

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL EN
NOGAL**

Por:

MISAEEL CRUZ CRUZ

TRABAJO DE OBSERVACIÓN

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre de 2006.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL EN NOGAL

TRABAJO DE OBSERVACIÓN

Por:

MISAEEL CRUZ CRUZ

QUE EXPONGO A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

COMITÉ PARTICULAR

MC. LUÍS EDMUNDO RAMÍREZ RAMOS
ASESOR PRINCIPAL

MC. GREGORIO BRIONES SÁNCHEZ
ASESOR

ING. JOSÉ ENRIQUE MANDUJANO ÁLVAREZ
ASESOR

ING. TOMAS REYNA CEPEDA
ASESOR

DR. JAVIER DE JESÚS CORTES BRACHO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Octubre de 2006.

INDICE DE CONTENIDO

Página

INDICE DE CUADROS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Países productores de nuez.....	3
Situación del nogal en México.....	3
Desarrollo del nogal en Coahuila.....	5
Tendencias y perspectivas de producción.....	5
Origen del nogal.....	7
Clasificación botánica.....	8
Descripción botánica.....	8
Raíz.....	8
Tronco y ramas.....	9
Follaje.....	9
Flores.....	10
Fruto.....	11
Necesidades de agua del nogal pecadero.....	11
Riego.....	13
Balance hídrico.....	14
Evapotranspiración.....	14
Efecto de la evaporación en el desarrollo del fruto.....	16
Métodos para determinar la evapotranspiración.....	17
Penman – Monteith.....	18
Harry F. Blannet y Waine D. Criddle.....	18
Sistema de riego por goteo.....	20
Riego tecnificado.....	21
Sistema de riego por goteo subsuperficial.....	22
Características del sistema.....	23
Ventajas.....	24

Inconvenientes.....	24
Características del gotero.....	25
Manguera con goteros integrados.....	25
Tubería RAM 17 de goteo autocompensada.....	25
Aspectos hidráulicos del emisor.....	26
Evaluación de los microgoteros.....	27
Coeficiente de Uniformidad (<i>CU</i>).....	27
Coeficiente de Variación de manufactura.....	28
Componentes del sistema de riego presurizado.....	29
Fuente de abastecimiento.....	29
Cabezal de control.....	29
Equipo de bombeo.....	29
Unidad de filtración.....	30
Inyector de fertilizantes.....	32
Accesorios del cabezal.....	34
Red de tuberías.....	34
Tubería de conducción.....	34
Tubería principal.....	35
Tubería secundaria.....	35
Tubería lateral.....	35
Emisores o Goteros.....	35
Tubería de drenado.....	35
Equipos de programación, regulación y control de flujo y seguridad.....	35
Programadores.....	35
Elementos de regulación y control de flujo.....	36
Válvulas Reguladores.....	37
Reguladores de caudal.....	38
Reguladores de presión.....	38
Válvulas de seguridad.....	38
Purgadores y ventosas.....	38
Válvulas aliviadoras de presión.....	39

Válvulas de retención.....	39
Válvulas eléctricas.....	39
Válvulas solenoide.....	40
Diseño del sistema de riego.....	40
Necesidades hídricas.....	40
Selección de emisor.....	41
Diseño hidráulico de las secciones de riego.....	41
Calculo hidráulico de la pérdida de carga.....	42
Calculo del gasto del emisor.....	44
Número de emisores de la línea regante.....	45
Longitud máxima de la línea regante.....	46
Calculo del número de mesh.....	46
Diseño de las tuberías de conducción y distribución.....	46
Instalación del sistema de riego.....	47
Operación del sistema.....	50
MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
Características del sitio.....	52
Localización geográfica.....	52
Características climáticas.....	52
Situación actual.....	52
Fuente de abastecimiento.....	53
Diseño del sistema de riego.....	53
Datos de diseño.....	53
Uso consuntivo.....	54
Profundidad de instalación.....	55
Distribución del sistema radical.....	56
Diseño hidráulico para unidad de riego.....	57
Calculo del gasto de emisor.....	57
Calculo de la pérdida de carga permisible en el regante.....	57
Calculo del número máximo de emisores por línea regante.....	58
Longitud de la línea regante.....	59

Calculo del número de mesh.....	59
Calculo hidráulico de la unidad 1.....	59
Calculo de la ruta crítica.....	59
Calculo del gasto de la unidad.....	60
Calculo de la pérdida de carga en la tubería regante RAM 17.....	61
Calculo de la pérdida de carga en la tubería distribuidora.....	61
Calculo de la pérdida de carga en la tubería de conducción.....	62
Calculo de la pérdida de carga locales.....	62
Pérdida de carga hidráulica en el sistema.....	63
Calculo de la carga hidráulica requerida.....	63
Potencia de la bomba.....	64
Materiales.....	65
Instalación del sistema de riego.....	65
Inyección de cintas de riego.....	65
Zanjeo.....	66
Relleno de las zanjas.....	68
Instalación del equipo de filtración.....	68
Componentes y accesorios del sistema.....	68
Tipos de arena y grava.....	71
Calendarización y tempo de riego.....	72
Automatización de los sistemas de riego.....	72
Niveles de Automatización.....	73
Nivel “cero”.....	73
Nivel 1.....	74
Nivel 2.....	74
Nivel 3.....	74
Parámetros de control.....	74
Automatización por tiempo.....	74
Automatización por volúmenes.....	75
Otros parámetros de automatización.....	75
Modo de operación.....	75

Hidráulicos.....	75
Eléctricos y/o electrónicos.....	76
Mixtos.....	76
Automatismo hidráulico.....	76
Válvulas hidráulicas.....	76
Normalmente abiertas.....	76
Normalmente cerradas.....	76
Válvulas volumétricas.....	77
Válvulas multivías.....	77
Niveles de automatismo hidráulico.....	77
Nivel uno.....	77
Nivel dos.....	78
Automatismo electrónico.....	79
Tipos de automatismo electrónico.....	79
I.- Válvulas solenoides.....	79
II.- Programadores de control por tiempo.....	80
III.- Programadores de control por volumen.....	80
Niveles de automatismo electrónico.....	80
Automatismo por microcomputadores.....	81
Fertilización en sistemas automatizados.....	82
Efectos de un leve déficit en riego.....	84
Costos de inversión en riego por goteo.....	84
Mantenimiento a los sistemas de riego por goteo subsuperficiales.....	85
Mantenimiento de los filtros.....	86
Separadores centrífugos.....	86
Filtros de malla y disco.....	87
Filtros de arena.....	87
Lavado de las líneas laterales y los distribuidores.....	88
Inyectando cloro.....	88
Cantidad de inyección de cloro.....	89
Inyectando ácido.....	89

CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	92
RESUMEN.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	95
APENDICE.....	102

INDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Superficie Total de Nuez Pecanero en el Mundo.....	3
Cuadro 2. Producción de Nuez Pecanero para 1995.....	4
Cuadro 3. Estadística del cultivo del Nogal en producción en Coahuila, periodo 1988– 1994.....	6
Cuadro 4. Cultivo del Nogal en Coahuila 1995.....	6
Cuadro 5. Humedad aprovechable para diferentes texturas de suelo.....	15
Cuadro 6. Porcentajes de horas-luz en el día para cada mes y año con relación al número total en un año.....	20
Cuadro 7. Datos Técnicos del Gotero.....	26
Cuadro 8. Datos Técnicos de la Línea de Goteo RAM 17.....	26
Cuadro 9. Clasificación del Coeficiente de Uniformidad (<i>CU</i>), (Fuente: ASAE Standard 1988).....	28
Cuadro 10. Clasificación de los Coeficientes de Variación de Manufactura para Emisores.....	29
Cuadro 11. Coeficiente de salidas múltiples, (<i>CSM</i>).....	43
Cuadro 12. Valores típicos de <i>C</i> usadas en la ecuación de Hazen-Williams.....	44
Cuadro 13. Selección del tamaño de cable para válvulas solenoide.....	49
Cuadro 14. Requerimientos de agua y programación de los tiempos de riego.....	54
Cuadro 15. Los valores “típicos”	56
Cuadro 16. Datos hidráulicos del emisor.....	57
Cuadro 17. Datos de población de árboles y gasto de cada unidad.....	60
Cuadro 18. Perdida de carga en el sistema de la sección I.....	63
Cuadro 19. Carga total requerida en la sección I.....	63
Cuadro 20. Sub-unidades a operar al mismo tiempo.....	64
Cuadro 21. Componentes de un Sistema de Filtros de Grava y Arena...	69
Cuadro 22. Accesorios de un Sistema de Filtros de Grava y Arena.....	69

