego por goteo superficial y subsuperficial a 10 cm de profundidad y 28 riegos para los sistemas de riego por goteo subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad. Esto indicó, que los sistemas de riego subsuperficiales a mayor profundidad requirieron una menor aplicación de agua (menor frecuencia) con respecto a los sistemas superficiales (mayor frecuencia).

Los tratamientos de riego por goteo subsuperficial a 20 y 30 cm de profundidad fueron los que menor consumo de agua requirieron, siendo los más eficientes en el uso del agua.

Con el modelo de regresión lineal se calcularon las láminas de riego acumuladas para cada una de las modalidades de aplicación de agua al cultivo: 156,4; 140,6; 133,5 y 130,8 mm para el riego por goteo superficial y riegos por goteo subsuperficial a 10, 20 y 30 cm de profundidad, respectivamente (Tabla 4.2, figura 4.3); fue notorio que la eficiencia del uso del agua se incrementó en la medida que el agua se suministró en la zona radical.

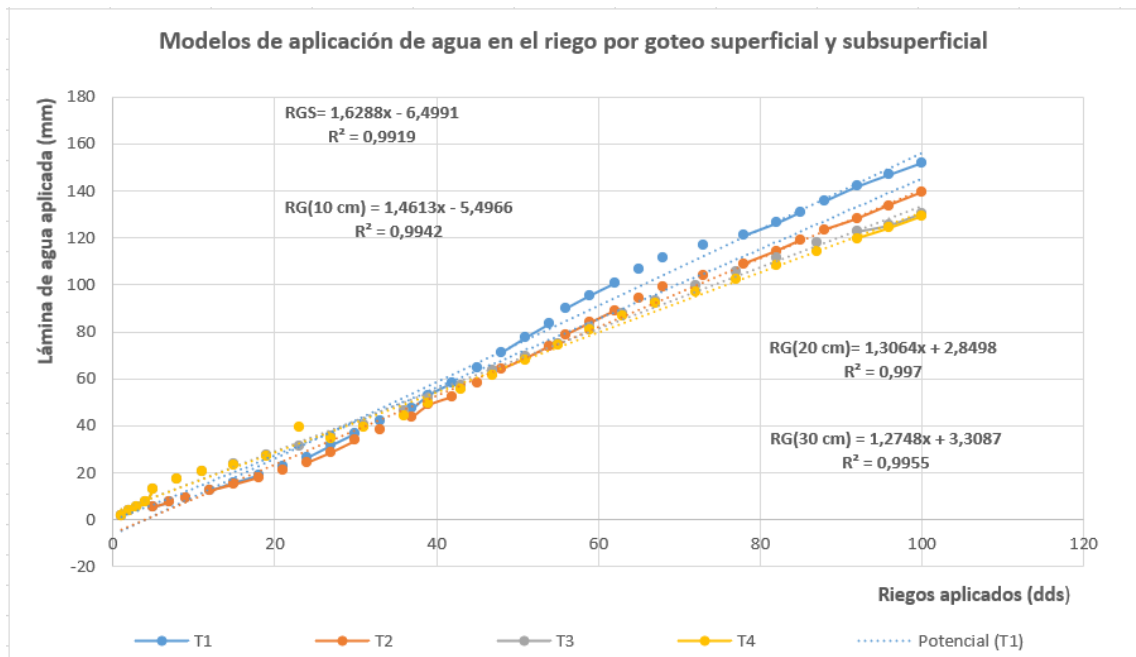


Figura 4.3: Modelos de agua aplicada en la producción de maíz con 4 sistemas de riego

Por goteo superficial y subsuperficial, Conde, J. (2022).

Tabla 4.2: Modelo de regresión lineal y lámina acumulada de riego en el cultivo de maíz

A través del riego por goteo superficial y subsuperficial, Conde, J. (2022)

Tratamientos	Modelo regresión lineal Y= lámina de riego x = (dds)	Lámina acumulada de riego (mm)	Coefficiente de determinación (R ²)
Riego por goteo superficial (T1)	Y= -6,4991 + 1,6288x	156,4	0,99
Riego por goteo subsuperficial a 10 cm de profundidad (T2)	Y= -5,4966 + 1,4613x	140,6	0,99
Riego por goteo subsuperficial a 20 cm de profundidad (T3)	Y= 2,8498 + 1,3064x	133,5	0,99
Riego por goteo subsuperficial a 30 cm de profundidad (T4)	Y= 3,3087 + 1,2748x	130,8	0,99

Ejemplo de aplicación del modelo.

Volumen de agua requerida por hectárea del cultivo de maíz a los 50 y 100 días después de la siembra, regado por goteo a 20 cm Profundidad, utilizando el modelo de regresión lineal descrito.

$$Y = 2,8498 + 1,3064(50) = 68,2 \text{ mm} = 682 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$Y = 2,8498 + 1,3064(100) = 133,5 \text{ mm} = 1335 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

Donde:

Y = volumen de agua aplicada m^3/ha

Los modelos matemáticos (regresión lineal) proporciona, una capacidad aceptable de estimación predictiva de la demanda de agua de los cultivos, además de ser una herramienta fácil de ser usada, permite un uso más racional del agua y energía.

Es importante mencionar, para la aplicación práctica del modelo investigado, las zonas donde se va a aplicar el modelo, deben tener las mismas características climáticas o características climáticas similares al sitio donde se realizó el ensayo.

En una posterior investigación, además del riego por goteo superficial y subsuperficial se incrementó al ensayo al riego por surcos, encontrándose los siguientes hallazgos referentes a las frecuencias de riego y número de riegos, durante el ciclo del cultivo de maíz híbrido, se suministró riego hasta los 100 días después de la siembra.

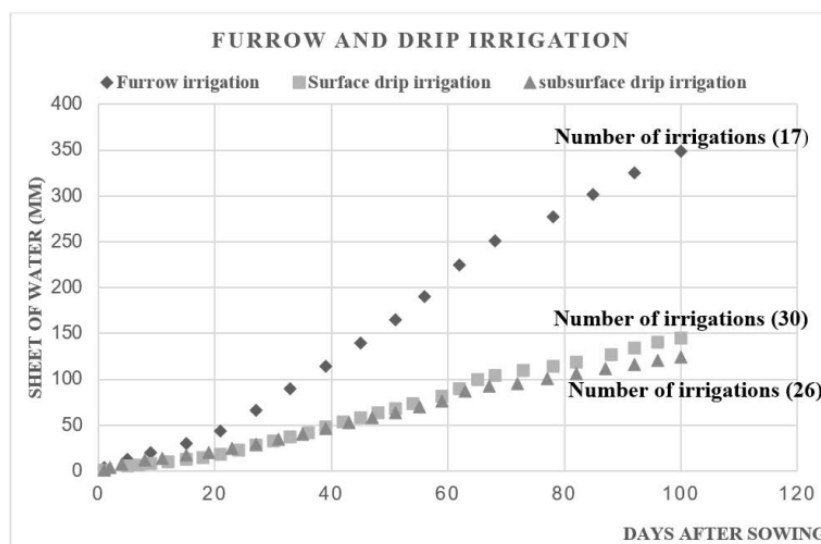


Figura 4.4: Water sheet and number of irrigations applied in hybrid maize: Furrow irrigation, Surface drip irrigation, subsurface

drip irrigation (Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela, 2023)

Con respecto al número de riegos, en el tratamiento irrigado por surcos se aplicó 17 riegos, para el tratamiento riego por goteo superficial se aplicaron 30, y para el riego por goteo subsuperficial fueron 26 (figura 4.4, tabla 4.3), el riego se aplicó hasta los 100 dds.

Es de mencionar que Guevara y col. (2005) aplicaron 32 riegos con goteo subterráneo enterrado 30 cm, en cultivo de maíz. El tratamiento riego por surcos registró una menor frecuencia de riegos 6 días, mientras que el tratamiento riego por goteo superficial registró mayor frecuencia de riegos de 3 días, y el tratamiento riego por goteo subsuperficial de 4 días, tabla 4.3

Tabla 4.3: Frequency and number of irrigations applied to maize (Revista de la facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Venezuela, 2023)

	Furrow irrigation	Surface drip irrigation	Sub-surface drip irrigation (20 cm)
Frequency of irrigation (days)	6	3	4
Number of irrigations	17	30	26

Es de resaltar, aunque el tratamiento riego por surcos registró menor frecuencia y menor número de riegos, el volumen aplicado fue aproximadamente 2,4 veces y 2,8 veces mayor a los tratamientos riego por goteo superficial y riego por goteo subsuperficial a 20 cm, respectivamente. Esta diferencia en volumen de agua aplicada, significa que la cantidad de agua no beneficiosa para la planta es mayor en el riego por surcos con respecto al riego por goteo superficial y subsuperficial. Enfatizando que el agua que se pierde por evaporación es consumo no beneficioso para la planta.

