

Una hectárea tiene una superficie de 10,000 m² y un milímetro es equivalente a 0.001 m³, una pérdida de un milímetro de agua corresponde a una pérdida de 10 m³ de agua por hectárea. En otras palabras, un milímetro por día es igual a 10 m³ por día, en un área de una hectárea.

12. INFLUENCIA DEL CLIMA

12.1. Temperatura

Es necesario conocer los factores externos que afectan el consumo de agua de la planta, la temperatura es uno de ellos, cuando las temperaturas son altas o calientes las plantas absorberán más agua del suelo, ya que la transpiración en su interior se incrementa, por ejemplo:

El riego para un cultivo de frijol en San Antonio, zona baja de Intibucá (217 msnm), tendrá un manejo diferente al que se le daría al mismo cultivo en El Roblón, Belén, Lempira (1600 msnm), siempre que el manejo sea el mismo al final del ciclo necesitará más agua el frijol sembrado en la zona baja que es más caliente.

12.2. Humedad relativa

Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad.

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura, por ejemplo:

Una humedad relativa del 70% quiere decir que de la totalidad de vapor de agua (el 100%) que podría contener el aire a esta temperatura, solo tiene el 70%. En relación a nuestros cultivos cuando esta humedad relativa es más alta, la planta pierde agua a un ritmo menor que cuando esta es baja.

12.3. Viento

Respecto al riego, lo que debemos saber es que en los días que el viento es más fuerte, nuestro cultivo puede perder agua más rápidamente que cuando hay días con poco viento, el suelo también se puede secar más rápido en los días que la velocidad del viento es mayor.

NECESIDAD DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Objetivo:

Determinar la necesidad de agua de los cultivos y la humedad del suelo.

13. CÓMO DETERMINAMOS LA NECESIDAD DE AGUA DE LOS CULTIVOS

La evaporación del agua está dada según el sitio o lugar donde la midamos, y ésta depende de factores como: horas luz, temperatura, viento, humedad ambiente, altura entre otros. Los datos de evaporación se pueden obtener de la estación meteorológica más cercana; ésta se determina midiendo la altura de agua perdida en un tanque de agua, en milímetros. Cada milímetro equivale a un litro por metro cuadrado o 10 metros cúbico por hectárea.

La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración de un campo cultivado, se define como requerimiento de agua del cultivo. Aunque los valores para E_{Tc} (evapotranspiración del cultivo) y requerimiento de agua del cultivo son idénticos, el requerimiento de agua del cultivo se refiere a la cantidad de agua que necesita ser suplida, mientras que la E_{Tc} se refiere a la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración. El requerimiento de agua de riego generalmente, se refiere a la diferencia entre el requerimiento del cultivo y la precipitación efectiva. El requerimiento de agua de riego, también incluye agua adicional para el lavado de sales y para la compensación por la no uniformidad de la aplicación del agua.

La E_{Tc} puede ser calculada directamente utilizando parámetros climáticos e integrando directamente la resistencia del cultivo, el albedo (fracción de la radiación solar que es reflejada por una superficie; coeficiente de reflejo de la vegetación, generalmente 0.23) y factores de resistencia del aire en el método de Penman Monteith. Como en la actualidad existe una considerable falta de información para diferentes cultivos, se utiliza este método para la estimación de la superficie de referencia para determinar su tasa de evapotranspiración, esto es su E_{To} .

Coefficientes experimentales, llamados Coeficientes del Cultivo (K_c), son usados para relacionar la E_{Tc} con la E_{To} ya que $E_{Tc} = E_{To} \times K_c$. El K_c cambia según el estadio de la planta, es usualmente menor que 1; pero alcanza valores de hasta 1.2 cuando está en floración (Cuadro 2).

Para fines y efectos del cálculo del requerimiento de agua de un cultivo, se utiliza la ecuación presentada a continuación:

$$E_{Tc} = E_{To} \times K_c$$

Donde:

- E_{Tc} = Evapotranspiración del cultivo de interés, expresada en mm/día, mm/mes, mm/semana, etc.
- E_{To} = Evapotranspiración del cultivo de referencia, expresada en mm/día, mm/mes, mm/semana, etc.
- K_c = Coeficiente del cultivo

14. CÓMO OBTENEMOS LA E_{to}

14.1. Método de la Pana de Evaporación

Los valores de evaporación de panas llenadas con agua son fácilmente accesibles. En la ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm/día) corresponde con el descenso en la lámina de agua de ese mismo período. Las panas proveen una medición del efecto integrado de la radiación, del viento, de la temperatura y de la humedad en la evaporación ocurrida en una superficie de agua expuesta al ambiente.

Aunque la pana responde de manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas entre la pérdida de agua desde una superficie de agua y la de un cultivo. El reflejo de la radiación solar desde el agua en una pana poco profunda puede ser diferente del 23% que se asume ocurre en una superficie de referencia de grama.

El almacenamiento del calor en la pana puede ser apreciable y causar evaporación significativa durante la noche, momento durante el cual la mayoría de cultivos no transpira a la misma tasa que lo hace de día. También hay diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire inmediatamente arriba de las respectivas superficies. La transferencia de calor a través de los lados de la pana ocurre y puede afectar el balance de energía.

Sin tomar en cuenta las diferencias que existen entre la evaporación de la pana y la evapotranspiración de un suelo cultivado, el uso de las panas para predecir la E_{To} para períodos de 10 días o más puede estar garantizado. La evaporación de la pana está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empíricamente derivado llamado Coeficiente de la Pana (K_p).

$$E_{T_o} = K_p E_{pan}$$

Donde:

E_{To} = evapotranspiración de referencia, en mm/día.

K_p = coeficiente de la pana

E_{pan} = evaporación de la pana, en mm/día.

14.2. Pana de Evaporación Clase A

Es un tanque circular (Fig. 10), con 120.7 cm de diámetro y 25 cm de altura. Se hace de hierro galvanizado, calibre 22. Se monta sobre una tarima o plataforma de madera instalada 15 cm sobre la superficie del suelo. El suelo debe quedar a no menos de cinco cm del fondo de la pana, la cual debe quedar nivelada. Se llena con agua hasta 5 cm por debajo del aro superior y no debe bajar a menos de 7.5 cm de éste. El agua debe ser cambiada, por lo menos una vez a la semana, para eliminar la extrema turbidez. Si es galvanizada, se debe pintar anualmente con pintura de

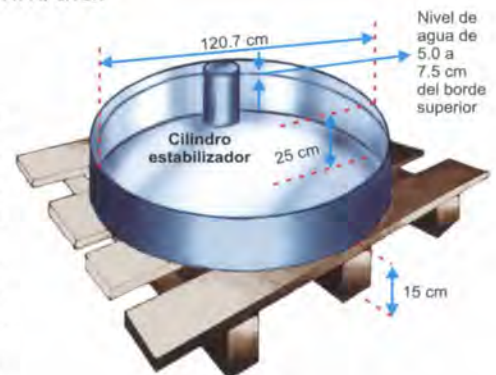


Fig. 10. Pana o tanque de evaporación Clase A.

aluminio. Las panas deben estar protegidas por cercas, para evitar que entren animales a tomar agua. Preferiblemente, el sitio debe estar cubierto de grama, 20 m x 20 m, abierto por todos lados para permitir la libre circulación del aire, ubicado en el centro o en el lado de sotavento de grandes superficies cultivadas.