Cuadro 23. Tamaños promedio de arena, coeficiente de uniformidad y equivalencia en numero Mesh(Boswell,M.,1990).....	71
Cuadro 24. Equivalencia en numero Mesh de diferentes tipos de grava..	71
Cuadro 25. Resumen de sistemas de automatismos.....	83
Cuadro 26. Potencial de taponamiento causado por aguas con diferentes propiedades.....	86

INDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Trazo típico de una estación de bombeo en el que se muestra el equipo de filtración.....	30
Figura 2. Algunos tipos de filtros.....	31
Figura 3. Diferentes sistemas de aplicación de fertilizantes en riego localizado.....	33
Figura 4. Programador de riego RBR-8000.....	36
Figura 5. Diferentes tipos de válvulas.....	37
Figura 6. Dibujo de instalación.....	66
Figura 7. Inyectando la manguera.....	66
Figura 8. Conexión de la manguera de goteo a la línea distribuidora.....	67
Figura 9. Diagrama de Instalación de los Componentes de un sistema de Filtros de grava y arena (vista Frontal).....	70
Figura 10. Diagrama de Instalación de los Componentes de un sistema de Filtros de grava y arena (Vista lateral).....	70
Figura 11. Automatismo secuencial hidráulico.....	79

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico y científico ha permitido crear la infraestructura necesaria para adaptar el riego a las necesidades de los cultivos. El perfeccionamiento de los sistemas de bombeo para dotar el agua a presión, el mejor conocimiento en el consumo del agua, el desarrollo de las técnicas de cultivo y una mejor comprensión del ciclo del agua, han permitido la creación de nuevas técnicas de riego que se han difundido y expandido exitosamente en los últimos 30 años.

Sin embargo una parte importante de los regadíos en México se encuentran en un deficiente estado de conservación, adecuación y nivel tecnológico, debido a la antigüedad de los sistemas, en los que no ha existido mantenimiento. Se estima que los regadíos en México requieren obras de mejora, rehabilitación y modernización de la infraestructura.

En muchas zonas de México la agricultura de secano es considerada como una actividad de bajo ingreso por unidad de superficie para los agricultores, por lo que tradicionalmente la agricultura de regadío es una de las mejores alternativas posibles para el desarrollo de zonas rurales.

Hoy en día, la agricultura de riego genera una producción final muy superior al del resto de los sistemas agrícolas aún cuando la superficie a regar es muy inferior, esto se debe al uso de las nuevas tecnologías como lo es el automatismo, ya que ofrece las siguientes alternativas:

Ahorro de agua.

Ahorro de energía.

Ahorro de mano de obra.

Mayor uniformidad en la distribución del agua.

Mayor versatilidad y flexibilidad.

Para que un sistema de riego automático funcione adecuadamente debe estar compuesto por varios elementos que deben ser calculados y dimensionados correctamente, estos son:

Aparatos de riego (aspersores, difusores, goteo, burbugeadores, entre otros).

Válvulas automáticas.

Programador.

Tubería de alimentación y distribución.

Equipo de bombeo.

OBJETIVO

- Diseñar el sistema de riego por goteo subsuperficial para la huerta de nogal.
- Obtener relación de materiales del sistema de riego por goteo subsuperficial.
- Utilizar los materiales donados por la empresa NETAFIM, para el sistema de riego que se propone establecer en la Huerta de Nogal
- Mejorar la infraestructura hidráulica actual de la huerta.
- Eficientar el uso y aplicación del agua destinada para riego.

REVISIÓN DE LITERATURA

Países productores de nuez

De los países productores de nuez en el mundo, Estados Unidos ocupa el primer lugar, con una producción de 111,358 toneladas que representan el 76.4% del total Mundial. México ocupa el segundo lugar con 27,900 toneladas que equivale al 19.1%; y Australia, Sudáfrica y Brasil producen el 3.8%.

Cuadro 1. Superficie Total de Nuez Pecanero en el Mundo

País	Superficie Plantada (Ha)	Producción (Ton)	Total (%)
E. U. A.	182,909	111,358	76.4
México	42,000	27,900	19.1
Australia	728	2,039	1.4
Sudáfrica	2,499	1,995	1.4
Brasil	736	1,379	1.0
Israel	809	995	0.6
Egipto	202	112	0.1
Total	229,883	145,778	100

Fuente: Citado por el Departamento de Agricultura de E.U.A. y S.A.R.H.

Situación del nogal en México

La primera comercial de nogal pecanero se estableció en el Estado de Nuevo León en el año de 1902. Sin embargo en la década de los 60's se alcanzó un impresionante incremento en la superficie cultivada con nogal mediante el establecimiento de variedades mejoradas.

En 1995 se registró en el país una superficie establecida en producción de 53,593 has, sobresaliendo en primer lugar el Estado de Chihuahua con 27,800 has que representan el 51.87% del total. Otros Estados productores como son Coahuila, Nuevo León, Sonora y Durango cuentan con el 42.16% de la superficie.

En menor importancia se ubican Hidalgo, Jalisco, Guanajuato, San Luís Potosí, Estado de México, Oaxaca, Querétaro y Tamaulipas.

Cuadro 2. Producción de Nuez Pecanero para 1995

Estado	Superficie Plantada (Ha)	Producción (Ton)	Total (%)
Chihuahua	27,800	6,800	51.87
Coahuila	8,692	3,000	16.22
Nuevo León	6,100	1,600	11.38
Sonora	4,300	1,800	8.02
Durango	3,500	960	6.54
Hidalgo	902	400	1.69
Jalisco	600	105	1.12
Guanajuato	482	90	0.90
San Luís Potosí	611	90	1.14
Edo. de México	197	50	0.37
Oaxaca	147	20	0.27
Querétaro	142	30	0.26
Tamaulipas	120	20	0.22
Total	53,593	14,985	100

Desarrollo del nogal en Coahuila

Coahuila se ubica como uno de los principales estados productores de nuez en el país, ocupando el segundo lugar.

En el Estado se distinguen claramente cuatro zonas productoras de nogal la primera de ellas, la constituye la Región Norte-Carbonifera que en conjunto suma una superficie de 2,474 has, representada en gran proporción por las nogaleras establecidas en las vegas de los ríos Sabinas, San Diego, San Rodrigo y Álamos, entre otros.

La segunda Región es la Centro, que cuenta con 841 has; la Región Sureste es la de mayor importancia con 3,072 has, y finalmente la Región Laguna que tiene 2,451 has dedicadas a este cultivo.

Tendencias y perspectivas de producción

El análisis de 6 años agrícolas (1988 – 1994) (Cuadro 3), muestran que en año de 1988 se tuvo un nivel de producción de 5,255 toneladas, aumentando a 9,804 toneladas en 1992, es decir, un incremento del 86.5%. Se observa también que la superficie establecida en producción aumentó en ese mismo periodo de 7,265 a 9,088 has representando un incremento del 25%, es decir 1,823 has.

Cuadro 3. Estadística del cultivo del Nogal en producción en Coahuila, periodo 1988 – 1994.

Año	Superficie Plantada (Ha)	Producción (Ton)	Valor de la Producción
1988	7,265	5,255	20,569.23
1989	7,095	6,396	27,155.30
1990	10,080	6,879	36,083.34
1991	10,535	7,266	59,040.36
1992	9,088	9,804	68,453.83
1993	7,931	6,114	38,423.40
1994	8,801	7,980	48,993.35

Fuente: SAGAR, Delegación Coahuila y Laguna.

Para 1995 se estimó que la superficie sería de 8,692 has en producción, esperando obtener un volumen de 9,483 toneladas, siendo las regiones que mayor volumen aportarían la Sureste, y Norte Carbonífera.

Cuadro 4. Cultivo del Nogal en Coahuila 1995.