Los rendimientos de grano seco, para el tratamiento irrigado por surcos fue 9175 kg.ha⁻¹ para tratamiento irrigado por goteo superficial el rendimiento fue 10200 kg.ha⁻¹, y para el riego por goteo subsuperficial a 20 cm, fue 10181,2 kg.ha⁻¹. Respecto a la cantidad de agua suministrada, el tratamiento riego por surcos se aplicó una lámina de 348,4 mm, mientras que para el riego por goteo superficial se aplicó una lámina de 145,2 mm y 123,7 mm para el riego por goteo subsuperficial a 20 cm de profundidad. Finalmente, referente a la productividad del agua, el tratamiento irrigado por surcos fue 2,63 kg.m⁻³, para el irrigado por goteo

superficial la productividad del agua fue $7,02 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, y para el irrigado por goteo subsuperficial a 20 cm de $8,23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, tabla 4.4.

Tabla 4.4: Rendimiento grano seco ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Volumen de agua aplicado ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), y Productividad del agua ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

Tratamientos	Rendimiento $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	Volumen de agua aplicado $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$	Productividad del agua $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Riego por surcos	9175	3484	2,63
Riego por goteo superficial	10200	1452	7,02
Riego por goteo subsuperficial a (20 cm)	10.181,2	1237	8,23

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- DEHGHANISANIJ, H.; NAKHJAVANI, M.; TAHIRI, A. Z.; ANYOJI, H.:
"Assessment of wheat and maize water productivities and
production function for cropping system decisions in arid and
semiarid regions", *Irrig. And Drain*, 58: 105-115, 2009.
- González, F., Herrera, J., López, T. y Cid, G. (2013). Funciones agua
rendimiento para 14 cultivos agrícolas en condiciones del Sur de
La Habana. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola,
Boyeros, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Suelo y
agua*. 22-3. La Habana.
- Guevara, A., Bárcenas, G., Salazar, F., González, E. y Suzán, H. (2005). Alta
densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por
goteo subsuperficial. *Agrociencia*. 39(4), 431-439.
<https://www.redalyc.org/pdf/302/30239407.pdf>
- MOLDEN, D.; MURRAY-RUST, H.; SAKTHIVADIVEL, R.; MAKIN; I.: A water
productivity framework for understanding and action. In: J.W. Kijne,
R. Barker, and D. Molden (eds.) *Water Productivity in Agriculture:
Limits and Opportunities for Improvement*. CABI Publishing,
Wallingford, UK. pp. 1-18, 2003.
- Pulido, I., Montesinos, P., Roldan, J., y Ruíz, F. (2005) Estimación de la
demanda de agua para riego: Regresiones lineales versus
aproximaciones neuronales. *Avances en Recursos Hidráulicos*.
Universidad nacional de Colombia. Número 12. Pp 7-19. Medellín,
Colombia.

V FILTRADO Y FERTIRRIGACIÓN

Resumen

En el riego por goteo su principal limitación es la obturación o taponamiento de los goteros, por lo que se vuelve imperativo utilizar diferentes estrategias de filtrado del agua para riego. Este capítulo se refiere a los diferentes niveles de filtrado como filtros primarios, secundarios: asimismo se menciona los diferentes tipos de filtros que se pueden utilizar en el riego por goteo, como tanques de arena, filtros de anillos y de malla. También se menciona algunas consideraciones que se debe tomar en cuenta para elegir un determinado sistema de filtrado. En este capítulo también se menciona la facilidad que permite este método de riego para el suministro de fertilizantes a través del sistema de distribución de agua denominado "fertirrigación"; mencionando al inyector vénturi, como el elemento más utilizado.

Introducción

La fertirrigación es el resultado de la aplicación de los fertilizantes a través del riego localizado, donde se pondera el control del agua y los fertilizantes a voluntad, considerando una de sus principales ventajas. El riego por goteo es una alternativa válida, que se potencia por la mejor aprovechabilidad de los nutrientes al ser entregados directamente a la zona de raíces, lo que se traduce en un mejoramiento de la eficiencia de uso del agua. Uno de los métodos más utilizados para la entrega de los fertilizantes a través de los sistemas de tuberías es el inyector vénturi que se instala en forma paralela al sistema de conducción de agua (tubería principal).

5.1 Tipos de filtrado

El principal problema y frecuente en el riego por goteo y en particular el goteo subsuperficial son las obturaciones de los goteros. Dependiendo de la clase de sólidos en suspensión o impurezas del agua, las instalaciones de riego por goteo deben estar provistas de algún tipo de filtrado. Considerando la naturaleza de las obturaciones, se puede tener obturaciones por partículas orgánicas e inorgánicas, y obturaciones por precipitados o por proliferación de bacterias. Las primeras se pueden controlar a través de los filtros, y las segundas con tratamientos químicos.

Las sustancias orgánicas con mayor frecuencia que se presentan son: algas, insectos, gusanos, semillas, restos vegetales, etc. En aguas que proceden de pozos o almacenamientos naturales es frecuente la presencia de arenas o incluso aguas lodosas. En aguas que provienen de canales o cauces naturales pueden acarrear restos orgánicos, así como limos y arcillas en suspensión.

Filtros de arena

Son tanques generalmente metálicos (acero galvanizado inoxidable, protegido con pintura antioxidante) o de plástico reforzado (poliéster con fibra de vidrio o poliéster laminado) llenos de arena o grava tamizada. Absorben las partículas debido a su extensa área que posee.

El filtrado se realiza cuando el agua pasa por la arena. Los filtros de grava son efectivos para la retención de desechos orgánicos.

El tamaño de partícula retenida en el filtro, está en función del caudal que pasa y del tamaño de arena. Deberá instalarse tantos filtros en paralelo, como el caudal a filtrar y la capacidad del filtro exijan.



Figura 5.1: Filtros de arena o grava (fuente NETAFIM)

Hay que considerar en los diseños del riego por goteo, la caída de presión en los sistemas de filtrado, cuando la granulometría del árido es gruesa se considera de 0,46 a 1 mm, su equivalencia en mesh es de 230 a 100, la caída de presión está alrededor de 1 a 3 mca, mientras que la granulometría sea fina de 0,27 a 0,46 mm su equivalente en mesh es de 400 a 230, la caída de presión puede estar alrededor de 3,5 mca. No se puede permitir caída de presión mayor a 6 mca en ningún caso.

Filtros de malla

Constan de una carcasa generalmente cilíndrica, que aloja en su interior el elemento filtrante, este elemento es una malla con pequeñas perforaciones que permiten la retención de los elementos orgánicos e inorgánicos que pueden obstruir la boquilla de salida de los goteros. La

pérdida de carga en los filtros de malla está entre 1 y 3 mca cuando el agua está limpia. El fabricante de los filtros debe suministrar información como: Caudal nominal y máximo, diámetro de entrada y salida, superficie filtrante, tipo de malla.



Figura 5.2: Filtro para riego: A (filtro de anillos), B (filtro de malla), fuente NETAFIM

Al instalar los filtros debe tenerse en cuenta la dirección del flujo del agua, normalmente indicado en la carcasa por una flecha. El filtro debe instalarse después del ingreso de fertilizante y equipados con manómetros a la entrada y salida, la lectura del manómetro indica el grado de obturación del filtro, indicador para lavado, proceso que inicia abriendo la carcasa y sacando las mallas, como detalle se aconseja que la salida del filtro esté más alta que el fondo de la carcasa para evitar que pasen impurezas a los goteros, esto se logra cuando se instala el filtro, la carcasa esté dirigida hacia abajo.

Para poder escoger el diámetro del orificio de la malla se debe conocer primero el diámetro del orificio del gotero que se va a instalar, ya que se recomienda que el diámetro de la malla sea la décima parte del orificio del gotero. Un problema común que presentan los filtros de malla es que cuando está muy sucio produce pérdidas de presión, que afecta todo el sistema.

La dirección del agua en los filtros de malla es de adentro hacia afuera. Las mallas pueden ser de poliéster o de acero inoxidable. En estos sistemas hay filtros para diversa gama de caudales.

Filtro de anillos

El elemento filtrante es el conjunto de anillos ranurados, los cuales se comprimen unos contra otros al roscar la carcasa, lo que forja un cilindro de filtrado, el filtro de anillos es cilíndrico y van situados entre líneas. Las ranuras tienen aberturas de 1,42 mm a 0,11 mm. Para limpiarlos se abre

la carcasa y se exponen los anillos a un chorro de agua. La pérdida de carga oscila entre 1 a 3 mca. Estos filtros son muy compactos y resistentes, pueden resistir presiones hasta 100 mca.

5.2 Obturaciones de los emisores.

La obturación o taponamiento de goteros, es el principal problema que tiene el riego por goteo. Cuando se presenta este problema el caudal de los goteros disminuye y en casos extremos interrumpen el flujo del agua. La prevención es el mejor medio de lucha contra la obturación de emisores. En algunos casos puede llegar a necesitar tratamientos especiales tales como: coagulación, floculación y precipitados químicos.

Tipos de obturaciones.