Las lecturas se toman diariamente, temprano por la mañana, a la misma hora que se mide la precipitación. Las medidas se hacen en un cilindro estabilizador dentro de la pana, cerca de la orilla. Este cilindro es de aproximadamente 10 cm de diámetro y 20 cm de altura con un agujero en el fondo.

Cuadro 2. Coeficientes Kp, en el caso de una Pana de Evaporación Clase A, para diferentes cubiertas y niveles de humedad relativa media, con vientos.

El coeficiente K(tan) según la FAO					
Tanque evaporímetro colocado en una superficie de forraje verde de poca altura.					
Distancia a barlovento a la cual cambia la cobertura (m)	Velocidad del viento		Humedad relativa media		
	Km/día	m/s	<40 K(tan)	40-70	>70
1	<175	<2	0.55	0.65	0.75
	175-425	2-5	0.50	0.60	0.65
	425-700	5.8	0.45	0.50	0.60
	>700	>8	0.40	0.45	0.50
10	<175	<2	0.65	0.75	0.85
	175-425	2-5	0.60	0.70	0.75
	425-700	5.8	0.55	0.60	0.65
	>700	>8	0.45	0.55	0.60
100	<175	<2	0.70	0.80	0.85
	175-425	2-5	0.65	0.75	0.80
	425-700	5.8	0.60	0.65	0.70
	>700	>8	0.50	0.60	0.65
1000	<175	<2	0.75	0.85	0.85
	175-425	2-5	0.70	0.80	0.80
	425-700	5.8	0.65	0.70	0.75
	>700	>8	0.55	0.60	0.65

14.3. El coeficiente del cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo es un multiplicador que se llama factor de cultivo representado usualmente por Kc. Dicho factor es exclusivo para cada cultivo. El Kc es usualmente menor que 1, y cambia según el estadio de crecimiento de la planta.

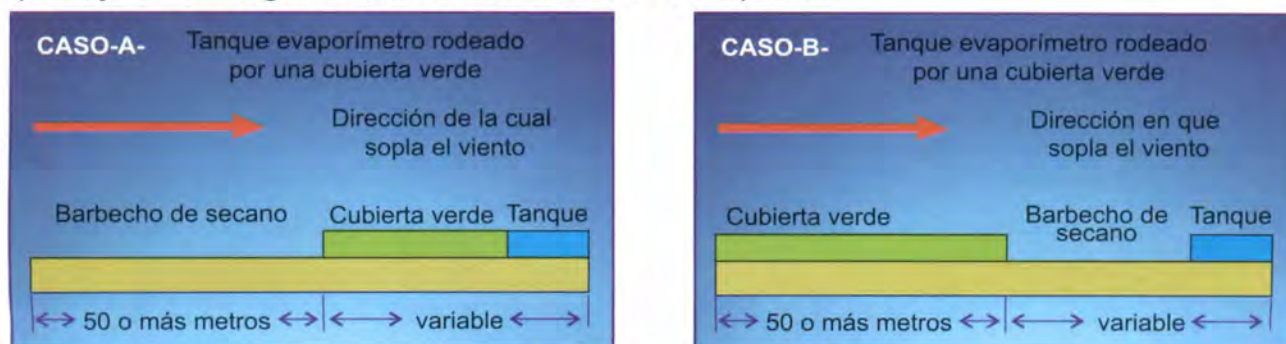


Fig. 11. Disposición del tanque evaporímetro.

La mayoría de los efectos de varios parámetros climáticos se han incorporado ya en la estimación de la ETo. Por lo tanto, si la ETo representa un índice de demanda climática, el Kc varía, predominantemente, junto con las características específicas del cultivo y solo hasta un límite, con el clima. Esto lo que permite es la transferencia de valores estándar de Kc entre localidades y entre climas, por lo que se considera la razón primordial de su aceptación a nivel mundial.

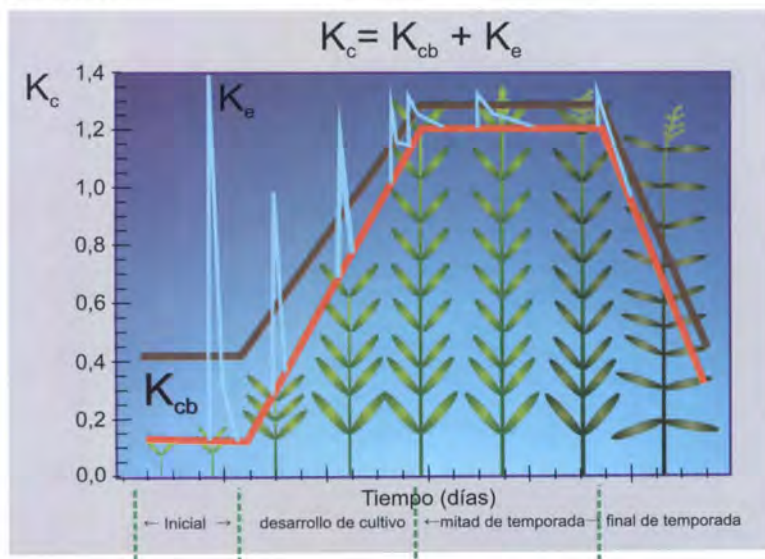


Fig 12. Kc de un cultivo, la necesidad de agua de acuerdo a su etapa fenológica.

En la figura 12 se puede apreciar que la mayor demanda de agua de los cultivos ocurre en las etapas de desarrollo y en la estación media del cultivo, seguidas por la de maduración, siendo la etapa inicial del cultivo la que requiere menos agua.

En el cuadro 3 se muestran algunos datos de Kc para diferentes cultivos. Para obtener el dato de consumo total de agua deberemos multiplicar el dato de ETo por día por el Kc seleccionado.

Cuadro 3. Valores del coeficiente del cultivo (Kc) para cultivos herbáceos y hortícolas.