Región	Superficie Plantada (Ha)	Producción (Ton)
Norte	2,431	3,121
Centro	668	873
Sureste	3,072	3,220
Laguna	2,521	2,269
Total	8,692	9,483

Fuente: SAGAR, Delegación Coahuila y Laguna.

En la Región Sureste el principal productor es el municipio de Parras de la Fuente donde predominan tipos criollos seleccionados como el *Fructuoso* y en menor proporción variedades mejoradas como la *Western* y *Wichita*, (Citado

por el Gobierno de del Estado de Coahuila y la Secretaría de Fomento Agropecuario 1996).

Origen del nogal

La nuez pecanera es originaria del Norte de América, de la región del Mississippi, su importancia radica no sólo por el papel que juega en la cocina mexicana, sino por su peso económico que presenta en el norte del país al ser generadora de divisas.

La nuez en nuestro país ha seguido un camino bastante interesante, ya que a pesar de presentar un decremento durante los últimos años en relación a la superficie sembrada, en lo que respecta a su superficie cosechada, rendimiento y producción ha tenido incrementos notables.

La producción de nuez es prácticamente una actividad de la región norte del país, concentrándose en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Nuevo León y Durango que contribuyen con el 95% de las áreas sembradas y el 90% en la producción. Sin embargo en los últimos años algunas entidades del centro del país, sobresalen principalmente por sus altos rendimientos en zonas de riego como de temporal, lo que indican experiencias interesantes que tendrían que tomarse en cuenta.

Clasificación botánica

La clasificación botánica del nogal, es la siguiente:

Reino__Vegetal.

División__Espermatofitas.

Sub.-División__Angiosperma.

Clase__Dicotiledóneas.

Familia__Juglandaceae.

Genero__Carya Illinoensis.

Especie__Juglans regia (nogal europeo), Juglans cinerea (nogal ceniciento), Juglans nigra (nogal negro), juglans californica (nogal de California) Carya Illinoensis, regia, gordiformis, lacinosus, Ovalis, glabra.

Descripción botánica

Raíz

El sistema radicular tiene gran desarrollo, es muy profundo y se extiende horizontal y verticalmente de forma extraordinaria.

La raíz pivotante. Desde el primer año, la raíz principal puede alcanzar 50 a 80 cm., para continuar creciendo hasta 3, 4 ó 5 m si el suelo se lo permite.

En suelos de textura franca, bien drenados, puede llegar a 4 m de profundidad, aunque lo normal es que no sobrepase 2 m. Al menos el 75% del sistema radicular está en el primer metro de perfil del suelo.

Las raíces se extienden horizontalmente, más allá de lo que delimita la proyección de la copa y en algunos casos puede llegar a 20 m de distancia del tronco.

Tronco y Ramas

El tronco, que es grueso, tiene la corteza lisa de color gris plateado cuando es joven y va agrietándose y adquiriendo tonos marrones con la edad. El interior de la madera va tomando tonalidades coloreadas según el árbol va envejeciendo. Estas tonalidades marrones, veteadas de negro, proporcionan un gran valor a la madera, si bien esto no se consigue hasta los 60 – 80 años de vida del árbol periodo que se acortan a la mitad, utilizando técnicas de cultivo intensivas, en detrimento de la calidad de la madera.

La altura del tronco queda determinada en la poda de formación. Los árboles frutales cultivados tienen un tronco corto, pero adecuadamente formados para la producción de madera, el tronco recto y limpio puede llegar a alcanzar de 8 a 10 m de altura y hasta 4 m de circunferencia.

Las ramas: Las principales son el ramo mixto y la brindilla coronada.

Follaje

Las hojas son grandes, compuestas, imparipinada, caducas y estipuladas. Tienen de 7 a 9 folíolos glabros, no dentados o muy poco dentado, a diferencia del resto de los nogales (negros y grises), que tienen de 9 a 25

foliolos dentados. En general tienen de 25 a 35 cm de longitud. Las hojas son pecioladas, aunque los foliolos son sentados o casi sentados.

Los foliolos tienen forma entre oval y lanceolada. Están dispuestos de forma opuesta o casi opuesta. Cuando son jóvenes tienen un color rojo parduzco y son muy tiernas. A medida que van creciendo se van endureciendo y tomando tonalidades francamente verdes, más oscuro por el haz que por el envés. En el envés, se presentan unas nerviaciones muy marcadas, de coloración blanco verdosa.

Flores

Las flores masculinas o estaminadas están dispuestas en unas inflorescencias alargadas y cilíndricas de 8 a 10 cm. de longitud, conocidas como amentos, desarrollados lateralmente en brotes del año anterior. Cada amento puede contener un centenar de flores.

Las flores individuales son apétalas, tienen un cáliz formado por 5 a 6 sépalos verdes y pueden llegar hasta 40 estambres. En la madurez las anteras liberan cientos de granos microscópicos de polen. De esta forma, cada flor estaminada puede liberar hasta dos millones de granos de polen.

El grano de polen tiene una pared externa estrecha y altamente resistente, perforada por numerosos poros o aperturas de germinación.

Las flores femeninas o postiladas, generalmente se presentan en parejas, aunque pueden ser solitarias o agrupadas. Se desarrollan en los extremos de los brotes nuevos desarrollados en ramas del año anterior. En otras variedades también se forman en el extremo de brotes laterales.

La parte exterior de la flor está compuesta por el involucre, las brácteas y cuatro sépalos. Todos ellos formarán en la madurez el pericarpio de la nuez. La parte externa del involucre está formada por una sustancia pegajosa de naturaleza resinosa, segregada por glándulas pilosas superficiales.

Fruto

El fruto del nogal es una drupa globosa indehiscente, a veces en punta en su zona pistilar.

El pericarpio es la parte exterior del fruto, compuesta por mesocarpio y exocarpio. Es dehiscente, abriéndose poco después de adquirida la madurez en la semilla.

El endocarpio o ruezno es una capa rugosa y leñosa debido a su contenido en lignina. Está formada por dos valvas simétricas, unidas por la línea de sutura. En su interior hay cuatro tabiques membranosos, dos muy desarrollados y otros de más o menos perceptibles, que separan las cuatro partes de las semillas o escueznos. Tienen un espesor variable de 1 a 2.5 mm. Forma variable según las variedades.

Necesidades de agua del nogal pecanero

La necesidad de agua se basa principalmente en la evapotranspiración. Los nogales requieren de humedad en el suelo durante todo el año, siendo las etapas más críticas durante el amarre y llenado de las nueces. A pesar de las bajas demandas los nogales se riegan una vez en postcosecha y una ocasión en prebrotación. Los requerimientos son mayores durante el verano y alcanzan sus valores mínimos durante el invierno. Durante la brotación las plantas pueden requerir de 145 litros diarios por árbol, mientras que en el verano son necesarios de 680 litros por árbol en huertas adultas.

Para esto es necesario conocer las necesidades de un cultivo, en una época determinada durante el ciclo, la edad de las plantas y las características de almacenaje de humedad del suelo.

En el mes de abril árboles adultos, en plena producción consumen de 120 a 135 litros de agua diariamente. Las tasas máximas de demanda se tienen en el mes de julio, cuando se consumen diariamente alrededor de 670 litros de agua. Normalmente el último riego previo a la cosecha se realiza en la tercera o cuarta semana del mes de septiembre, para realizar la cosecha desde el inicio del mes de octubre. Posteriormente a la cosecha se aplica otro riego. Este riego tiene como objetivo mantener activas a las raíces, y satisface las necesidades de humedad por parte del árbol durante el invierno. Este riego generalmente se acompaña de fertilizantes. En general se ha observado que el aplicar el riego y fertilización de postcosecha, reduce los niveles de alternancia, ya que permite al árbol elaborar reservas para la brotación del próximo año.

Durante los meses de prebrotación y postcosecha las demandas por agua son más bajas durante el año. En este periodo se requieren alrededor de 50 litros de agua por día.

Los requerimientos de agua para producir un kilogramo de cosecha es uno de los más altos entre los frutales. El nogal pecadero es una planta que requiere 7,500 litros para producir un kilogramo de nuez (Valdez y Núñez, 1991).

Debido a que en el riego por goteo se dosifica el agua y nutrimentos de acuerdo con la demanda de la planta, la disponibilidad de éstos es adecuada, lo que permite que la fotosíntesis neta sea alta, lo cual se refleja en incrementos en el rendimiento y calidad del cultivo (Camp, 1998).