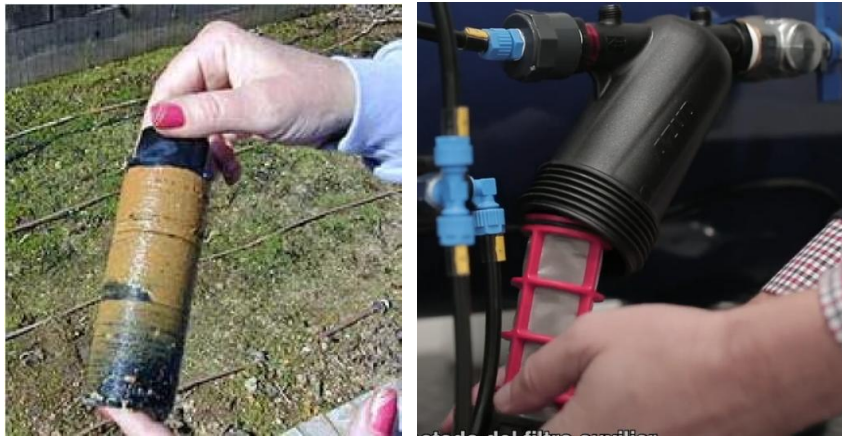
Obturaciones físicas: debido a la presencia de materia mineral u orgánica en suspensión presentes en el agua de riego (formaciones internas), o en otros casos sin estar presentes en el agua de riego acceden los goteros desde la parte externa. Investigaciones realizadas encontraron que los depósitos se producen a una distancia del origen del lateral del orden del 90% de su longitud. El tratamiento de limpieza se lo puede realizar con el suministro de agua a presión alrededor de 30 mca.

Obturaciones químicas: se forman por la acción de precipitados de sustancias disueltos en el agua que por lo general son incorporados en el sistema como los agroquímicos. El principal elemento causante de los precipitados es el calcio. El tratamiento preventivo será acidificando el agua con ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico permitiendo bajar el Ph del agua, evitando el precipitado del calcio en la boquilla del emisor.

Obturaciones biológicas: se forman debido a la presencia de organismos o partes de estos incorporados en el agua de riego o pueden ingresar del exterior, desarrollándose posteriormente dentro de la instalación. El tratamiento bacteriano se lo puede realizar clorando el agua con hipoclorito sódico (líquido) y el hipoclorito cálcico (soluble en agua).

Mecanismos de limpieza

En algunos casos la limpieza puede ser manual, abriendo la carcasa y sacando los anillos y lavando con agua. En otros casos se puede instalar equipos automatizados para limpieza automática, como es el caso de temporizadores programados a tiempos fijos, que permite apertura y cierre de válvulas.



A

B

Figura 5.3: filtro obturado: A (filtro de anillos); B (filtro de malla), fuente NETAFIM

5.3 Elección de filtros

La elección de cuantos a instalar depende de la calidad del agua que se utilice. Comúnmente los sistemas de prefiltrado y los filtros de arena se colocan antes de los sistemas de inyección del fertilizante. Siempre se debe colocar un filtro de malla o anillos después del sistema de fertilización. Para garantizar una mejor filtración del sistema se acostumbra a colocar filtros pequeños en las subunidades de riego.

La información que se da a continuación, se puede tomar como una guía para la elección del sistema de filtrado que se debe colocar.

Tabla 5.1: Guía para elegir un sistema de filtrado

Sólidos en suspensión	Hidrociclón	Filtro de arena	Filtro de malla o anillos
Arena	X	X	X
Cieno		X	X
		X	X

Materia orgánica			
Minerales			X

Tabla 5.2: Relación de medida entre MESH y diámetro de los orificios de los filtros

Nº MESH	Diámetro orificio (mm)	Nº MESH	Diámetro orificio (mm)
4	4,7	28	0,6
5	4,0	32	0,5
6	3,4	35	0,42
7	2,8	42	0,35
8	2,4	60	0,25
9	2,0	80	0,18
10	1,7	100	0,15
12	1,4	115	0,12
14	1,2	150	0,10
16	1,0	170	0,09
20	0,9	200	0,075
24	0,8	250	0,063

5.4 Fertirrigación

Se denomina fertirrigación a la práctica del suministro de fertilizantes a través del agua de riego. Esta práctica no es exclusiva del riego por goteo, pero en este tipo de riego es una de sus potencialidades, ya que los fertilizantes son suministrados únicamente en la zona de raíces. Las características principales del fertirriego (fertilización + irrigación) son, (Tarchitzky, 2010):

Frecuencia de aplicación, permitiendo una nutrición continua y adaptada a las necesidades de la planta. Exactitud, da la posibilidad de controlar la dosis y la dilución del fertilizante. Distribución, mediante gran cantidad de emisores llegan los fertilizantes uniformemente a cada planta. Protección del follaje, el riego por goteo es un sistema que distribuye el agua por debajo del follaje, haciendo que la dilución, efecto de la radiación y de la humedad sobre el follaje y tronco de la planta carecen de importancia referente a efectos negativos por humedecimiento.

Se conocen algunos métodos de fertilización, esta obra se limitará a describir el inyector venturi.

Inyector Venturi.

Este dispositivo está basado en el principio Venturi, que es un estrechamiento en un tubo instalado en paralelo al tubo principal de abastecimiento de agua, produce un vacío debido al incremento de la velocidad del agua al pasar por el estrechamiento del tubo Venturi. Para que circule el agua a través del mismo es necesario crear una diferencia de presión. Esta diferencia de presión se puede producir de diferentes maneras: intercalando una llave o regulador de presión en la tubería principal, aprovechando la aspiración y la impulsión de la bomba de riego o instalando una bomba en paralelo.

Este vacío que se produce en el estrechamiento del tubo Venturi permite la succión (aspiración) del fertilizante de la parte externa hacia la parte interna de la conducción de agua a través del tubo principal, introduciendo la solución fertilizante a la red.

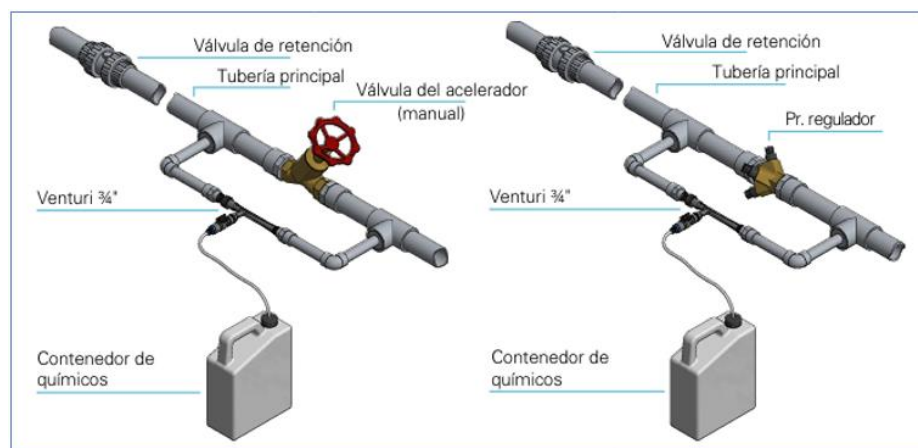


Figura 5.4: Inyector Venturi, (fuente NETAFIM)

Este dispositivo funciona con la misma energía hidráulica del sistema de riego. El inyector Venturi funciona con una presión mínima de 15 mca. El caudal es variable en los diferentes modelos que puede estar entre 50 y 2000 L/h. Es importante mencionar que en los catálogos comerciales, los caudales de succión del venturi está referida a agua sin fertilizante, estos caudales pueden reducirse a medida que la densidad del fertilizante aumente.

Una ventaja de este dispositivo sería su bajo costo y su simplicidad, mientras que una desventaja sería el consumo de energía hidráulica que puede llegar hasta un 30% de la presión en la tubería donde se instalan.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Latorre, J. Sánchez, L. D. & Díaz, J. E. (2011). Aplicación de la tecnología de filtración en múltiples etapas con sistemas de riego localizado de alta frecuencia: (ed). Programa Editorial Universidad del Valle.
<https://elibro.net/es/lc/utmachala/titulos/175407>

Los filtros de discos como solución a los problemas de obturaciones generados en las redes de distribución de agua para riego.
Buitrago, J.M. 2003

<https://elibro.net/es/ereader/utmachala/59556>

Oliva Molina, R. M. & Zapata Sierra, A. J. (2024). Diseño del sistema de riego localizado en una explotación con varios cultivos: (1 ed.). Editorial Universidad de Almería.
<https://elibro.net/es/lc/utmachala/titulos/281164>

Riego localizado y Fertirrigación. Moya, J.A., 2002. Editorial Mundi-Prensa

<https://elibro.net/es/ereader/utmachala/59556>

Tarchitzky, J. (2010). Simposio Internacional. Importancia del manejo del suelo y el potasio para el desarrollo agrícola sustentable de Centroamérica y el Caribe"

VI EQUIPOS DE BOMBEO PARA RIEGO

Resumen

El presente capítulo menciona los procedimientos para seleccionar adecuadamente un equipo de bombeo para uso agrícola. Para el proceso de selección es necesario conocer los diferentes parámetros técnicos que intervienen en el funcionamiento de los equipos. Información topográfica como, altura de succión, altura de abatimiento, altura estática de bombeo, ubicación topográfica; parámetros físicos como pérdidas de carga en tuberías por longitud y accesorios, velocidad del fluido, presiones de trabajo y la altura dinámica de bombeo (altura manométrica). También se indica las ecuaciones utilizadas para determinar los parámetros físicos que se requiere para seleccionar la motobomba y el uso de catálogos.