Cultivos*	Fase del cultivo			
	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración
Algodón	0.45	0.75	1.15	0.75
Berenjena	0.45	0.75	1.15	0.80
Cebada	0.35	0.75	1.15	0.45
Girasol	0.35	0.75	1.15	0.55
Judía verde	0.35	0.70	1.10	0.30
Lechuga	0.45	0.60	1.00	0.90
Maíz	0.40	0.80	1.15	0.70
Melón	0.45	0.75	1.00	0.75
Papa	0.45	0.75	1.15	0.85
Pimiento	0.35	0.70	1.05	0.90
Remolacha	0.45	0.80	1.15	0.80
Soya	0.35	0.75	1.10	0.60
Sorgo	0.35	0.75	1.10	0.65
Tabaco	0.35	0.75	1.10	0.90
Tomate	0.45	0.75	1.15	0.80
Trigo	0.35	0.75	1.15	0.45
Zanahoria	0.45	0.75	1.05	0.90

* Existen tablas para todos los cultivos.

14.4. Ejemplo práctico para saber qué cantidad de agua aplicar y en cuánto tiempo

Pensemos en una zona como el Valle del Yeguaré, Francisco Morazán, Honduras a 800 msnm donde, la ETo máxima en abril es de 6.9 mm/día y el coeficiente (Kc), máximo para el cultivo del tomate es de 1.15 en la fase media del cultivo, (Cuadro 4), con la fórmula recomendada por la FAO se tendría lo siguiente:

$$E_{tc} = E_{To} \times K_c$$

Donde:

$$E_{Tc} = 6.9 \text{ mm/día} \times 1.15 \text{ (constante de } K_c) = 7.93$$

Redondeando se tendría 8 mm/día

Entonces 8 mm/día es la cantidad que realmente necesita el cultivo en la etapa de mayor demanda.

Es aconsejable que estos cálculos se hagan más detallados por periodos de una semana hasta 10 días. Al inicio el Kc está en el rango 0.35 a 0.45 (Cuadro 3), esto multiplicado por la ETo, por cada etapa de crecimiento del cultivo, da los requerimientos de agua de la planta. Hay que calcular también los requerimientos de riego.

Para que un cultivo reciba la cantidad necesaria de agua se requiere un poco más de este líquido, lo que se denomina Lámina Bruta de Riego. Esta cantidad depende del sistema que se tenga. La eficiencia de riego indica cuánta agua de la que entrega el sistema al suelo será utilizada por el cultivo que está sembrado. Para el goteo estimamos una eficiencia de riego (Er) del 90 al 95%, con esta eficiencia obtenemos la cantidad de milímetros que debemos aplicar, de la siguiente manera:

$$\text{Requerimiento de Riego (RR)} = E_{Tc} \div \text{Eficiencia de riego} \times 100$$

$$\text{Lamina Bruta de Riego (db)}$$

De donde:

$$\text{RR o db} = 8 \text{ mm (} E_{Tc} \text{)}/90 \text{ (Eficiencia estimada 90\%)} \times 100 = 8.88 = 9 \text{ mm, se deja en número redondo.}$$

Con el dato anterior podemos obtener el volumen de agua por planta (G)

$$G = (db \div f) \times S_p \times S_i$$

Donde:

$$\text{RR o db} = \text{Requerimiento de riego o lámina bruta, que sería 9 mm}$$

f = es la frecuencia de riego. En goteo este valor usualmente es 1(uno), lo que significa que se regará todos los días, solo durante el periodo de lluvias puede cambiar esta frecuencia.

Sp = es el espaciamiento entre plantas, que sería de 0.35 m, 35 cm

Sl = es el espaciamiento entre laterales de riego, que sería de 1.5 m entre lateral

$$G = (9 \text{ mm}/1.0 \text{ días}) \times 0.35 \text{ m} \times 1.5 = 4.72$$

$$G = 4.72 \text{ L/planta/día}$$

Ahora necesito saber ¿cuánto tiempo debo regar para darle a la planta esta cantidad de agua?, a esto se le llama **Tiempo de aplicación (Ta)**:

$$Ta = G / Np \times qa$$

Donde:

G = es el volumen de agua por planta, que es 4.72 L/planta/día

Np = Puntos de emisión por planta, este se obtiene de la siguiente manera:

- $Np = Sp/Se$

Donde:

- **Sp** = es el espaciamiento entre plantas = 0.35 m

- **Se** = espaciamiento entre goteros sobre el lateral = 0.20 (estamos asumiendo que se tiene una cinta de goteo de 8 milésimas de grosor de pared, con espaciamiento entre goteros de 20 cm).

$$Np = 0.35 / 0.20$$

$$Np = 1.75$$

qa = es el caudal nominal del gotero de lateral de riego, asumimos que tenemos una cinta T-TAPE y el gotero tiene una descarga de 0.99 L/h ($qa = 0.99\text{L/h}$) por gotero a una presión de trabajo de 10 libras por pulgada cuadrada (PSI).

Entonces el **Tiempo de aplicación de agua** sería:

$$Ta = 4.72 \text{ L/planta/día} / 1.75 \times 0.99$$

$$Ta = 2.72 = 2 \text{ horas con } 45 \text{ minutos}$$

Para efectos prácticos de riego, en un suelo muy arenoso puedo dividir este tiempo de riego en dos, tres o más momentos durante el día, de 1 hora con 22 minutos si lo dividimos en dos turnos, y 55 minutos si lo regamos en tres turnos. Si el suelo a regar es franco, puedo realizar un solo riego de 2 horas con 45 minutos.

Aunque este dato pueda parecer un poco alto, debemos recordar que se obtuvo calculando con el dato más alto de E_{To} , en uno de los meses más secos, abril, y la fase de cultivo de mayor demanda. En la época de lluvia este valor bajará drásticamente, ya que la precipitación suplirá todo o la mayor parte del requerimiento del cultivo en el día.

Para el mismo cultivo, tomate, pero en el mes de enero, la E_{To} más baja es 4.8 mm, en una etapa inicial de cultivo con un K_c de 0.45, resumiendo todos los cálculos del ejercicio anterior nos daría los siguientes resultados:

$$E_{Tc} = 2.16$$

$$\text{Requerimiento de riego (RR) o Lámina Bruta (db)} = 2.4 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen de agua por planta (G)} = 1.26 \text{ L/planta/día}$$

$$\text{Tiempo de aplicación de agua (Ta)} = Ta = G \div Np \times qa$$

$$Ta = 1.26 \text{ L/planta/día} \div 1.75 \times 0.99 \text{ L/h}$$

$$Ta = 0.713 \text{ h} = 45 \text{ minutos}$$

Este dato parece bajo, pero recordemos que es una etapa inicial del cultivo donde requiere menos agua y en un mes donde la E_{To} es más baja que en el verano.