Riego

El objetivo del programa de riego es de satisfacer las necesidades de agua por parte de la planta sin que sufra, para alcanzar los máximos rendimientos, calidad y rentabilidad de un cultivo. En el caso del nogal pecadero, la humedad aprovechable del suelo no deberá abatirse más allá del 50 % (Valdez y Núñez, 1991).

Los factores que se manejan para proveer a los cultivos el agua su desarrollo óptimo son: la energía, agua, labores culturales y sistematización, existiendo una estrecha dependencia entre estos, es decir, al disminuir un factor, aumenta la necesidad de los otros. La solución a adaptar será la que tenga una combinación de recursos con un resultado económico óptimo, de acuerdo a las condiciones que vengán impuestas por la realidad existente.

La lámina de riego se expresa en el contenido de humedad en un determinado momento y puede expresarse de la manera siguiente:

$$Lr = (\theta_{cc} - \theta_{actual})Pr$$

Donde:

Lr = Lámina de riego, cm.

θ_{cc} = Contenido de humedad volumétrica a capacidad de campo.

θ_{actual} = Contenido de humedad volumétrica inicial.

Pr = Profundidad de raíces, cm.

La cantidad neta de agua entregada al sistema durante cada riego, varía con las condiciones climáticas y según la estrategia de riego. Sin embargo para efectos de diseño se utiliza la demanda máxima para determinar la capacidad que debe tener el sistema. Es decir, el sistema debe ser capaz de entregar un caudal igual a la demanda máxima.

Balance hídrico

Es la expresión de la Ley de Continuidad o Conservación de la Materia, que indica que la diferencia entre las entradas menos las salidas de agua a un volumen dado de suelo, durante un cierto intervalo de tiempo, deber ser igual al cambio de almacenamiento en el volumen considerado. Se pueden realizar muchos tipos de balance, según se delimite el volumen de suelo de interés, también se pueden definir intervalos de tiempo según el propósito concreto de estudio (Palacios *et al.* 1993).

Evapotranspiración

El concepto de evapotranspiración, de acuerdo a lo señalado por Israelsen y Hansen (1975), engloba a los siguientes términos:

Transpiración, el agua que ingresa a través de las raíces de las plantas es utilizada en la construcción de tejidos o emitida por las hojas y reintegrada a la atmósfera.

Evaporación, es el agua evaporada por el terreno adyacente, por la superficie del agua o la superficie de las hojas de las plantas.

Se citan evidencias que sugieren que los árboles de nogal transpiran durante la noche (Miyamoto, 1983).

Un nogal adulto con el 70 % de cobertura puede transpirar hasta 680 litros diarios durante el verano (Hanna, 1988a).

El cultivo inmediatamente después de un riego, está en condiciones de evaporar tanta agua como sea posible dependiendo de la cantidad de energía disponible. En este caso se obtiene un valor de evapotranspiración potencial.

Cuando el agua de un suelo disminuye a un nivel dado, se desencadena el proceso que determina el cierre de las estomas. El proceso de evapotranspiración está limitado por el abastecimiento de agua y los valores obtenidos corresponden a evapotranspiración actual.

Entre los factores que afectan la evapotranspiración se encuentran los factores climáticos, la disponibilidad de agua en el suelo, el sistema radicular del cultivo, el índice de área foliar y los factores del cultivo. Estos últimos consisten en una serie de prácticas íntimamente relacionadas con el manejo. Entre ellas cabe mencionar el tipo cultivo, manejo de aguas freáticas, acolchado, sombreado, fertilidad del suelo, aspecto nutricional y sanitario de la planta (Miller, 1993).

Las texturas de suelo tienen diferentes niveles de almacenamiento de humedad aprovechable (Hanna, 1988b). Las texturas pesadas retienen de 16 a 17 cm de agua por cada metro de profundidad del suelo, mientras que los arenosos y franco arenosas, solo retienen de 5 a 9.3 cm (Cuadro 5).

Cuadro 5. Humedad aprovechable para diferentes texturas de suelo.

Textura	Humedad aprovechable (HA) (cm/m suelo)
Arenosa	5.0
Franco-Arenosa	9.3
Franco	12.7
Franco-Limosa	15.0
Franco-Arcilla	16.0
Arcilla	17.0

Efecto de la evaporación en el desarrollo del fruto

Godoy (1986) menciona que se ha encontrado que desde el inicio del crecimiento de la nuez (mayo) hasta el inicio del estado acuoso (julio) tanto la longitud como el ancho del fruto no son afectados si los árboles son regados con el 40 % de la evaporación registrada en el tanque evaporímetro.

Durante la siguiente fase considerada entre el estado acuoso y el inicio en el endurecimiento de la cáscara (primera semana de agosto) se ha encontrado que el por ciento de la evaporación que deberá ser repuesto a través del riego deberá ser de un 60 %.

Desde el endurecimiento de la cáscara al inicio de la maduración del fruto (tercera semana de septiembre) se ha encontrado que el por ciento de la evaporación que deberá ser repuesto, debe ser del 80 al 100 %, debido a que la presencia de cualquier deficiencia de agua reduce significativamente el peso seco final de la nuez. Esto significa que durante esta última fase, el fruto requiere de un suministro alto de agua debido a que durante este periodo el crecimiento del fruto tiene lugar la acumulación más fuerte de peso de la nuez.

Godoy (1978) menciona que se ha encontrado que bajo las condiciones regionales, para poder obtener calidad de nuez, el volumen de agua por aplicar en litros por día, deberá de ser de 50-80 desde el inicio del crecimiento de la nuez al inicio del estado acuoso; de 100-120 desde el estado acuoso al endurecimiento de la cáscara y de 120-140 desde el endurecimiento de la cáscara hasta el inicio de la maduración de la nuez. Debe quedar claro, que estos volúmenes serán diferentes de año a año debido a las condiciones ambientales que son cambiantes (temperatura, evaporación, humedad relativa, etc.) así como el tamaño del árbol.

El manejar la huerta de nogal con los niveles de la evaporación ya mencionados en las diferentes fases de desarrollo garantiza que los niveles de producción y calidad de fruto a través de los años sean adecuados. Así también, es necesario enfatizar que es necesario un equilibrio ya que cuando se manejan niveles altos de agua se presentan porcentajes altos de nueces verdes (no maduros), mientras que cuando se manejan niveles bajos de agua las nueces muestran el ruezno pegado, dificultándose descascararlas.

Métodos para determinar la evapotranspiración

En la actualidad existe una gran cantidad de métodos indirectos que permiten estimar la evapotranspiración a partir de variables meteorológicas (López *et al.*, 1991). Dichos métodos involucran el empleo de ecuaciones empíricas, las cuales requieren de información climatológica fácil de conseguir y por lo tanto, tienen gran utilidad en la planeación agrícola.

Actualmente, los avances tecnológicos en la construcción de estaciones automatizadas para el registro y almacenamiento de datos, en conjunto con el manejo de sistemas de computación para la programación del riego en tiempo, cada vez son más comunes. Los métodos meteorológicos estiman la evapotranspiración en contos intervalos de tiempo (menores de 30 minutos), por lo que permiten estimar este parámetro en tiempo real (Rosenberg, 1974). Dentro de estos métodos se encuentran los que se basan en el Balance de energía, como el método de la Relación de Bowen; dentro de los Aerodinámicos podemos mencionar los que se basan en el transporte de masa como es el caso del método de Thornthwaite-Holzman, Aerodinámicos, propiamente dicho los métodos de correlación de transporte turbulento y, finalmente, los mixtos que consideran tanto el Balance de energía como el componente Aerodinámico; entre éstos e pueden mencionar los métodos de Penman, Van Bavel y los que involucran, además, la resistencia de la planta al transporte de vapor de agua, como es el caso del método de Penman-Monteith.

Penman – Monteith

Allen y Jensen (1997), consideraron en la estructura de la ecuación el balance de energía, el término aerodinámico y la resistencia de la planta al transporte del vapor de agua. Se recomienda este método cuando se dispone de información sobre: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. El método también puede ajustarse a las características físicas de una estación meteorológica local.