Introducción

Desde el comienzo de la civilización el hombre tuvo la necesidad de buscar formas de elevar el agua para distintos usos como: Doméstico, animal, agrario, y otros. Ha encontrado distintas herramientas para hacerlo: Baldes, ruedas, bombas de sogá, bombas de pistón, bombas de impulsión, etc. También ha desarrollado distintas fuentes y equipos de fuerza para hacer funcionar estas herramientas: fuerza manual, tracción animal, molinos de viento, motores de vapor, motores a combustión, motores eléctricos. En el presente trabajo nos referiremos solamente a equipos de bombeo para uso agrario, y motores a combustión y eléctricos como fuente de carga o energía. El fluido a movilizar es el agua a ser utilizada en la agricultura.

6.1 Tipo de motor

Los equipos de bombeo o bombas, son máquinas hidráulicas que transforman la energía mecánica suministrada por un motor en energía hidráulica. Una bomba de agua en funcionamiento requiere el suministro continuo de fuerza, para que los álabes del impulsor puedan empujar el agua, por lo tanto, debe acoplarse un motor de suficiente potencia.

Tabla 6.1: Pérdida de potencia y factores de corrección para motores a diésel en función de la altitud sobre el nivel del mar.

Altitud sobre el nivel del mar (msnm)	Pérdida de potencia %	Factor de corrección con que se debe calcular el incremento de la potencia requerida
0	0	1
500	8	1,09
1000	15	1,18
2000	27	1,37
3000	41	1,70
4000	53	2,13

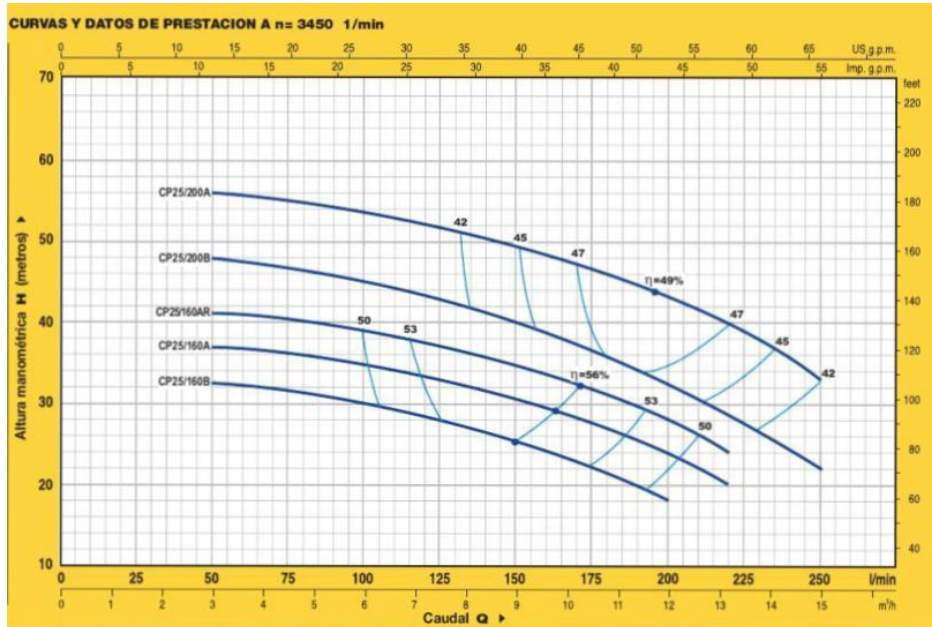
La selección del motor adecuado es de suma importancia. De acuerdo a las condiciones del lugar, se puede escoger entre dos fuerzas motrices: Motor eléctrico, y motor a combustión interna, entre estos últimos se puede tener motor a gasolina o a diésel. Un aspecto importante a tomar en cuenta es la pérdida de potencia del motor a mayor altitud sobre el nivel del mar, especialmente en motores a diésel.

Como se ha mencionado, esta información debe ser tomada en cuenta al usar motores de combustión interna en estaciones de bombeo en la Andina o Sierra. Por ejemplo, si para condiciones de nivel del mar los cálculos arrojan una potencia requerida de 20 HP de potencia a 2000 msnm, el mismo equipo de bombeo requerirá un motor a diésel que según especificaciones de fábrica tenga por lo menos $18 \times 1,37 = 25$ HP. Pues un motor a diésel diseñado para 25 HP a 2000 msnm solo podrá desarrollar una potencia efectiva de 18 HP, por perder el 27 % de su fuerza a esta altitud.

La lubricación de cualquier tipo de motor a combustión es importante para su funcionamiento duradero. El cambio de aceite y filtros debe hacerse por lo menos una vez cada 200 a 400 horas de operación, salvo otra indicación de la fábrica. Equipos de menor potencia requieren cambio de aceite con mayor frecuencia. Inclusive hay equipos donde el primer cambio se debe hacer después de las primeras 5 horas de uso. En todo caso se debe consultar las indicaciones del fabricante.

6.2 Selección del equipo de bombeo

La selección de la bomba de agua se debe hacer de acuerdo al sitio donde se va a instalar el equipo. Para tal efecto, la fábrica o casa vendedora deben proporcionar las gráficas con las curvas de rendimiento y de eficiencia que corresponden a la bomba ofrecida



(catálogo de bombas), Figura 6.1.

Figura 6.1: Curva características de las bombas, (fuente, bombas PDROLLO).

Normalmente, las condiciones del lugar, junto con los requerimientos de riego, precisan el tipo de instalación a implementarse. Una vez determinado el tipo de instalación, tendrá que establecerse las características específicas del equipo, para empezar aquellas más importantes para la selección de la bomba: El caudal de diseño (Q_d) y la altura dinámica de bombeo (H_d). En el caso que fuera necesario el uso de una motobomba para suministrar riego, la selección del de esta, es la última fase del diseño de riego.

Altura estática de bombeo (H_e)

La altura estática de bombeo (H_e) o también llamada altura geométrica de impulsión, es el desnivel vertical (gradiente geométrico, m.) entre el eje de la bomba y el sitio de descarga (sitio de llegada de agua) o también se puede decir que es la diferencia de cota entre el sitio de descarga o entrega del agua y el eje de la bomba.

Cuando el sistema está en descanso y por consiguiente cuando no hay flujo de agua. El dato de la altura estática de bombeo puede salir de la información cartográfica (plano topográfico), caso contrario habrá que determinarlo del campo, donde se tiene previsto instalar la motobomba.

La altura estática de succión (Hs)

La altura estática de succión (Hs), es la distancia vertical (gradiente geométrico) entre el espejo del agua de la captación y el eje de la bomba, o también se puede decir que es la diferencia de cota entre el eje de la bomba y el sitio de la captación.

Se lo utiliza especialmente para la ubicación correcta del equipo de bombeo (Motobomba).

Altura dinámica de bombeo (Hd).

Al empezar a bombear agua, existen pérdida de altura energética (pérdida de carga o energía, También se produce cierto abatimiento (Ha) en el punto de captación cuando no existe alimentación constante de agua, la bomba tendrá que tomar el agua a mayor profundidad. Así mismo, se debe tomar en cuenta adicionalmente la posible presión de trabajo que se necesite en el sitio de llegada del agua. Finalmente, hay que tomar en cuenta que la bomba "siente" una pequeña altura energética adicional, al poner en movimiento el flujo de agua, la altura energética o energía de velocidad ($v^2/2g$). Todos estos efectos que produce la pérdida de energía hacen en conjunto que la altura dinámica de bombeo sea mayor a la altura estática de bombeo.

La altura estática de bombeo (He), incrementada con todos estos factores adicionales, constituye la altura dinámica de bombeo (Hd).

Es esta altura dinámica de bombeo es la que debe ser tomada como base para la selección del equipo de bombeo en el respectivo catálogo facilitado por la casa fabricante o el distribuidor.

La altura dinámica de bombeo se calcula con la siguiente expresión:

$$Hd = Z + ha + hf(l) + hf(ac) + PE + v^2/2g$$

Donde:

Hd : Altura dinámica de bombeo (m).

He : Altura estática de bombeo (m), figura 6.2

Ha : Probable altura de abatimiento (m), figura 6.2

$H_f(\text{tot})$: Pérdidas de carga total (m)

P_t : Probable presión de trabajo

$V^2/2g$: Energía de velocidad en la tubería de descarga (m)

Las pérdidas de carga en las tuberías, se calcula con las ecuaciones de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach. En el presente trabajo se utilizará la ecuación de Hazen-Williams.