En estos dos ejemplos, no podemos tener una RECETA de 2 horas por día como es común escuchar a muchos técnicos e instituciones que dan recomendaciones de riego a los productores, las fases inicial y final siempre requieren menos agua que la etapa de desarrollo y media del cultivo. Si promediamos a 2 horas de riego por día estaremos aplicando agua de más al inicio y final del cultivo, esto estaría elevando los costos de riego si tenemos motobomba para regar y estaríamos desperdiciando una porción del agua. Debemos recordar que el agua es un recurso natural sumamente valioso para la vida de todos nosotros, para la producción animal y la producción de cultivos.

Por el contrario estaremos dándole menos agua en las etapas intermedias, esto lleva a un estrés de la planta, repercutiendo en la reducción de los rendimientos y calidad de fruto.

Conociendo la demanda de agua del cultivo y en cuanto tiempo suplimos esta necesidad, se debe conocer si la fuente de agua tiene un caudal suficiente para cubrir las necesidades de agua del cultivo, por ejemplo, para 1.0 Mz de tomate, **¿puedo regar toda la Manzana de una vez o tengo que dividirla en secciones?**

Siguiendo con el ejemplo de tomate, asumiendo un suelo **Franco** y tomando el dato hipotético del aforo de fuente que se muestra al inicio del manual, en la sección de aforo volumétrico, sabemos que la fuente tiene un caudal de **6,804 L/hr**, entonces:

Necesidad de agua del cultivo:

$$G = 4.72 \text{ L/planta/día}$$

Tiempo de riego para cubrir esta demanda de agua (T_a), esto es en cuantas horas regaremos todo el lote sembrado:

$$T_a = 2.72 \text{ h} = 2 \text{ horas con } 45 \text{ minutos}$$

Si dividimos el consumo total de la planta en el día (G) entre el tiempo en que se suple esta demanda (T_a), según las características de la cinta de goteo. Obtendremos el consumo de la planta por hora:

$$\text{Consumo de la planta por hora} = \frac{4.72 \frac{\text{L}}{\text{Planta}} / \text{día}}{2.72 \text{ h}}$$

$$\text{Consumo de la planta por hora} = 1.73 \frac{\text{L}}{\text{h}} \text{ por planta}$$

Con estos datos puedo obtener el número de secciones o turnos de riego del sistema:

$$\text{Cantidad de turnos de riego} = \frac{\text{Requerimiento de agua del cultivo} \left(\frac{\text{L}}{\text{h}} \right)}{\text{Capacidad de la fuente de agua} \left(\frac{\text{L}}{\text{h}} \right)}$$

Si conocemos:

Población de plantas/Mz:

- Una Mz tiene **7000 m²**, es decir **84 m largo × 84 m ancho** aproximadamente, si fuera una manzana cuadrada.
- Distanciamiento entre surco o cama = **1.5 m**
- Distanciamiento entre planta = **0.35 m**
- Número de camas = 84 m de ancho ÷ 1.5 m entre camas = **56 camas**

- Número de plantas por cama = 84 m de largo de cama ÷ 0.35 m entre planta = **240 plantas por cama**
- Total de plantas por manzana = 56 camas × 240 plantas por cama = **13,440 plantas/Mz**

Consumo de agua por planta = 1.73 L/h/planta

Requerimiento total de agua del cultivo en 1 Mz:

13,440 plantas/Mz × 1.73 L/h/planta = **23,251 L/h/Mz**

Capacidad de la fuente = 6,804 L/h

$$\text{No. de turnos de riego} = \frac{23,251 \text{ L/h}}{6,804 \text{ L/h}}$$

No. de turnos de riego = 3.42

= 4 turnos o secciones, redondeamos al valor más alto

- El resultado obtenido nos indica que dividiremos la manzana en cuatro turnos de riego y cada turno de riego durará el valor del tiempo de aplicación (T_a) = 2 horas con 45 minutos, para regar toda la manzana se necesitan 11 horas, este es el tiempo total de riego.
- Este tiempo de 11 h resulta alto, pero recordemos que estamos regando de una pequeña fuente de agua y por diferencial de altura, con una fuente de agua más grande y un sistema de bombeo este valor bajaría probablemente a la mitad.
- También se tomaron los datos más altos de demanda de agua del cultivo, el mes de abril y la etapa del cultivo con mayor consumo de agua.

Para los cálculos anteriores se asumió un punto de humedad del suelo debajo del margen de seguridad, sin haber lluvia.

Recordemos que el secreto del riego es dotar a la planta en forma intermitente del agua que consume continuamente. Para llegar a suplir esta necesidad de agua es necesario tomar en cuenta todos los aspectos mencionados anteriormente como la frecuencia de riego, turnos de riego, horas de riego, etc.

15. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DEL SUELO

La humedad del suelo es una propiedad física muy importante; en la agricultura es determinante puesto que de ella dependerán muchas de las decisiones que tomemos sobre nuestros cultivos, así como también nos permite conocer el estado en el que se encuentra el suelo y lo que podemos hacer con éste.

El agua del suelo se encuentra en forma de una película que rodea las partículas del suelo. La película es gruesa cuando hay bastante humedad en el suelo y por el efecto de unas fuerzas externas de absorción (absorción por la raíz de la planta y evaporación) disminuye el espesor de la película.

15.1. Tensión de humedad de agua del suelo

La tensión de humedad es una medida que sirve para medir la fuerza con la cual está retenida el agua a las partículas del suelo. Cuando aumenta la tensión disminuye el espesor de la película de agua. Es más fácil extraer agua de películas gruesas de humedad, pero es necesaria una tensión elevada para extraer agua de películas delgadas.

15.2. Tensiómetro

Un tensiómetro es un instrumento que indica el estado de la humedad del suelo. Nos sirven para evaluar el esfuerzo que deben llevar a cabo las raíces para absorber el agua disponible. El tensiómetro es un tubo alargado que en uno de sus extremos cuenta con una cápsula porosa, generalmente fabricada en cerámica, permitiendo intercambiar humedad entre la tierra y el tubo, así nosotros podamos obtener una medida para poder tomar una decisión.

La unidad de medida comúnmente usada en los aparatos que encontramos en nuestro medio para medir esta tensión es el centibar (cb), o sea, la centésima parte de un bar. Los tensiómetros funcionan en el rango de 0 a 100 cb, que corresponde al 100% de la humedad aprovechable, aproximadamente.



Foto 11. Tensiómetro.



Foto 12. Tensiómetros colocados a distinta profundidad

Los tensiómetros se usan en agricultura, invernaderos, plantaciones frutales, etc. Tienen un empleo más profesional en horticultura comercial, siendo más populares otro tipo de sensores de humedad en jardines particulares, huertos, frutales, etc.

Cómo podemos deducir, un tensiómetro es un aparato muy útil, que manejado de forma adecuada nos indica el momento oportuno para aplicar riego y su duración.