Harry F. Blannney y Waine D. Criddle

Estos autores establecieron una formula aplicada en las condiciones del Oeste de los Estados Unidos de América, en la que hacen intervenir la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz por mes con respecto al total anual. Y su formula es:

$$U = K * F$$

Donde:

U = Es el uso consuntivo mensual, cm.

K = Es el factor de cultivo, que depende del tipo de cultivo y de la ubicación de la zona de estudio

F = Es la sumatoria desde que i es igual a 1 hasta n de f, donde f es igual a:

$$F = \left(\frac{t + 17.8}{21.8} \right)^p$$

Donde:

p = Porcentaje de horas luz del mes, con respecto al total anual.

t = Temperatura media mensual en °C.

En virtud de que esta fórmula daba valores muy elevados, por haber sido deducida a una región desértica, Phelan (1948), citado por Aguilera y Martínez (1996), introdujo una corrección por temperatura “ K_t ” que se calcula como sigue:

$$K_t = 0.031144t + 0.2396$$

Donde:

t = Temperatura media mensual en °C.

Considerando que la expresión general de Blanney y Criddle sólo permite obtener valores de uso consuntivo en periodos no menores de 30 días y en virtud de que “K” es la constante que varia en función del desarrollo del cultivo, se han obtenido curvas de variación de K_c en función precisamente del desarrollo del cultivo; por lo cual el factor K se transforma en K_c ; y por lo tanto la expresión final de la formula tal como se usa actualmente es la siguiente:

$$U. C. = K_c K_t F$$

Para poder aplicar esta fórmula, es necesario tener las curvas de coeficiente de desarrollo “ K_c ” para cada cultivo, las cuales deben obtenerse para cada lugar y para cada lugar y para cada cultivo ó para lugares similares.

Cuadro 6. Porcentajes de horas-luz en el día para cada mes y año con relación al número total en un año.

LATITUD N	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
15°	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16°	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17°	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18°	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	8.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19°	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20°	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21°	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22°	7.66	7.21	8.40	8.56	9.92	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23°	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25°	7.53	7.13	8.39	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41
26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35
27°	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28°	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29°	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31°	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95'	7.15	7.09
32°	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05

Fuente: Blaney, H. F. y W. D. Criddle. S. C. S. – P – 96. USDA Soil Conservation Service

Sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo es un sistema de riego mecanizado a presión, que permite aplicar agua gota a gota sobre la superficie del suelo en el que se desarrolla el sistema radicular de la planta, produciendo un humedecimiento limitado y localizado. El agua se vierte en pequeños volúmenes por unidad de tiempo y a baja presión mediante emisores o goteros insertados en una tubería lateral de distribución, los cuales son absorbidos por las raíces de la planta, aprovechándose prácticamente en su totalidad.

El riego por goteo supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá, por tanto, a una mejor productividad. Comporta un cambio profundo dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá también en

las prácticas culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de producción agrícola (Medina, 2000).

Hartz (1995). Menciona que el riego por goteo ofrece el potencial para el manejo preciso del agua. También proporciona el vehículo ideal para liberar los nutrientes de una manera eficiente en el uso del agua y nutrientes, mientras se maximiza la productividad del cultivo requiere de un manejo intensivo.

Por su parte Hagin y Lowebergart (1996), también Hargreaves y Samani (1991), comentan que el riego por goteo es, quizá el método más efectivo para la aplicación del agua ya que genera un sistema radical limitado, que demanda nutrientes frecuentemente, lo que puede ser satisfecho con la aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego.

Riego tecnificado

El riego es un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos, de forma que ésta pueda ser utilizada al máximo (Medina 1997).

Israelsen y Hansen (1975), indican, que la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al suelo con los siguientes objetivos:

- Proporcionar humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Refrigerar el suelo y la atmósfera, para así mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- Disolver sales contenidas en el suelo.

En el riego tecnificado se distinguen dos tipos de riego. La aspersion es una técnica de riego en donde el agua se aplica en forma de lluvia por medio de aparatos implementados para agua a alta presión (Fuentes, 1998) y el riego localizado, denominado internacionalmente microirrigación, que es la aplicación del agua al suelo, en una zona más o menos restringida del volumen radicular (bulbo húmedo) (López et al. 1992).

Sistema de riego por goteo subsuperficial

Hacia la segunda mitad del la década de 1980 llamó la atención un nuevo tipo de sistema de goteo para cultivos anuales, Howard Wuertz y Scout Tollefson de Sundance Faros en Coolidge, Arizona, fueron los pioneros en el desarrollo de técnicas y equipo de cultivo para sistemas de goteo en cultivos anuales “enterrados permanentemente”, hoy a menudo conocidos como “riego por goteo subsuperficial”, sistemas “RGS”.

El sistema de riego por goteo subsuperficial conserva el agua e incrementa significativamente la producción y calidad de los cultivos (Camp, 1998).

El uso del sistema de riego por goteo subsuperficial evita la saturación del suelo después de la aplicación de un riego por inundación, y el estrés de humedad en el cultivo antes de la aplicación del siguiente. Estas dos situaciones, que son comunes cuando los cultivos se riegan con el método superficial, ocasionan el cierre de estomas, los cuales se encargan de regular el intercambio de vapor de agua (transpiración), CO₂ (asimilación de CO₂) y oxígeno (Clark y Smaistra, 1996).

Phene (1999), señala que es uno de los métodos más sofisticados y más eficientes, disponibles para irrigar cultivos agrícolas, jardinería y campos de golf. Una de las principales ventajas, mencionadas por el autor es que el patrón esférico de mojado de un suelo arcillo-limoso es aproximadamente 46 % más

grande en el sistema de riego por goteo subsuperficial que el patrón de mojado semiesférico que se obtiene en un sistema de riego por goteo superficial. Además cita que en experimentos anteriores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), se ha demostrado la potencialidad para altos rendimientos y sustentabilidad de varios cultivos en hileras manejados por los sistemas de RGS.

González et al (1997b), señalan que este sistema ha sido ampliamente adoptado en regiones con suelos de alta infiltración y poca capacidad de retención del agua, aduce que esta baja capacidad de almacenamiento de agua implica que la mayoría de los requerimientos hídricos de los cultivos deberán ser provistos con riegos frecuentes, donde el agua se mueve rápidamente a través de los suelos con alta permeabilidad creando un gran potencial para el movimiento al agua del subsuelo.

Características del sistema

El riego por goteo subsuperficial, como su nombre lo indica, consiste en colocar el lateral de riego, es decir, el tubo o cinta de polietileno en el que se encuentran los goteros integrados, bajo la superficie del terreno a una determinada profundidad, entre 5 y 50 cm. dependiendo de las características del cultivo y de las características del suelo.

Actualmente disponemos en el mercado de goteros y tuberías con gotero integrado con calidad suficiente para garantizar su funcionamiento correcto y fiable en cualquier circunstancia. Los goteros autocompensados permiten obtener una mayor uniformidad de riego.

El sistema debe ser adaptado y diseñado según las características propias del cultivo y el lugar donde se va a desarrollar. Teniendo en cuenta también aspectos como la mecanización y otros.

Ventajas

- Mayor duración del lateral, por estar protegido de la radiación solar y cambios en las condiciones ambientales como temperatura y humedad.
- Menor exposición a roturas provocadas por labores culturales como desmalezadas, cosecha, poda, etc.
- Mayor humedecimiento del suelo y mejor distribución de la humedad.
- Aplicación de agua y nutrientes directamente al sistema radical, especialmente importante en la aplicación de fertilizantes con escasa movilidad.
- Mayor posibilidad de utilizar aguas residuales en determinados cultivos, ya que debido al especial diseño de su gotero autocompensante asegura una constante y automática limpieza del mismo.
- Mayor protección del equipo de riego contra el vandalismo y animales.
- Mejor utilización del agua de riego y una menor incidencia de enfermedades, por mantener la parte superior del suelo seco.
- Permite el riego en zonas que no pudieron ser cultivadas antes, debido a condiciones topográficas difíciles.
- Posibilidad de trabajo en un amplio rango de presiones, manteniendo el caudal uniforme de 5 a 40 mca.
- Gran uniformidad en la distribución del agua.