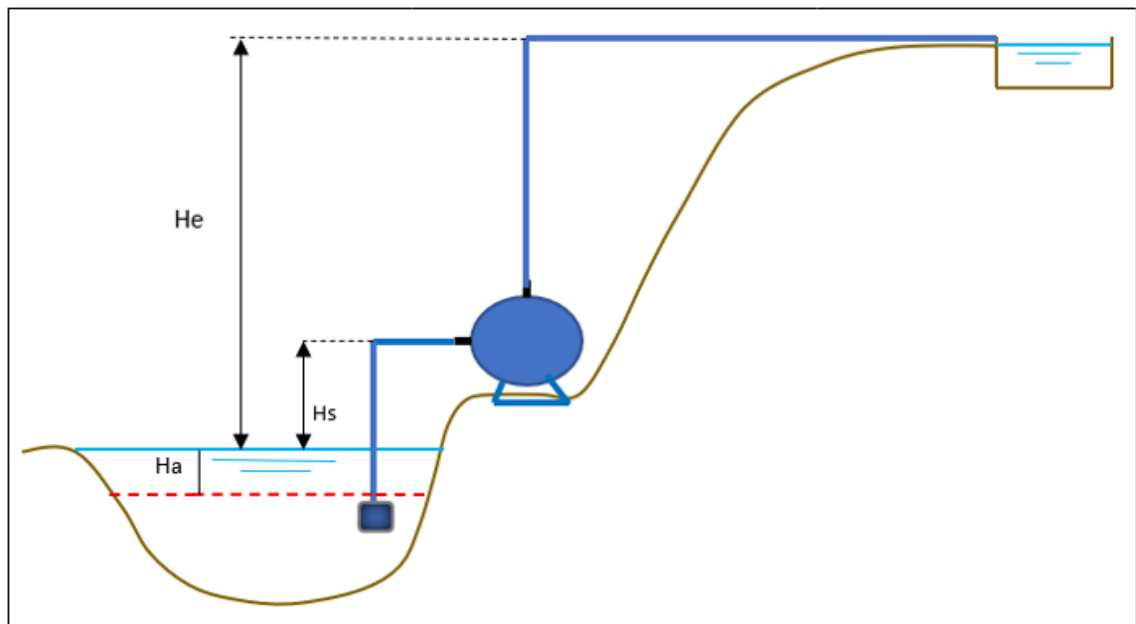


Figura 6.2: Esquema de un equipo de bombeo, (fuente autor)

Ejemplo

Se necesita bombear agua desde la cota de captación que se encuentra a 65 msnm, mientras que la cota de descarga está a 91 msnm, el caudal a conducir es 18 L/s, la distancia a conducir el agua es de 65 m, no se necesita presión de llegada. Calcular la carga dinámica de bombeo (Carga manométrica), y seleccionar el equipo motobomba.

Solución

Primero se selecciona el diámetro de la tubería en el catálogo, con el diámetro seleccionado se calcula la velocidad del agua en la conducción (tubería) no debe ser mayor a 2,5 m/s.

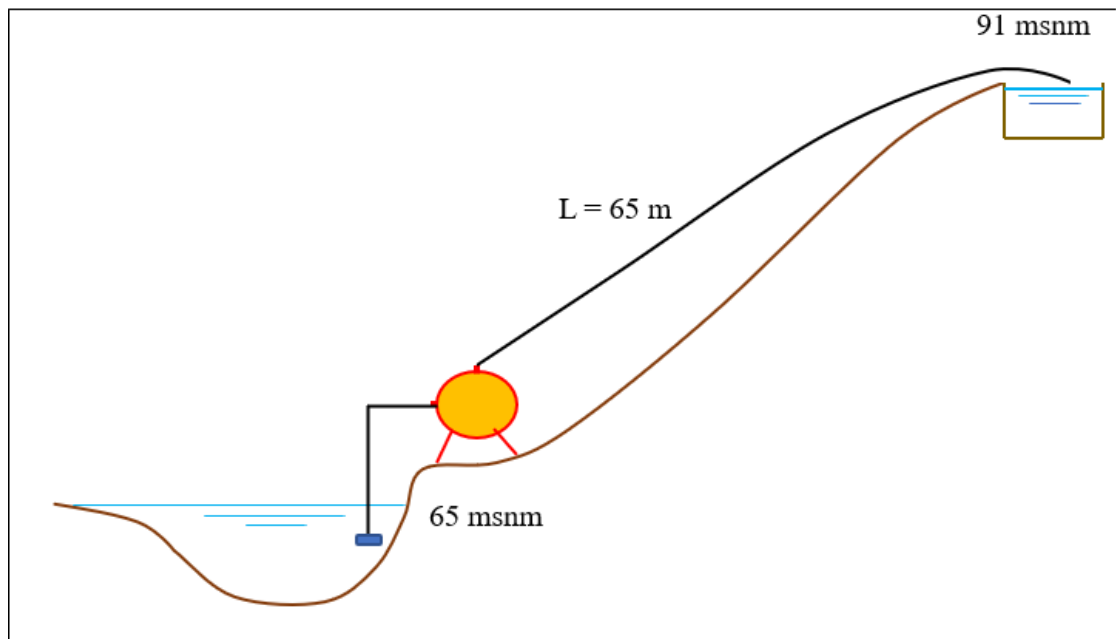


Figura 6.3: Esquema de la motobomba del ejemplo en desarrollo, (fuente autor)

$$Q = 18 \text{ L/s} = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 105,6 \text{ mm}$$

$$Q = A \cdot v$$

$$0,018 \text{ m}^3/\text{s} = \left[(0,1056 \text{ m})^2 / 4 \right] \cdot v$$

$$0,018 \text{ m}^3/\text{s} = 0,008758 \text{ m}^2 \cdot v$$

$$v = 2,05 \text{ m/s}$$

Se calcula la altura dinámica de bombeo (carga manométrica), aplicando la siguiente ecuación.

$$H_d = Z + h_a + h_f(l) + h_f(ac) + PE + v^2/2g$$

$$H_e = 26 \text{ m}$$

$$H_a = 0,60 \text{ m (probable abatimiento)}$$

$$h_f = 1,131 \cdot 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} \cdot D^{-4,872} \cdot L$$

$$H_f(l) = 1,131 \cdot 10^9 (64,8/150)^{1,852} \cdot 105,6^{-4,872} \cdot 65$$

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

Se considerará las pérdidas de carga por accesorios el 10% de $h_f(l)$
 $H_f = 2,2 \text{ m} + 0,1(2,2 \text{ m})$

$$H_f = 2,42 \text{ m}$$

$P_t = 0$ (no se requiere presión de llegada)

$$(V^2/2g) = 0,21 \text{ m}$$

$$H_d = 26 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 2,42 \text{ m} + 0 + 0,21 \text{ m}$$

$$H_d = 29,23 \text{ m}$$

Con los valores del caudal ($Q = 64,8 \text{ m}^3/\text{h}$) y la altura dinámica de bombeo ó carga manométrica ($H_d = 29,23 \text{ m}$), ingreso al catálogo de las bombas.

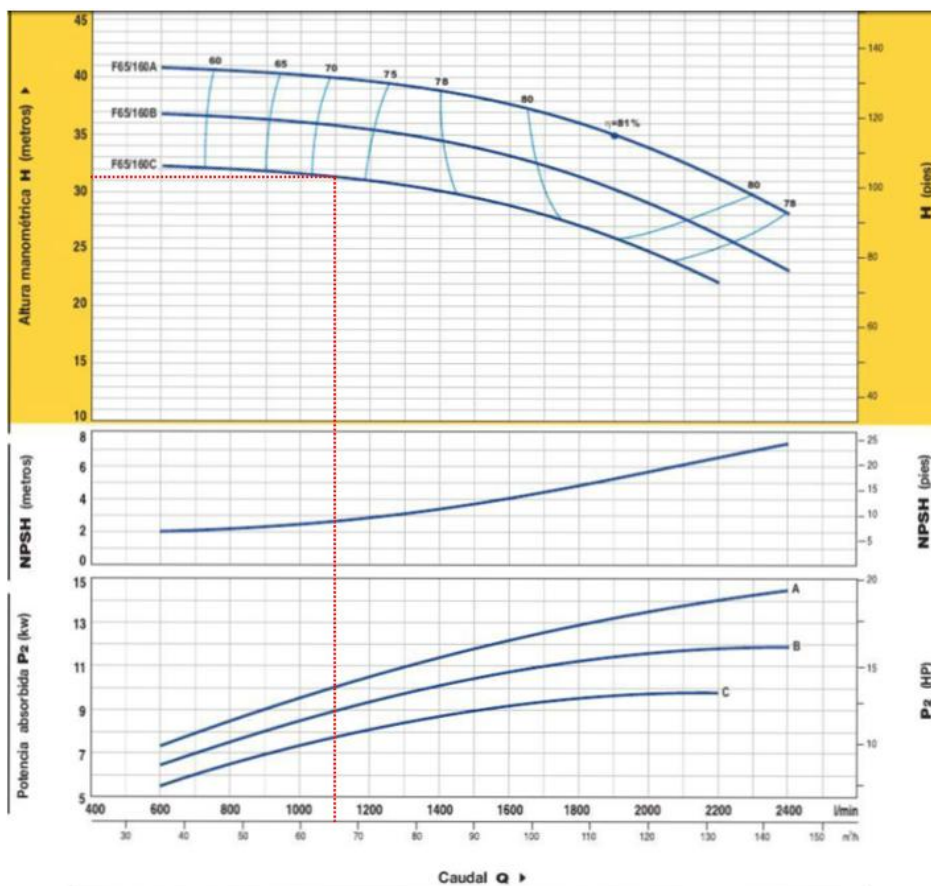


Figura 6.4: Bomba seleccionada del catálogo, fuente catálogo de bombas PEDROLLO.