Funcionamiento

Cuando el tensiómetro es instalado en un suelo seco, la tensión de humedad que ejerce el suelo se transmite a través de los poros de la cerámica (el suelo trata de quitarle agua al tensiómetro) y se produce un vacío dentro del cuerpo del instrumento. Entre más seco esté el suelo, más vacío se produce dentro del tensiómetro. Cuando se aplica un riego, ocurre el fenómeno contrario y el vacío dentro del cuerpo del instrumento disminuye.

Como mencionamos anteriormente, las unidades que se utilizan en tensiometría son los centibares, es decir la centésima parte de un Bar. Si tengo 760 mm de Hg son equivalentes a 1 Atmósfera (atm) y a 1.013 Bares (bar). Un (1) cb es equivalente a 7.5002 mm de Hg. La presión atmosférica a nivel del mar

es de 101.3 cb. Esto quiere decir que el agua que está dentro del cuerpo del tensiómetro antes que empiece a hacer vacío está a una presión positiva de 101.3 cb. A medida que comienza a producirse vacío dentro del tensiómetro la presión positiva va disminuyendo.

Cuadro 4. Relación lectura del tensiómetro—contenido de humedad del suelo.

Lectura del Tensiómetro En centibares (cb)	Condición de humedad del suelo
0 a 10	Saturado por riego reciente
10 a 25	Capacidad de campo
25 a 50	Humedad intermedia, buena disponibilidad de agua
50 a 80	Debería regarse

Instalación y mantenimiento de tensiómetros

Los tensiómetros son fáciles de instalar y usar.

1. Se rellena el tensiómetro completamente con agua destilada y se coloca la zona de la cápsula porosa en un recipiente con agua destilada a un nivel que la cubra totalmente, sin la tapa rosca superior (para saturar la cápsula) durante 24 horas.
2. Al transportar el instrumento hay que proteger la punta de cerámica de la sequedad del aire con un paño húmedo o similar.
3. Con una barrena se hace un hoyo en el suelo del tamaño aproximado al largo y ancho del tensiómetro.
4. Se introduce un puñado de tierra suelta en el fondo y se coloca el tensiómetro presionando cuidadosamente.
5. Se rellena con tierra alrededor dejando un pequeño alto para evitar apozamientos que interfieran en las lecturas. Dejar al menos 3 cm de espacio entre la superficie de la tierra y la base del tensiómetro.
6. De vez en cuando puede que el tensiómetro necesite ser llenado con agua. Usualmente, bajo condiciones regadas, el tensiómetro se llena por sí mismo cuando el agua de riego se aplica al campo.
7. Si el suelo es blando y está recién regado puede introducirse directamente al suelo presionándolo suavemente para no dañarlo.
8. Una vez instalado, se agrega agua destilada sólo si es necesario, para rellenar y dar ligeros golpes para extraer las burbujas de aire del interior.

Normalmente se deben colocar dos tensiómetros a distinta profundidad en cada punto a controlar, pero es frecuente ver uno solo. En árboles es muy importante el segundo tensiómetro más profundo.

El más superficial de los tensiómetros es el que indica el agua disponible para el cultivo; el más profundo orienta sobre las pérdidas y la evolución de la humedad a lo largo del perfil y se dispone de forma que alcance la profundidad del cultivo y algo más distanciado del emisor.

Es recomendable que el primero este situado a 10 cm del emisor.



Fig. 13. Ubicación de tensiómetros en el suelo.

Si es una parcela con distintos tipos de suelos habrá que colocar tantas estaciones de tensiómetros como tipos de suelo haya.

Idealmente el tensiómetro no debe sacarse del suelo durante la temporada de riego.

Es conveniente cambiarlos de lugar, al menos cada 2 años.

16. MÉTODO MANUAL PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DEL SUELO

Este método es muy práctico y uno de los más comunes en áreas pequeñas de cultivo, consiste en tomar con la mano una porción del suelo que estamos regando, podemos tomar de la superficie y también de 30 cm de profundidad para conocer la humedad en estos dos puntos.

Esta muestra la podemos extraer con un tubo Hoffer, con una pala o simplemente con las manos. La porción de suelo que hemos tomado la debemos apretar en nuestra mano y luego abrir la mano, si al abrir la mano la porción de suelo se desmorona o deshace significa que le falta humedad al suelo, si al apretar la porción de suelo se escurre agua por la mano quiere decir que tiene exceso de humedad.

El punto óptimo, el que estará cercano a la capacidad de campo (CC), es cuando al apretar no escurre agua y cuando abrimos la mano la porción de suelo se mantiene compacta o unida, es decir no se desmorona, en este punto el suelo no necesita más agua foto 13.



Foto 13. Este suelo se encuentra en Capacidad de Campo (CC), el punto óptimo de humedad del suelo.



Fig. 14. Resumen de las variables del diseño y su interacción para el logro de un planteamiento y diseño final. (Tomado de: Nicoll Durman).

PRÁCTICA No. 2

Desarrollar el cálculo de cuanta agua necesita un cultivo en una etapa fenológica determinada con los datos que se le proporcionan a continuación.

Objetivo:

Conocer el procedimiento para obtener la demanda de agua de un cultivo

Materiales:

- Manual de riego
- Cuaderno
- Lápiz
- Calculadora

Procedimiento:

Seguir el ejemplo de la unidad 4, página 46 de este manual.

PRÁCTICA No. 3

Determinación del contenido de humedad del suelo, método manual.

Objetivo:

Realizar el método práctico manual para conocer la humedad del suelo.

Materiales:

- Bote o paila con agua
- 4 Lb de tierra seca.

Procedimiento:

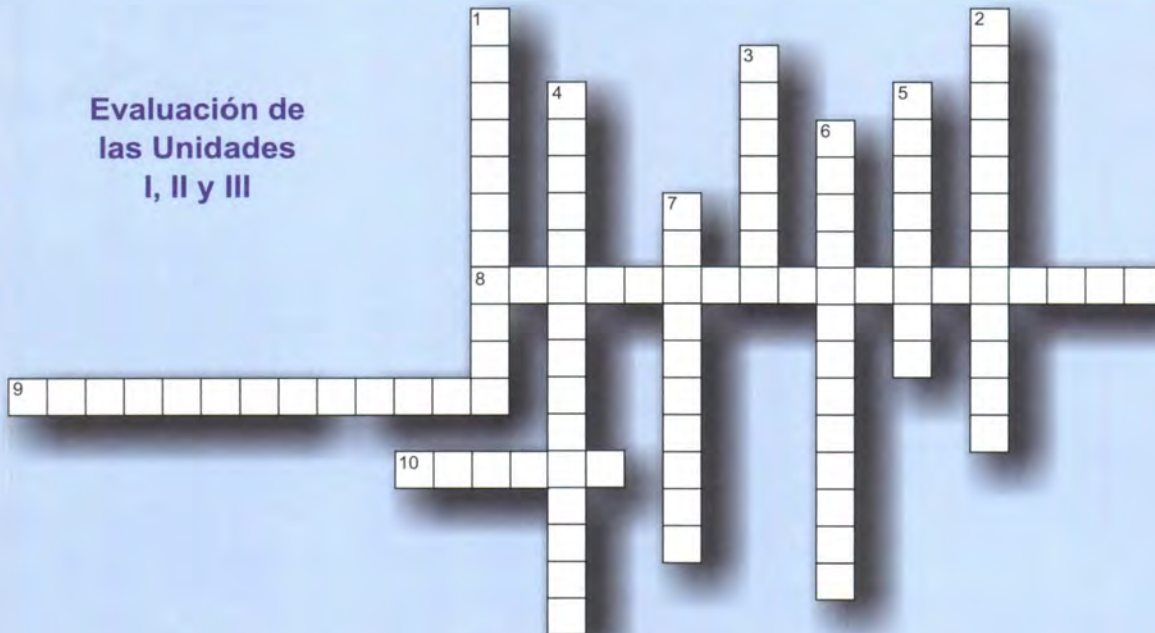
Separar la tierra en tres pequeños bultos, un bulto con tierra seca, el segundo con exceso de agua y la tercera la mojaremos poco a poco hasta llegar a capacidad de campo.

Del primer bulto tomamos una porción de tierra que nos quepa en la mano, la apretamos y abrimos la mano, observaremos que la porción que tomamos se desmoronará, esto nos indica que el contenido de humedad del suelo es bajo y necesita riego.

Luego tomamos una porción del bulto que le agregamos mucha agua y que está muy húmedo, lo apretamos y observaremos como escurrirá agua a través de los dedos y de la mano, esto nos indica que el suelo tiene exceso de humedad y no necesita regarse hasta que su contenido de humedad baje.

Finalmente tomamos tierra de la última porción de tierra y aplicamos poco a poco agua, mientras apretamos la tierra en nuestra mano, cuando podemos apretar y no escurre agua y si al abrir la mano no se desmorona y queda como una plasta solida entonces podemos decir que esta a capacidad de campo. Y este es el punto óptimo de humedad del suelo cuando tenemos un cultivo establecido.

Evaluación de las Unidades I, II y III



Horizontal

8. Es definida como la velocidad de evaporación de un manto de hierbas verdes de gran extensión.
9. En zonas donde no existen fuentes de agua, se pueden construir pequeñas lagunas para captación de aguas lluvias.
10. Se refiere a la cantidad de agua en galones que proporciona esta fuente en una unidad de tiempo determinada.

Vertical

1. Es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca.
2. Es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra.
3. Se refiere al tamaño de las partículas del suelo.
4. Es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.
5. Es la cantidad en galones a la que tendría derecho una persona al día para realizar todas sus actividades normales.
6. Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en el tejido vegetal y la remoción de este vapor hacia la atmósfera.
7. Es el tipo de agrupamiento de las partículas de suelo.

UNIDAD V

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Objetivo:

Conocer los principales componentes de un sistema de riego por goteo.

17. PARTES DE UN SISTEMA INTEGRADO DE RIEGO

Los sistemas de riego están integrados por distintas partes, algunos pueden llevar muchos componentes y otros solo los más básicos, en la figura 15 se muestra un detalle de los componentes que podría tener un sistema de riego.

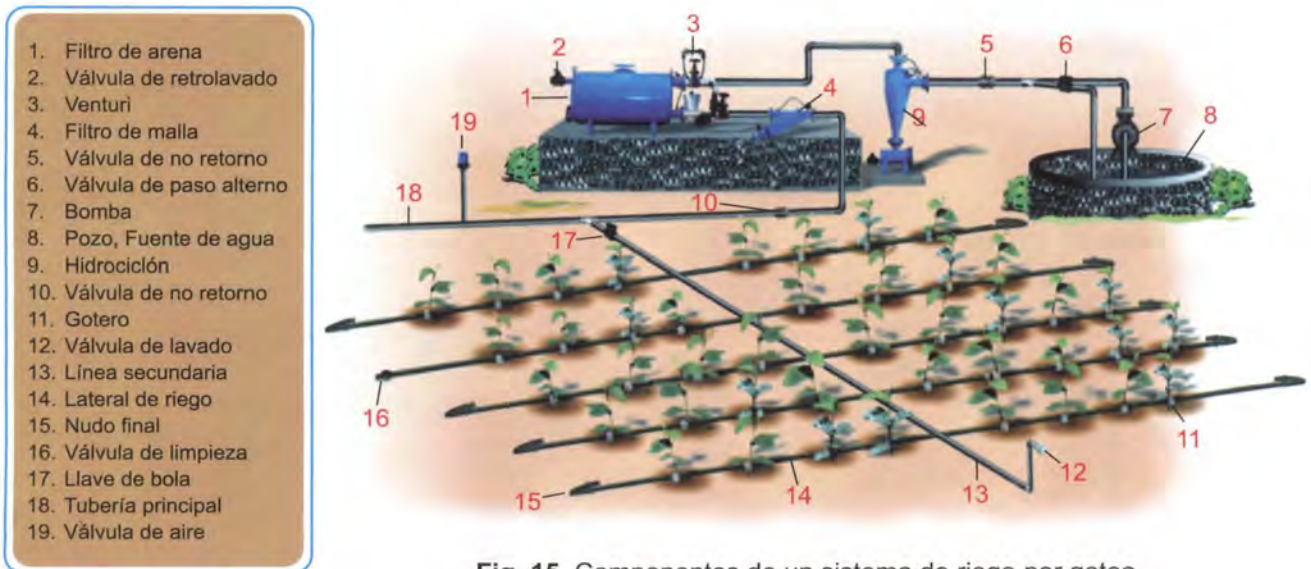


Fig. 15. Componentes de un sistema de riego por goteo.

18. TUBERÍAS

Las tuberías para conducción vienen a ser las venas del sistema, por medio de ellas se transporta el agua a los sitios de riego. Existen varios tipos de tuberías, básicamente diferenciados por el material del que están fabricados, siendo la tubería de PVC el más común, por su precio, la facilidad de instalación y su accesibilidad en el mercado a repuestos y accesorios.

Tubería PVC: la tubería PVC se puede encontrar en diámetros desde $\frac{1}{2}$ " hasta 15", una de las grandes ventajas es su inercia ante casi cualquier líquido, además que sus paredes son bastante lisas y esto hace que las pérdidas por fricción sean pocas. Su duración puede ser varios años, sobre todo si la misma va enterrada.