Inconvenientes

- Posible obstrucción de goteros por penetración de raíces en los orificios de salida del agua. Para evitar este problema, se puede aplicar una o dos veces al año Treflan (0,25 cc/gotero) o utilizar tubos

de polietileno que contienen este producto y que es liberado lentamente.

- Mayor posibilidad de penetración de partículas del suelo al interior del gotero, debido al vacío que se crea al final de cada riego. Este problema generalmente se soluciona instalando válvulas de aire en la unidad o subunidad de riego.
- Mayores costos por mayor necesidad de filtrado, utilización de válvulas antisucción en las subunidades de riego y un mayor costo de instalación por ubicar el lateral por debajo de la superficie del terreno.
- Mayor dificultad para detectar y corregir una posible pérdida u obstrucción en el lateral de riego.

Características del gotero

Manguera con goteros integrados

Son tuberías que alimentan a los emisores, generalmente estas son de polietileno, las cuales tienen los goteros integrados, presenta una amplia variación de distancias entre goteros.

Tubería RAM 17 de goteo autocompensada

Es una manguera de polietileno la cual tiene el gotero integrado a 1 m entre cada emisor. El mecanismo de autorregulación del gotero RAM asegura el mantenimiento de un caudal uniforme en toda la longitud del lateral, hasta 800 m.

Aspectos hidráulicos del emisor

Cuadro 7. Datos Técnicos del Gotero.

Caudal Nominal (l/h.)	Rango de Presión (bar.)	Dimensiones de los pasajes de agua Ancho-Profundidad-Largo (mm.)	Área de Filtrado (mm ²)	Constante K	Exponente* X
3.5	0.5-4.0	1.55 x 1.05 x 22	10	3.5	0

* Dentro del rango de presión de trabajo

Cuadro 8. Datos Técnicos de la Línea de Goteo RAM 17.

Modelo	Diámetro Interno (mm.)	Grosor de La Pared (mm.)	Diámetro Externo (mm.)	Presión Máxima de Trabajo (bar)	KD
17012	14.60	1.20	17.00	4.0	1.00

Fuente: <http://www.netafim.com.ar/494/#>

Quando no se tienen o para comprobar los coeficientes de la manguera **K** y **X**, se pueden calcularse en función de únicamente dos parejas de datos carga-gasto cualesquiera [(h_1 , q_1) y (h_2 , q_2)], preferentemente los dos pares de valores extremos (h_1 , q_1)_{min} y (h_2 , q_2)_{máx} que se hayan obtenido experimentalmente, por medio de la ecuación:

$$X = \frac{\ln(q_2/q_1)}{\ln(h_2/h_1)}$$

$$K = \frac{q_2}{(h_2)^x}$$

Donde:

k = Coeficiente de descarga, lph.

x = Exponente de descarga, adimensional.

q₁ = Gasto del primer emisor de la línea regante, lph.

q_2 = Gasto del último emisor de la línea regante, lph.

h_1 = Presión del primer emisor, mca.

h_2 = Presión del último emisor, mca.

Evaluación de los microgoteros

Coeficiente de Uniformidad (CU)

El coeficiente de uniformidad (*CU*) es una expresión matemática que indica la variación de agua recibida por el cultivo. Las variaciones son atribuidas a variabilidad de descarga de los emisores, variabilidad de presión dentro de la red, taponamiento por residuos orgánicos, presencia de material fino en las laterales y utilización de diferentes tipos de emisores dentro de una sub-unidad de riego.

Es imposible pretender que todas las plantas reciban exactamente la misma cantidad de agua, pero si es necesario poner ciertos límites a dicha variabilidad con el objetivo de obtener buenos rendimientos y calidad de productos con un mínimo de agua y fertilizantes. ASAE propone la siguiente fórmula:

$$CU = \frac{S_q}{\bar{q}} * 100$$

Donde:

CU = Coeficiente de uniformidad (%).

S_q = Desviación estándar del caudal de los emisores.

\bar{q} = Caudal promedio, lph.

Criterios para determinar la calidad en la uniformidad de descarga de los equipos, aparecen en el cuadro siguiente:

Cuadro 9. Clasificación del Coeficiente de Uniformidad (*CU*), (Fuente: ASAE Standard 1988).

Clasificación	Coeficiente de Uniformidad (<i>CU</i>)
Excelente	100 – 95
Buena	95 – 85
Regular	80 – 75
Pobre	70 – 65
Inaceptable	< 60

Coeficiente de Variación de manufactura

El coeficiente de manufactura para el emisor “v”, es utilizado como una medida o parámetro de las variaciones esperadas en la descarga para una muestra de emisores nuevos. El valor del coeficiente “v” deberá ser proporcionado por el fabricante, sin embargo, este puede ser determinado a partir de los datos de descarga para una muestra seleccionada de emisores operados a presión de referencia.

Las pequeñas diferencias entre lo que parecen ser emisores idénticos pueden causar variaciones significativas en descarga. Esto debido a que las dimensiones críticas del pasaje de flujo del emisor son pequeñas y difíciles de fabricar con alto control de calidad. El coeficiente “v” es calculado mediante la siguiente expresión:

$$v = \frac{Sd}{\overline{qa}}$$

Donde:

v = Es el coeficiente de manufactura para una muestra de emisores.

\overline{qa} = Descarga promedio nominal para el emisor basado en la media aritmética de la muestra, lph.

Sd = Desviación estándar de las descargas nominales en la población, lph.

Cuadro 10. Clasificación de los Coeficientes de Variación de Manufactura para Emisores.

Clasificación (control de calidad)	Emisores (goteros y rociadores)	Tubería de goteo integrado
Excelente	$v < 0.05$	$v < 0.10$
Bueno	0.05 – 0.07	0.10 – 0.20
Marginal	0.07 – 0.11	
Pobre	0.11 – 0.15	0.20 – 0.30
Inaceptable	$v > 0.15$	> 0.30

Componentes del sistema de riego presurizado

Fuente de abastecimiento. Es aquella parte que suministra el agua para riego, esta puede provenir de un pozo profundo, río, estanque, canal entre otros, que será utilizada en el riego de una determinada área.

Cabezal de control. El cabezal de control o del sistema consiste en una serie de dispositivos para entregar a la red hidráulica agua presurizada, de calidad adecuada, en el momento oportuno y en la cantidad requerida (Holzapfel). El cabezal de control se compone, en general de:

- Equipo de bombeo
- Unidad de filtración
- Inyector de fertilizantes
- Accesorios del cabezal

Equipo de Bombeo. La función principal de la bomba es proporcionar el gasto y la presión necesaria para que el sistema de riego funcione adecuadamente. Los equipos de bombeo tienen la característica funcional que dentro de ciertos límites de operación, al variar la carga hidráulica varía el

caudal o gasto, a mayor carga de operación menor gasto y viceversa. Las características de funcionamiento de las bombas se observan en las “curvas características” donde se relaciona: la carga, % de eficiencia, velocidad específica y la potencia, estas características son entregadas por el fabricante.