La línea roja entrecortada, indica que la bomba adecuada para este caso es la "F65/160C"

6.3 Ubicación del equipo motobomba.

Carga neta de aspiración positiva (NPSH)

La capacidad de aspiración de una bomba depende de la presión absoluta que actúa sobre el nivel del líquido a elevar. En los depósitos abiertos será la presión atmosférica, que varía con la altitud del lugar y las condiciones climatológicas.

Cuando se desea adquirir una bomba se debe comprobar que el fenómeno de cavitación no tenga lugar en la instalación, para ello se utiliza el término (Net positive suction head, NPSH).

Los fabricantes proporcionan el NPSH requerido por la bomba en función del caudal, este depende de las características de la bomba y se determina experimentalmente.

El instalador debe calcular el NPSH disponible para el caudal de proceso, si este es mayor que el NPSH requerido por la bomba dado por la casa fabricante, la cavitación no se producirá. Para calcular el NPSH (disponible) se utiliza la siguiente ecuación:

$$NPSH = Hs. max - Hs. din$$

Donde:

NPSH : Net positive suction head (m)

Hs.max : Máxima succión estática de una columna de agua m (tabla 6.2)

Hs.din : Máxima altura dinámica de succión permisible (m)

Tabla 6.2: Máxima succión estática (Hs.max) de una columna de agua en un tubo vertical (temperatura del agua, 20°C)

Metros sobre el nivel del mar (msnm)	Máxima succión estática (Hs.max)
0	10
500	9,5
1000	8,9
2000	7,8
3000	6,8
4000	6

Hs.max es igual a la presión atmosférica a una determinada altitud, disminuirá con la presión de vapor del agua.

La máxima succión estática se reduce considerablemente al incrementarse la temperatura del líquido. La temperatura del agua de riego está casi siempre por debajo de los 20°C, por lo que no es necesario detallar la tabla en este aspecto.

En la tubería de succión de un sistema de bombeo, nunca se puede permitir que la columna de agua llegue al valor de Hs.max medido desde el impulsor hasta el espejo del agua en el punto de captación. Inclusive esta altura de succión debe ser mucho menor. Pues al bombear se agita el agua desde su entrada en la canastilla, en su paso por la válvula de pie, en la misma manguera de succión, hasta alrededor del impulsor de la bomba, de tal manera que las burbujas de vapor pueden producirse mucho antes de llegar a la máxima succión estática.

Ante esto se introduce la "altura dinámica de succión" (Hs.din). La altura dinámica de succión en la tubería de succión de un sistema de bombeo en funcionamiento, es la distancia vertical entre el eje del impulsor y el espejo del agua en el punto de captación incluyendo el descenso de este espejo, incluyendo las pérdidas de carga hidráulica en el tramo de la succión, e incluyendo la carga por velocidad del agua.

$$\mathbf{Hs.din = Hs + ha + hf(s) + v^2/2g}$$

Donde:

Hs.din : Altura dinámica de succión (m)

Hs : Altura estática de succión (m), bomba en descanso, figura 6.2

ha : Abatimiento del espejo del agua al bombear (m), figura 6.2

hfs : Pérdidas de carga en el tramo de la succión (canastilla, válvula, etc)

$v^2/2g$: Carga de velocidad del agua antes de la entrada al impulsor (m)

Ejemplo de ubicación de un equipo motobomba

El sistema de bombeo será ubicado a 1000 msnm, se piensa instalar el eje de la bomba a 4 m encima del espejo del agua ($H_s = 4$ m), además se ha podido determinar los siguientes datos.

El probable abatimiento del espejo del agua (H_a) = 0,6 m

Las pérdidas de carga hidráulica en el trayecto de la succión (h_{fs})

Canastilla/válvula de pie : 0,30 m

Codo de 90 grados : 0,05 m

Fricción en la manguera de succión : 0,15 m

Pérdidas de carga total : 0,50 m

Velocidad del agua (entrada de la bomba) : 2 m/s

Solución

Se calcula el NPSH (disponible)

$$NPSH(d) = H_s \text{ max} - H_s \text{ din}$$

$H_s \text{ max.} = 8,9$ m (tabla 6.2)

$$H_s \text{ din} = H_s + h_a + h_f(s) + v^2/2g$$

H_s : 4 m

h_a : 0,60 m

$h_f(s)$: 0,50 m

$V^2/2g$: 0.20 m

$H_s \text{ din}$: 5,30 m

NPSH (d) : 8,9 m - 5,30 m

NPSH (d) : 3,6 m

El NPSH (d) debe ser mayor al NPSH (requerido) que es dado por la casa fabricante (catálogo de motobombas), caso contrario se debe

cambiar de ubicación del equipo motobomba.

El equipo seleccionado anteriormente, la casa fabricante da el siguiente diagrama, donde indica la curva del NPSH (r).

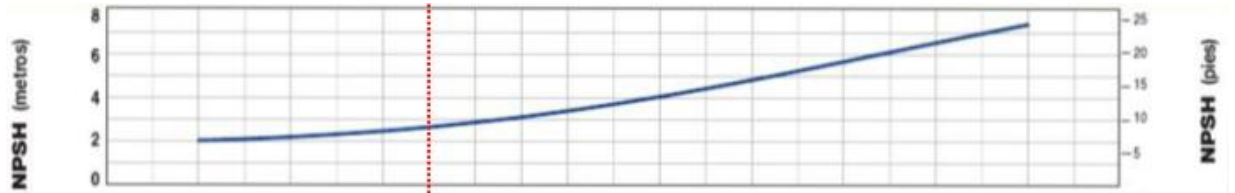


Figura 6.5: NPSH (r) de la motobomba seleccionada, dado por el catálogo de bombas PEDROLLO

El NPSH(r) del equipo motobomba seleccionado anteriormente es 2,8 m como lo indica la figura 6.5

$$3,6 \text{ m} > 2,8 \text{ m}$$

El equipo motobomba estará correctamente ubicado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Moreno Castro, J. (2011). Bombas hidráulicas: (ed.). Editorial ICB.
<https://elibro.net/es/lc/utmachala/titulos/59560>

Oliva Molina, R. M. & Zapata Sierra, A. J. (2024). Diseño del sistema de riego localizado en una explotación con varios cultivos: (1 ed.). Editorial Universidad de Almería.
<https://elibro.net/es/lc/utmachala/titulos/281164>

VII AUTOMATIZACIÓN

Resumen

El uso eficiente del agua y facilidad de manejo debe ser el objetivo principal de autoridades, diseñadores, planificadores y usuarios del riego; partiendo del principio producir más con menos agua. El presente trabajo contiene un capítulo dedicado a los diferentes niveles y tipos de automatización, tales como automatismos hidráulicos y automatismos electrónicos; así como los diferentes elementos a considerar en un sistema de automatización del agua para riego como válvulas hidráulicas manuales, válvulas volumétricas, electroválvulas, válvulas con solenoide, sistemas electrónicos, temporizadores, sensores de humedad, etc.

Introducción

Según la FAO, la escasez de agua afecta al 40% de la población global, la mayor cantidad de agua es consumida por la agricultura que representa un 70% del total agua utilizada por todos los sectores económicos, en el Ecuador el uso del agua en la agricultura está alrededor del 82%, llegando en algunos países incluso hasta 95%. El principal desafío en el futuro es el uso sostenido de agua para riego, objetivo que será solo alcanzado mediante una mejora tecnológica del riego como es el caso de la automatización del mismo. La automatización y control de las redes de distribución y el sistema de riego a presión han evolucionado significativamente, pasando de la necesidad de convertir en acciones automáticas lo que se realizaba en forma física y manual. En este capítulo se menciona ligeramente las funciones que cumplen cada elemento de la automatización del riego por goteo.

7.1 Niveles de automatización del riego

Automatización es la supresión total o parcial de la intervención humana, en este caso en la ejecución de los sistemas de riego. Cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial. Considerando como proceso, al conjunto de los diferentes momentos sucesivos de un fenómeno natural o artificial o también de las diferentes acciones sucesivas realizadas para conseguir un determinado resultado.

El desarrollo de nuevas técnicas agronómicas y la incorporación de las nuevas técnicas de riego han permitido el desarrollo de nuevas formas ejecutarlos adaptadas al tipo de cultivos. La programación del riego permite determinar cuándo regar (calendario de riegos) y la cantidad de agua aplicar (dosis netas). En el manejo de un sistema de riego es fundamental conocer, la cantidad de agua aplicar, estado de humedad

del suelo, momento de suspensión del riego.

Con los equipos existentes en el mercado se consiguen diversos niveles de automatización, hasta llegar con el uso de microprocesadores a una programación automática del riego para períodos largos de tiempo, incluyendo la estimación automática de las necesidades de riego. La elección del nivel de automatización, deberán hacerse en base a criterios técnico-económicos y preferencias del usuario.