19. QUÉ SIGNIFICA EL SDR EN LA TUBERÍA

Los SDR más comerciales son el SDR 13.5 para el tubo de 1/2" únicamente, el SDR 21 para el tubo de 3/4", el SDR 26, SDR 41 y SDR 64. Las mismas se seleccionarán según la presión máxima de trabajo del sistema. Toda la tubería PVC conserva el mismo diámetro externo, por tanto no importa el SDR, todas utilizan el mismo tipo de accesorios de PVC.

Cuadro 5. Características de una tubería PVC.

SDR	Diámetro Nomina	Peso l(Kg)	Diámetro (pulgadas)		Presión de trabajo (PSI)	Presión de Rotura (PSI)
			Interno	Externo		
13.5	1/2"	0.886	0.716	0.840	315	1000
17	2"	5.720	2.095	2.375	250	800
17	2 1/2"	8.382	2.537	2.875	250	800
17	3"	12.423	3.088	3.500	250	800
17	4"	20.536	3.970	4.500	250	800
21	1 1/2"	3.001	1.719	1.900	200	630
21	2"	4.689	2.149	2.375	200	630
21	2 1/2"	6.871	2.601	2.875	200	630
21	3"	10.183	3.166	3.500	200	630
21	4"	16.832	4.072	4.500	200	630
26	1 1/2"	2.448	1.754	1.900	160	500
26	2"	3.825	2.193	2.375	160	500
26	2 1/2"	5.578	2.655	2.875	160	500
26	3"	8.308	3.230	3.500	160	500
26	4"	13.733	4.154	4.500	160	500
32.5	1 1/2"	2.025	1.783	1.900	125	400
32.5	2"	3.086	2.229	2.375	125	400
32.5	2 1/2"	4.522	2.698	2.875	125	400
32.5	3"	6.702	3.284	3.500	125	400
32.5	4"	11.079	4.224	4.500	125	400
41	3"	5.349	3.330	3.500	100	315
41	4"	8.843	4.280	4.500	100	315
51	4"	7.275	4.336	4.500	80	250
64	3"	3.513	3.388	3.500	63	200
64	4"	5.718	4.360	4.500	63	200

Norma Hondureña, Comisión Interinstitucional de Normalización, CAPRE-ADESAPA, 07-1/1999 (dejar este cuadro en una sola página)

En el siguiente ejemplo podemos ver que si tenemos un tanque elevado a 40 m sobre el nivel del suelo, entonces la presión que se ejerce al final de cualquier tubería de conducción es de casi 57 PSI.

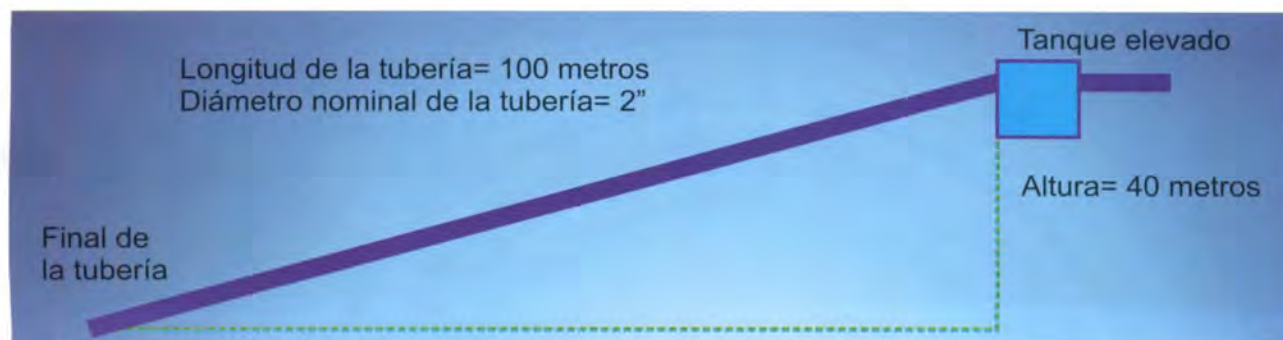


Fig. 16. Presión de la tubería de acuerdo a la elevación de un tanque.

EL cálculo se hace de la siguiente manera, aplicando una regla de tres directa:

$$\begin{aligned}
 &1 \text{ metro columna de agua} = 1.42 \text{ PSI} \\
 &40 \text{ metros columna de agua} = x \\
 &X = \frac{40 \times 1.42}{1} \\
 &X = 56.7 \text{ PSI}
 \end{aligned}$$

Esta presión es correcta no importando el diámetro de la tubería, ni el material, ni el recorrido o distancia, siempre y cuando el agua no esté en movimiento, como por ejemplo, con la válvula al final de la tubería cerrada.

Cuadro 6. Capacidad de conducción de agua de la Tubería PVC por su Diámetro para no sobrepasar las velocidades de diseño.

Diámetro Pulgadas (mm)	Caudal en m ³ /h 1.9 metros/seg	Caudal en GPM 6 pies/seg
1" (25)	3.4	15
2" (50)	13	58
3" (76)	30	130
4" (101)	54	232
6" (152)	120	520
8" (203)	178	775

Fuente: Manual técnico de tubería Durman, empresa que fabrica y vende materiales de PVC y riego.

En este ejemplo, vemos que existe una tubería de PVC con un diámetro nominal de 2". Si usamos el Cuadro 6, podemos ver que el diámetro interno de esta misma tubería, con un SDR de 32.5, es 2.229". Bajo esas condiciones, el caudal (Q) máximo que podría transportar esa tubería, dadas las condiciones del diagrama, se muestra en el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned}
 &H_f = 0.090194 \times \left(\frac{100}{C}\right)^{1.852} \times \frac{D^{1.852}}{Q^{4.866}} \\
 &17.3 \text{ PSI en 100 pies de tubería} = 0.090194 \times \left(\frac{100}{150}\right)^{1.852} \times \frac{2.229^{1.852}}{Q^{4.866}} \\
 &Q = 210.5 \text{ galones por minuto}
 \end{aligned}$$

Partiendo de que el objetivo de un sistema de riego es sacar provecho de esa ganancia de presión para operarlo, entonces limitamos la velocidad dentro de la tubería a que no sea mayor a 1.5 m/s, tal como mencionamos anteriormente. Existen tablas desarrolladas a través de la ecuación de Hazen & Williams, que nos indican, de manera rápida y sencilla, los caudales que se pueden manejar eficientemente en los diferentes diámetros de tubería.

20. FRICCIÓN

20.1. Pérdida de presión a lo largo de la tubería

Es la pérdida de presión ocasionada por el movimiento del agua a lo largo de la tubería, es constante, para un mismo diámetro y es la principal pérdida de presión en la mayoría de los proyectos de conducción del agua.