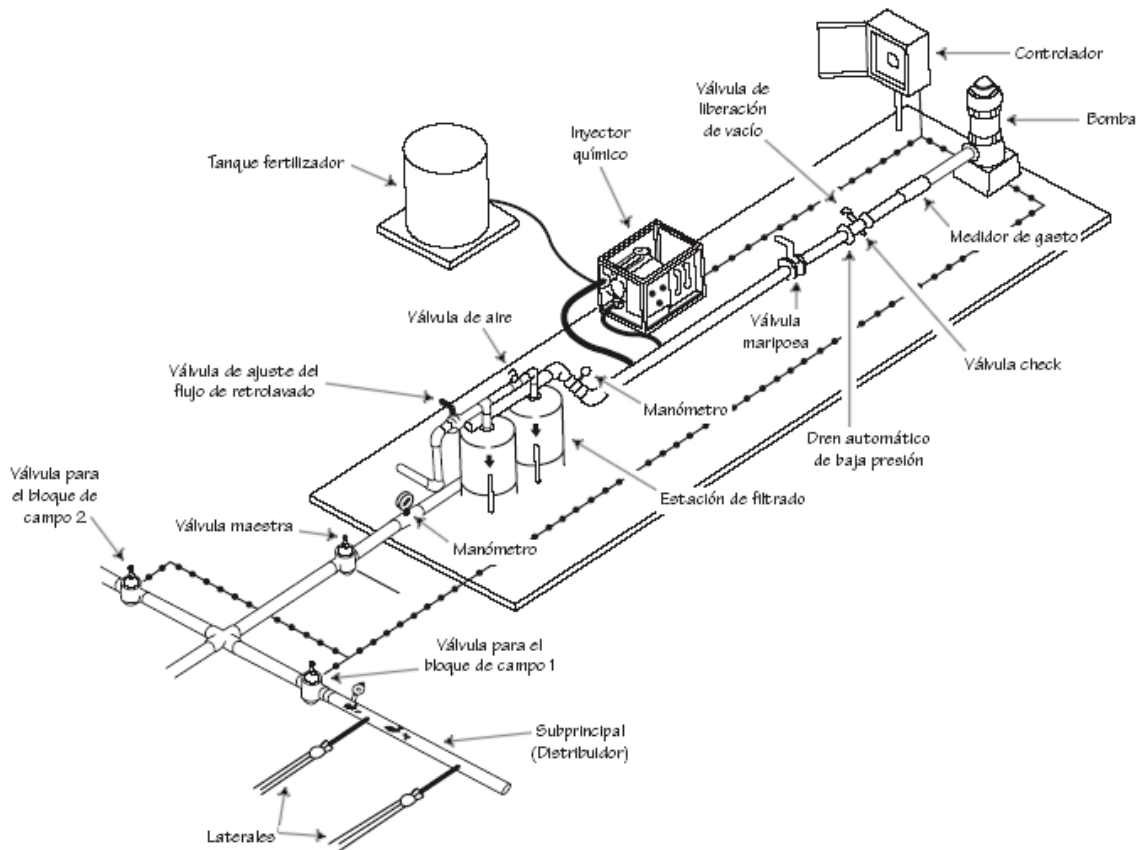


Figura 1. Trazo típico de una estación de bombeo en el que se muestra el equipo de filtración.

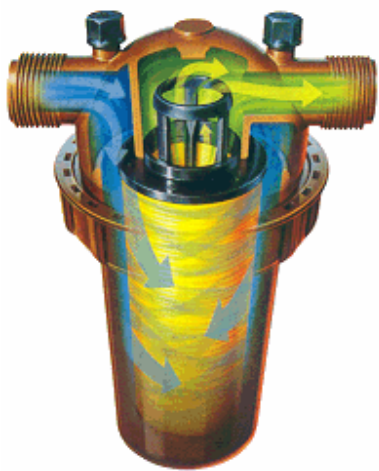
Unidad de filtración. Es esencial utilizar aguas limpias para un buen trabajo del método de riego por goteo y por ello los filtros son una parte importante del cabezal. La mayoría de los filtros son equipos sencillos, pero deben cumplir con ciertas características como permitir limpieza y ser eficientes en el control de materias que provoquen obturación de los emisores.



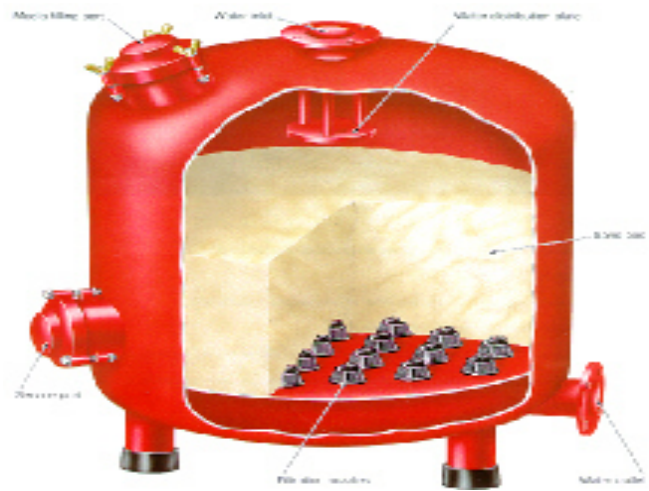
Filtro de malla



Filtro de efecto ciclónico de malla



Filtro de anillas o discos



Filtro de arena y grava



Filtro hidrociclónico



Filtro automático de malla

Figura 2. Algunos tipos de filtros.

El sistema de filtro debe tener la capacidad para transportar el caudal requerido y remover las partículas finas, de tamaño varias veces menor que el diámetro del elemento dentro del emisor. Normalmente las partículas que se filtran deben tener un tamaño igual o mayor de un octavo del área de flujo del emisor (Holzapfel).

Inyector de fertilizantes

Existen diferentes tipos de dispositivos para la incorporación de fertilizantes al agua, entre ellos se puede hacer la diferencia, entre aquellos donde la mezcla es aspirada o succionada desde un tanque de fertilización; aquellos donde la mezcla se inyecta a presión y por último, aquellos en que la mezcla se incorpora por arrastre. En la Figura 3 se presenta un esquema de los diferentes equipos y sistemas para aplicar fertilizantes en riego localizado (Osorio).

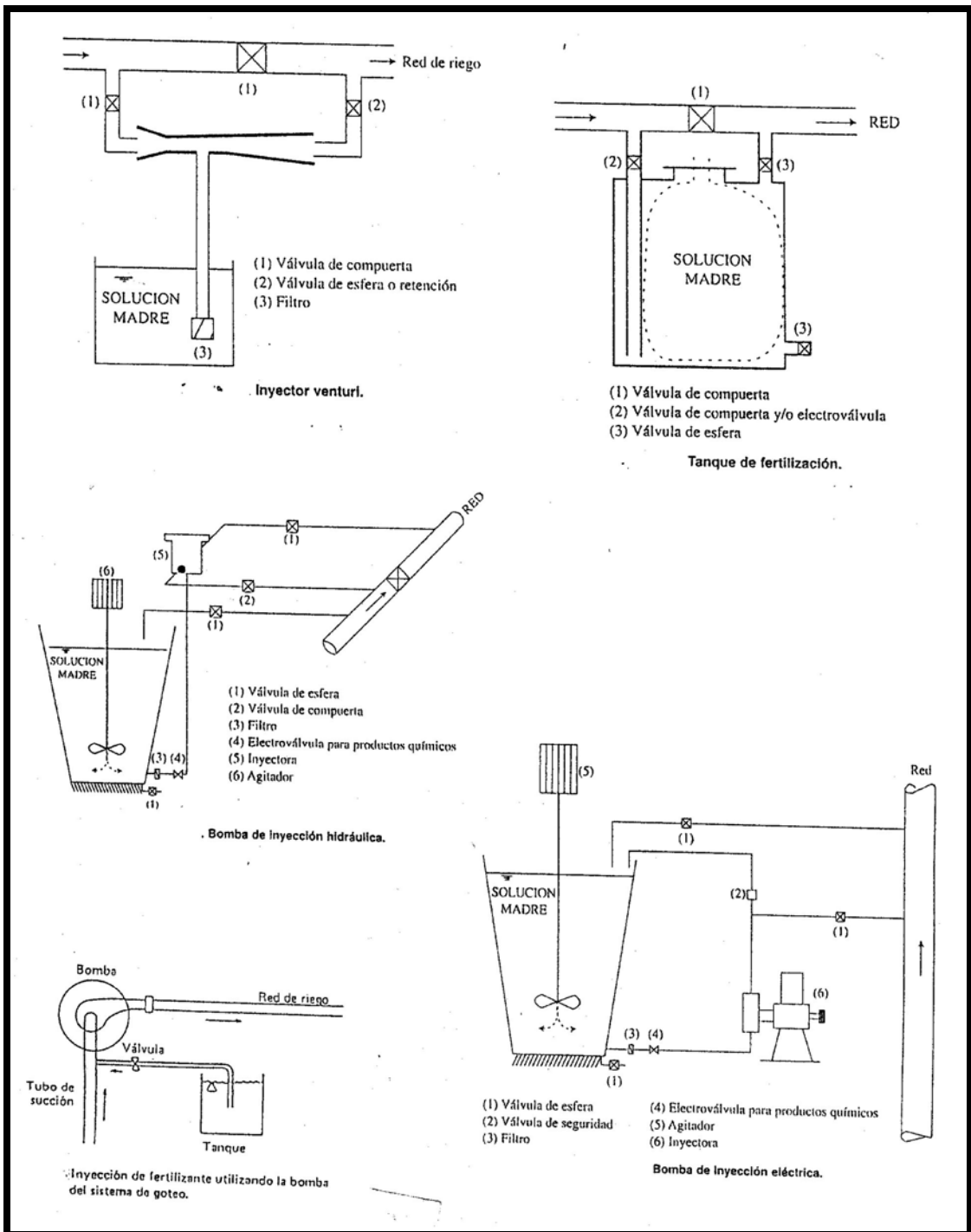


Figura 3. Diferentes sistemas de aplicación de fertilizantes en riego localizado.