El nivel "cero" de automatización consiste en utilizar válvulas de accionamiento manual para dar paso al agua de riego hacia cada una de las unidades de riego. En este caso, el parámetro que se utiliza para controlar el riego es el tiempo o volumen de agua aplicado. Incluso a este nivel cero de automatización, los riegos localizados como el riego por goteo requieren menos mano de obra que cualquier otro método de riego.

La principal actividad del regante consistirá en el suministro de abonos, limpieza de filtros, vigilar el funcionamiento de goteros, abrir y cerrar válvulas de acuerdo a la planificación del riego.

Los niveles de automatización se centran precisamente en la operación de apertura y cierre de válvulas, aunque en los modelos más sofisticados se puede hacer un control automático de toda la instalación, así como estimar las necesidades de riego, introduciendo en el programa las órdenes necesarias. Según Shavitt (1981), se puede establecer tres niveles de automatización:

Nivel 1: En este nivel cada válvula o serie de válvulas debe ser puesta marcha antes de cada ciclo de riego.

Nivel 2: En este nivel la válvula o conjunto de válvulas repiten el ciclo de riego automáticamente.

Nivel 3: Es el nivel de automatización total en base a microprocesadores.

En lo que se refiere en los mecanismos utilizados para ordenar la apertura y cierre de válvulas se pueden clasificar los automatismos en tres:

7.2 Automatismos hidráulicos

En este caso las válvulas actúan por señales de presión de agua transmitida a través del tubo de pequeño diámetro (4 - 6 mm). Controlan normalmente volumen. Los componentes utilizados en este tipo de automatismos son:



Figura 7.1) válvulas hidráulicas: A (válvula de distribución), B (válvula de retención o bloqueo), C (válvula de distribución, tipo esfera)

Válvulas hidráulicas: Son mecanismos que interrumpen el paso del agua por medio de un pistón o un diafragma que cierra la salida. El pistón o diafragma actúa mediante la presión transmitida por una señal hidráulica, existen dos: normalmente abiertas y normalmente cerradas, existe una amplia variedad de válvulas como, válvulas distribuidoras, válvulas de cierre o bloqueo, válvulas reguladoras de caudal y presión, así mismo existen una amplia variedad de diámetros (1 a 16 pulgadas).

Válvulas volumétricas: Constan de un contador tipo Woltmann y una válvula hidráulica o mecánica, esta última solo para diámetros pequeños (hasta 1 pulgada). La válvula se activa cuando se gira a mano un dial en el que se marca el volumen de agua deseado, cuando el contador ha medido esa cantidad de agua el mando ha vuelto a cero, se transmite una señal a la válvula hidráulica o mecánica, que corta el flujo de agua. La cantidad de agua puede ser rectificada cuando la válvula está ya en funcionamiento y cerrada manualmente cuando se desee.

La mayoría de las válvulas en el mercado tienen incorporado un mecanismo totalizador que registra el volumen total de agua que ha pasado por la válvula en riegos sucesivos. El error en la medida del volumen de agua que ha pasado es de $\pm 2\%$ de la capacidad máxima del dial.

Válvulas multivías: Las válvulas hidráulicas y volumétricas se conectan entre sí en los automatismos de tipo secuencial hidráulico. Las conexiones se realizan con un tubo flexible de poliétileno, cuando sea necesario cambiar la dirección de las señales (dirección de flujo) se

utilizan pequeñas válvulas de 3 a 5 vías que envían señal hidráulica para diferentes salidas.

7.3 Automatismos electrónicos.

Las válvulas actúan bajo acción magnética creada por solenoides al recibir impulsos eléctricos. Controlan normalmente tiempos. Los componentes utilizados en estos automatismos son:

Válvulas solenoides: Son mecanismos que abren y cierran el flujo del agua actuado por señales electro-magnética. Esta señal les llega por un cable eléctrico, solo en las válvulas de pequeño diámetro (inferior a $\frac{3}{4}$ pulgada) el solenoide actúa directamente sobre el mecanismo de abre o cierra el flujo de agua por la tubería.



Figura 7.2: Válvulas solenoide apertura/cierre eléctrico (catalogo NETAFIM)

En los demás casos la válvula solenoide abre o cierra el flujo de agua en un circuito, que envía las señales a una válvula hidráulica. En realidad, válvula solenoide se denomina al conjunto válvula solenoide + válvula hidráulica. Frecuentemente los fabricantes ofrecen la misma válvula preparada para trabajar como hidráulica o como solenoide si se añade el elemento eléctrico.

Programadores de control por tiempo: Fundamentalmente están equipados por un reloj que mide tiempo y de un conjunto de mandos e interruptores que permiten fijar a voluntad el orden de apertura y cierre de las válvulas solenoide y la duración del riego en cada una de ellas, así como los ciclos de riego durante períodos más o menos largos, generalmente una o dos semanas. Estos instrumentos requieren energía eléctrica y algunos modelos trabajan incluso con batería. Estos programadores permiten el arranque y parado de bombas eléctricas, (Ruiz y otros, 2010)

Programadores de control por volumen: Para compaginar las ventajas del automatismo hidráulico y electrónico el control se realiza por volúmenes en lugar de programar por tiempo. Las dosis de riego, se controla a través de pulsos eléctricos asociado cada pulso a un determinado volumen de agua medido por un contador que envía señales al programador cada vez que el indicador mide una vuelta completa, cerrando un circuito eléctrico a través de un electroimán.

Automatismos por microprocesadores: Los avances en el campo de los microprocesadores, con posibilidades casi ilimitadas en el uso de la agricultura. Con estos automatismos se consigue avances cualitativos, como controlar el funcionamiento hidráulico del riego a través de sensores de presión y flujo que detiene el riego cuando registran valores superiores o inferiores al rango previamente fijado. Control permanente de parámetros meteorológicos como temperatura, humedad del aire, insolación, viento, tensión del agua en el suelo, control sobre aplicación de fertilizantes. Consta de un panel con una pantalla que permite ingresar el programa de riego y abonado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ruiz Canales, A. (Coord.) & Molina Martínez, J. M. (Coord.).
(2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*: (1 ed.).
Marcombo. <https://elibro.net/es/lc/utmachala/titulos/280243>
- Shavitt (1981). Levels of automation. En II internat. Conference on
irrigation Proceeding. Tel Aviv. Isreal. 7-14 p.

ANEXOS

Anexo 1: Valores del coeficiente único de los cultivos (promedio temporal) kc

Valores del coeficiente único de los cultivos (promedio temporal) Kc

Cultivos	Etapa Inicial	Etapa de crecimiento	Mediados de temporada	Etapa final
a. Hortalizas Pequeña	0,7	0,85	1,05	0,95
Brécol (Brócoli)		0,85	1,05	0,95
Col de Bruselas		0,85	1,05	0,95
Zanahoria		0,85	1,05	0,95
Coliflor		0,85	1,05	0,95
Apio (Céleri)		0,85	1,05	1
Ajo		0,85	1	0,7
Lechuga		0,85	1	0,95
Cebolla		0,85	1,05	0,75
Espinaca		0,85	1	0,95
Rábano		0,8	0,9	0,85
b. Hortalizas- Familia Solanáceas	0,6	0,85	1,15	0,8
Berenjena		0,8	1,05	0,9
Pimiento		0,8	1,05	0,9
Tomate		0,85	1,15	0,7-0,9
c. Hortalizas- Familia Cucurbitáceas	0,5	0,75	1	0,8
Melón	0,5	0,65	0,85	0,6
Calabaza	0,5	0,75	1	0,8
Sandía	0,4	0,7	1	0,75
d. Raíces y Tubérculos	0,5	0,8	1,1	0,95
Remolacha, mesa	0,5	0,75	1,05	0,95
Yuca o mandioca	0,3	0,75	1,05	0,95
Patata o Papa	0,5	0,8	1,15	0,75
Camote o Batata	0,5	0,8	1,15	0,65
e. Leguminosas (Leguminosae)	0,4	0,75	1,15	0,55
Frijoles o judías, verdes	0,5	0,75	1,05	0,9
Garbanzo (chick pea)	0,4	0,7	1	0,35
Habas - Fresco	0,5	0,8	1,15	1,1
Maní	0,4	0,75	1,15	0,6
Lentejas	0,4	0,7	1,10	0,3
Guisantes o arveja - Frescos	0,5	0,85	1,15	1,1
Soya	0,5	0,85	1,15	0,5
f. Hortalizas perennes	0,5	0,75	1	0,8
Alcachofa	0,5	0,75	1	0,95
Espárragos	0,5	0,7	0,95	0,3
Menta	0,6	0,85	1,15	1,1
Fresas	0,4	0,6	0,85	0,75
g. Cultivos Textiles	0,35			
Algodón	0,35	0,75	1,15-1,20	0,7-0,5
Lino	0,35	0,75	1,1	0,25
h. Cultivos Oleaginosos	0,35	0,8	1,15	0,35
Ricino	0,35	0,8	1,15	0,55
Cártamo	0,35	0,75	1,0-1,15	0,25
Sésamo (ajonjolí)	0,35	0,75	1,10	0,25
Girasol	0,35	0,75	1,0-1,15	0,35
i. Cereales	0,3	0,7	1,15	0,4
Cebada	0,3	0,7	1,15	0,25
Avena	0,3	0,7	1,15	0,25
Maíz, (grano)	0,3	0,75	1,2	0,6-0,35
Maíz, (dulce)	0,3	0,7	1,15	1,05