A continuación se presenta la Ecuación de Hazen–Williams, para calcular la pérdida de presión a lo largo de las tuberías:

$$\begin{aligned}
 V &= 0.355 \times C \times D^{0.63} \times J^{0.54} \\
 Q &= 0.2788 \times C \times D^{2.63} \times J^{0.54} \\
 J &= 6.806 \times \frac{1}{D^{1.17}} \times \left(\frac{V}{C} \right)^{1.852} \\
 J &= 10.646 \times \frac{1}{D^{4.87}} \times \left(\frac{V}{C} \right)^{1.852}
 \end{aligned}$$

Donde:

Q = caudal, m^{3/s}

V = velocidad media, m/s

D = diámetro del tubo, m;

J = Pérdida de carga o presión unitaria, m/m

C = Coeficiente que depende de la naturaleza de la pared interna del tubo (material y estado).

Cuadro 7. Valores del Coeficiente de Hazen Williams (C)

TIPO DE CONDUCTO	C
Acero corrugado	60
Acero galvanizado	125
Tubos de cemento	130 a 140
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, viejo	90 a 100
Plásticos y polietileno (PE)	140 a 145
PVC rígidos	145 a 150

20.2. Pérdida de presión o carga localizada

Siempre que ocurren cambios en la dirección del flujo de agua o en la velocidad, habrá una pérdida de presión localizada, proveniente de la alteración de las condiciones del movimiento, estas pérdidas localizadas se sumarán a las pérdidas debidas a la fricción ($h_{f l}$).

$$H_t = h_{f l} + h_{f loc.}$$

Estas pérdidas son ocasionadas por accesorios como: curvas, registros o válvulas, tees, cambio de dirección, codos, etc.

Esta pérdida se puede calcular por la ecuación:

$$H_{f loc} = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_{f loc}$ = Pérdida de presión o carga localizada, m;

K = Coeficiente del accesorio que causa la pérdida de presión;

V = Velocidad del agua en la tubería, m/s. $V = \frac{Q}{A}$

g = Aceleración de la gravedad: 9.81 m/s²

20.3. Velocidades admitidas en las tuberías

En las tuberías que elevan agua la velocidad del agua dentro de la tubería puede variar de 0.6 a 2.4 m/s, los valores más usados se encuentran entre 1 y 2 m/s.

Cuadro 8. Valores del Coeficiente de Pérdida de Presión localizada (K).

Accesorios que ocasiona la pérdida de presión localizada	K
Ampliación gradual	0.30
Boquillas	2.75
Compuerta abierta	1.00
Controlador de caudal	2.50
Codo de 90 grados	0.90
Codo de 45 grados	0.40
Curva de 90 grados	4.40
Curva de 45 grados	0.20
Curva de 22 ½ grados	0.10
Entrada normal en canal	0.50
Entrada de borda	1.00
Existencia de pequeñas derivaciones	0.03
Unión	0.40
Medidor Venturi	2.50
Reducción gradual	0.15
Registro de ángulo, abierto	5.00
Registro de gaveta, abierto	0.20
Registro de globo, abierto	1.00
Salida del tubo	1.00
Tee, pase directo	0.60
Tee, salida lateral	1.30
Tee, salida bilateral	1.80
Válvula de pie (sapo)	1.75
Válvula de retención	2.50
Velocidad	1.00

20.4. Cálculo de una tubería (ejemplo)

Para un sistema de riego se necesita conducir un caudal de 30 litros/segundo, a una distancia de 2 Km., el tubo será de hierro fundido usado, y en la cual serán instalados una curva de 45 grados, una curva de 90 grados, un registro de gaveta, y una válvula de retención.

Determinar el diámetro de la tubería y la pérdida de presión correspondiente.

Para una tubería de 5" (cinco pulgadas), a velocidad del agua será:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.030 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi \times (0.125)^2}{4}} = 2.445 \text{ m/s} \text{ la velocidad está alta.}$$

Para una tubería de 6" (pulgadas), la velocidad del agua sería:

$$V = \frac{0.030 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi \times (0.150)^2}{4}} = \mathbf{1.698 \text{ m/s}}$$

Esta velocidad está dentro de los límites usuales.

La pérdida de presión para este diámetro será:

1. La pérdida de presión, a lo largo de la tubería, aplicando la ecuación de Hazen-Williams, se obtiene por el cuadro del coeficiente $C = 100$.

$$J = 10.648 \times \frac{1}{(0.15)^{4.87}} \times \left(\frac{0.03}{100} \right)^{1.852} = 0.03275 \text{ m/m.}$$

$$hf_{it} = 2000 \text{ m} \times J$$

$$hf_{it} = \mathbf{65.51 \text{ m}}$$

2. Pérdida de carga o presión localizada:

$$h_{f_{loc}} = K \frac{V^2}{2g}$$

Por el cuadro del coeficiente K se tienen los siguientes valores:

Curva de 45 grados = 0.2

Curva de 90 grados = 0.4

Registro de gaveta = 0.2

Válvula de retención = 2.5

Salida del tubo = 1.0

$$h_{f_{loc}} = \frac{(0.2+0.4+0.2+2.5+1.0) \times 1.698^2}{2 \times 9.81} = 0.63 \text{ m}$$

3. La pérdida de carga o presión total será:

$$H_r = 65.51 + 0.63 = \mathbf{66.14 \text{ m}}$$

Respuesta:

Se puede usar un diámetro del tubo de 6" (pulgadas), con el cual la pérdida de presión será de 66.14 m, y la velocidad media del agua será de 1.698 m/s.

Además del PVC existen tuberías en hierro y aluminio; pero su costo está muy por encima del PVC y su utilización está limitada para aquellas situaciones que aplican, también se puede trabajar con tubería de polietileno y Layflat.



Foto 14. Tubería de polietileno (PE).



Foto 15. Tubería LAYFLAT.

21. ACCESORIOS DE PVC

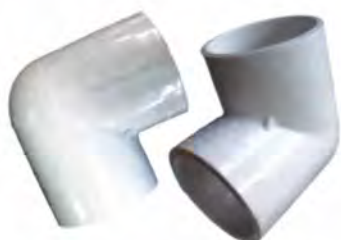


Foto 16.
Codo de
PVC
de 90°

Codos. Se utilizan cuando hay cambios de dirección en la tubería de conducción o para instalar filtros, sistema de fertilización o bombeo. Existen codos de 45 grados y de 90 grados esto indica el grado de inclinación del ángulo del codo.

Son un accesorio que tiene la forma de la letra **T** de allí su nombre, tiene tres orificios para insertar la tubería. Se utilizan para armar las válvulas, filtros o derivar ramales de una línea de conducción.



Foto 17. Tee de PVC.



Foto 18.
Adaptador
hembra PVC,
roscado
por dentro.



Foto 19.
Adaptador
macho PVC,
rosca
por fuera.