Arroz 1,05 1,20 0,90-0,60	1,05	1,05	1,2	0,9 – 0,6
j. Forrajes				
Alfalfa (heno)	0,4	0,65	0,95	0,9
Trébol heno, Bersím	0,4		0,9	0,85
Rye Grass (heno)	0,95	1,0	1,05	1,0
k. Caña de azúcar	0,4	0,8	1,25	0,75
l. Frutas Tropicales y Árboles				
Banana (primer año)	0,5	0,8	1,10	1,0
Banana (segundo año)	1,0	1,1	1,20	1,1
Cacao	1,0	1,0	1,05	1,05
Café (suelo sin cobertura)	0,9	0,9	0,95	0,95
Café (suelo con malezas)	1,05	1,05	1,10	1,10
Piña (suelo sin cobertura)	0,50	0,5	0,30	0,30
Piña (suelo con gramíneas)	0,5	0,5	0,5	0,5
m. Uvas y Moras				
Moras (arbusto)	0,30	0,75	1,05	0,5
Uvas – Mesa o secas (pasas)	0,30	0,55	0,85	0,45
Uvas vino	0,30	0,5	0,70	0,45
Lúpulo	0,3	0,8	1,05	0,85
n. Árboles Frutales				
Almendras, sin cobertura del suelo	0,4	0,65	0,9	0,65
Manzanas, Cerezas, Peras (sin cobertura del suelo, sin heladas)	0,6	0,75	0,95	0,75
(cobertura activa del suelo, y heladas)	0,5	0,85	1,20	0,95
Albaricoque, Melocotón o Durazno (sin cobertura del suelo, sin heladas)	0,55	0,7	0,9	0,65
(cobertura activa del suelo, y heladas)	0,5	0,8	1,15	0,9
Aguacate, sin cobertura del suelo	0,6	0,7	0,85	0,75
Cítricos, sin cobertura del suelo				
70 % cubierta vegetativa	0,7	0,70	0,65	0,7
50 % cubierta vegetal	0,65	0,65	0,65	0,60
20 % cubierta vegetal	0,50	0,50	0,45	0,55
Cítricos, con cobertura activa del suelo				
70 % cubierta vegetal	0,75	0,75	0,7	0,7
50 % cubierta vegetal	0,8	0,8	0,8	0,8
20 % cubierta vegetal	0,85	0,85	0,85	0,85

**Duración de las etapas de crecimiento* del cultivo
para distintos períodos de siembra y regiones climáticas (días)**

Cultivo	Inic. (L _{inc})	Des. (L _{des})	Med (L _{med})	Final (L _{fin})	Total
a. Hortalizas Pequeñas					
Brécol (Brócoli)	35	45	40	15	135
Repollo	40	60	50	15	165
Zanahoria	20	30	50/30	20	100
	30	40	60	20	150
	30	50	90	30	200
Coliflor	35	50	40	15	140
Apio (Céleri)	25	40	95	20	180
	25	40	45	15	125
	30	55	105	20	210
Crucíferas'	20	30	20	10	80
	25	35	25	10	95
	30	35	90	40	195
Lechuga	20	30	15	10	75
	30	40	25	10	105
	25	35	30	10	100
	35	50	45	10	140
Cebolla (seca)	15	25	70	40	150
	20	35	110	45	210
Cebolla (verde)	25	30	10	5	70
	20	45	20	10	95
	30	55	55	40	180
Cebolla (semilla)	20	45	165	45	275
Espinaca	20	20	15/25	5	60/70
	20	30	40	10	100
Rábano	5	10	15	5	35
	10	10	15	5	40

b. Hortalizas – Familia de las Solanáceas

Berenjena	30	40	40	20	130\140
	30	45	40	25	
Pimiento Dulce (campana)	25/30	35	40	20	125
	30	40	110	30	210
Tomate	30	40	40	25	135
	35	40	50	30	155
	25	40	60	30	155
	35	45	70	30	180
	30	40	45	30	145

c. Hortalizas - Familia de las Cucurbitáceas

Melón	30	45	35	10	120
	10	60	25	25	120
Pepino	20	30	40	15	105
	25	35	50	20	130
Calabaza de Invierno	20	30	30	20	100
	25	35	35	25	120
Calabacín (zucchini)	25	35	25	15	100
	20	30	25	15	90
Melón Dulce	25	35	40	20	120
	30	30	50	30	140
	15	40	65	15	135
	30	45	65	20	160
Sandía	20	30	30	30	110
	10	20	20	30	80

d. Raíces y Tubérculos

Remolacha, mesa	15	25	20	10	70
	25	30	25	10	90
Mandioca o Yuca: año 1	20	40	90	60	210
año 2	150	40	110	60	360
Patata o Papa	25	30	30/45	30	115/130
	25	30	45	30	130
	30	35	50	30	145
	45	30	70	20	165
	30	35	50	25	140
Camote o Batata	20	30	60	40	150
	15	30	50	30	125
Remolacha azucarera	30	45	90	15	180
	25	30	90	10	155
	25	65	100	65	255
	50	40	50	40	180
	25	35	50	50	160
	45	75	80	30	230
	35	60	70	40	205

e. Leguminosas (Leguminosae)

Judías, o Frijoles (verdes)	20 15	30 25	30 25	10 10	90 75
Judías o Frijoles (secos)	20 15 25	30 25 25	40 35 30	20 20 20	110 95 100
Habas - secas - verdes	15 20 90 90	25 30 45 45	35 35 40 40	15 15 60 0	90 100 235 175
Caupis (cowpeas)	20	30	30	20	110
Cacahuete o Maní	25 35 35	35 35 45	45 35 35	25 35 25	130 140 140
Lentejas	20 25	30 35	60 70	40 40	150 170
Guisantes o arveja	15 20 35	25 30 25	35 35 30	15 15 20	90 100 110
Soya o soja	15 20 20	15 30/35 25	40 60 75	15 25 30	85 140 150

f. Hortalizas perennes (con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)

Alcachofa	40 20	40 25	250 250	30 30	360 325
Espárragos	50 90	30 30	100 200	50 45	230 365

g. Cultivos textiles

Algodón	30 45 30 30	50 90 50 50	60 45 60 55	55 45 55 45	195 225 195 180
Lino	25 30	35 40	50 100	40 50	150 220

h. Cultivos oleaginosos

Ricino	25 20	40 40	65 50	50 25	180 135
Cártamo	20 25 35	35 35 55	45 55 60	25 30 40	125 145 190
Sésamo	20	30	40	20	110
Girasol	25	35	45	25	130

i. Cereales					
Cebada/Avena/Trigo	15	25	50	30	120
	20	25	60	30	135
	15	30	65	40	150
	40	30	40	20	130
	40	60	60	40	200
	20	50	60	30	160
Trigo de invierno	20 ²	60 ²	70	30	180
	30	140	40	30	240
	160	75	75	25	335
Granos (pequeños)	20	30	60	40	150
	25	35	65	40	165
Maíz (grano)	30	50	60	40	180
	25	40	45	30	140
	20	35	40	30	125
	20	35	40	30	125
	30	40	50	30	150
	30	40	50	50	170
Maíz (dulce)	20	20	30	10	80
	20	25	25	10	80
	20	30	50/30	10	90
	30	30	30	10 ¹	110
	20	40	70	10	140
Mijo	15	25	40	25	105
	20	30	55	35	140
Sorgo	20	35	40	30	125
	20	35	45	30	130
Arroz	30	30	60	30	150
	30	30	80	40	180
j. Forrajes					
Alfalfa, temporada completa ⁴	10	30	varia	varia	varia
Alfalfa ⁴ 1er ciclo de corte	10	20	20	10	60
	10	30	25	10	75
Alfalfa ⁴ , otros ciclos de corte	5	10	10	5	30
	5	20	10	10	45
Bermuda para Semilla	10	25	35	35	105
Bermuda, heno (distintos cortes)	10	15	75	35	135
Pastos, Gramas ⁴	10	20	--	--	--

k. Caña de Azúcar

Caña de Azúcar, virgen	35	60	190	120	405
	50	70	220	140	480
	75	105	330	210	720
Caña de Azúcar, soca	25	70	135	50	280
	30	50	180	60	320
	35	105	210	70	420

l. Frutas Tropicales y Árboles

Banana, 1 ^{er} año	120	90	120	60	390
Banana, 2 ^{do} año	120	60	180	5	365
Piña	60	120	600	10	790

m. Uvas y Moras

Uvas	20	40	120	60	240
	20	50	75	60	205
	20	50	90	20	180
	30	60	40	80	210
Lúpulo	25	40	80	10	155

n. Árboles Frutales

Cítricos	60	90	120	95	365
Huerto de árboles caducifolios	20	70	90	30	210
	20	70	120	60	270
	30	50	130	30	240

ISBN: 978-9942-53-134-6



Compás
capacitación e investigación