Accesorios del cabezal

Esta parte es el conjunto de piezas que se utilizan para unir y acoplar todos los dispositivos que constituyen el cabezal de control, dentro de ellos se tienen: reducciones excéntricas, válvulas mariposa y check, codos, bridas, válvulas de globo, manómetros, etc.

Red de tuberías

La red de tuberías de un sistema de riego lo integran todas aquellas partes que conducen el agua desde la fuente de abastecimiento hasta el área de cultivo, de acuerdo a su posición y función se tiene (Holzapfel):

- **Tubería de conducción**
- **Tubería principal**
- **Tubería secundaria**
- **Tubería lateral**
- **Emisores o Goteros**
- **Tubería de drenado**

Tubería de conducción. Es la parte esencial de un sistema de riego e incluye todas aquellas tuberías que conducen el agua de la fuente de abastecimiento a las unidades de riego. Estas tuberías pueden ser fabricadas con polietileno, alta densidad, PVC, acero galvanizado o de asbesto-cemento, y su selección se basa de acuerdo al efecto que ejercen sustancias corrosivas como ácidos y fertilizantes.

Tuberías principales. Las tuberías principales son las que conducen el agua desde el cabezal de control hasta los puntos en que se deriva hacia diferentes sectores de riego, dentro del mismo predio. Estas tuberías pueden ser de PVC, acero galvanizado, asbesto-cemento o polietileno.

Tubería secundaria. Son las tuberías que conectan la tubería de conducción con las tuberías laterales. Estas generalmente son de PVC.

Las tuberías laterales. Son, por lo general, de polietileno que se colocan a lo largo de las hileras del cultivo y son las que llevan insertados los goteros, a intervalos fijos. El espaciamiento de las tuberías laterales está en función de las distancias de plantación y puede instalarse una o más tuberías laterales por hilera.

Emisores o Goteros. Son aquellos dispositivos mediante los cuales el agua pasa de la red de tuberías a la zona radical de las plantas. Su función es entregar los caudales proyectados, en forma lenta y uniforme.

Tubería de drenado. Es la tubería donde se conectan los extremos finales de las mangueras regantes, esto con el fin de evacuar las impurezas o partículas que puedan obstruir los emisores.

Equipos de programación, regulación y control de flujo y seguridad

Son elementos manuales o electrónicos que permiten automatizar, a diferentes niveles, el accionamiento de la red y a la vez operar en forma secuencial el riego en distintos sectores.

Programadores. Ellos permiten regular el funcionamiento de la instalación y contribuyen, por tanto, a obtener el máximo rendimiento de la misma.

La elección del programador adecuado estará definida por el número de estaciones de riego que se tiene y que estará relacionado con el número de válvulas eléctricas que se desea controlar (apertura y cierre).

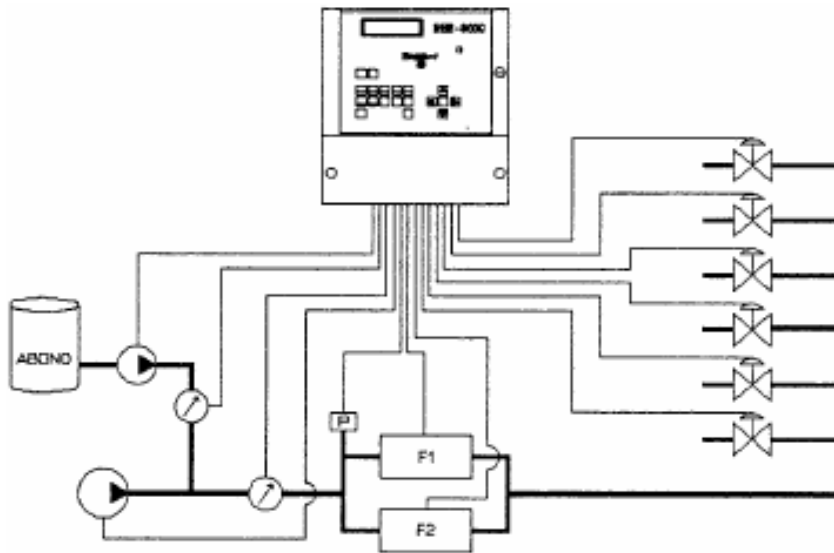


Figura 4. Programador de riego RBR-8000.

Elementos de regulación y control de flujo

Entre los elementos de regulación y control de flujo están las válvulas de distinto tipo: de paso, reguladoras de presión, de retención (check), hidráulicas, eléctricas, volumétricas, etc. Su operación directa o indirecta (mediante programadores) regula el comportamiento del flujo y la presión en la red. En la Figura 5 se muestran diferentes tipos de válvulas.



Figura 5. Diferentes tipos de válvulas.

Válvulas Reguladores: Son válvulas que se colocan en línea con las tuberías que forman la instalación y permiten absorber el exceso de energía de la red, proporcionando un valor constante de presión y/o caudal del agua.

Reguladores de caudal. Constan, en esencia, de una membrana elástica con un orificio central que se contrae o distiende de acuerdo con la presión que actúa, para dejar pasar un caudal constante. Vienen calibradas para un caudal de salida fijo que no puede alterarse.

Reguladores de presión. Consisten en un cuerpo cilíndrico, metálico o plástico, en cuyo interior se desplaza un pistón que queda retenido por un muelle. El agua atraviesa la válvula siguiendo un recorrido sinuoso. Cuando la presión de ésta aumenta, vence la resistencia del muelle, y se produce el desplazamiento del pistón, que a su vez disminuye el tamaño del orificio de entrada de la válvula. De esta forma se reduce la presión de salida del agua. Cuando la presión de salida equilibra la fuerza ejercida por el muelle, cesa el movimiento del pistón.

Válvulas de seguridad

Purgadores y ventosas: Permiten la salida del aire en aquellos puntos especiales de la instalación en que puede acumularse, como codos, partes elevadas de tuberías, filtros, tanques de fertilización, etc., y en el caso de las ventosas, también la entrada de aire o el llenado y vaciado de tuberías o depósitos.

Es importante su colocación, pues la no eliminación del aire distorsionaría la presión y caudales de funcionamiento de la instalación y, en ocasiones, provocaría la rotura de la misma.

Normalmente están formados por un cuerpo metálico que en el caso de las ventosas suele ser de hierro fundido, en cuyo interior existe una boya. Cuando, por las tuberías, circula agua a presión, ésta empuja la boya, taponando la salida. Pero si hay una acumulación de aire, al disminuir la presión, la boya desciende y lo deja escapar, en cuyo momento se recupera la presión y vuelve a cerrar la salida.

Válvulas aliviadoras de presión

Permiten la salida del líquido de la instalación cuando se producen fuertes presiones, con lo que se evita la posible rotura de piezas.

Son de acero o bronce, y la salida está cerrada por un resorte calibrado para una presión máxima de trabajo. Superada ésta, el resorte se comprime, quedando libre la salida.

Válvulas de retención

Se colocan intercaladas en la tubería y tienen una doble misión: romper la columna de agua y reducir, por tanto, el golpe de ariete que se produce al abrir o cerrar una instalación, y evitar el retroceso del agua, que puede ser causa de contaminación de la fuente de suministro de agua.

Se colocan en la tubería principal cuando el punto de captación es elevado y existe, por tanto, presión natural, o en el cabezal, para evitar el retorno del agua que contiene los elementos nutritivos.

El cuerpo es de latón, bronce u otro material resistente, y en su interior lleva una pantalla metálica que el agua debe vencer para pasar a través de ella. Al cesar el flujo de agua, la pantalla cierra por completo la sección, impidiendo el retroceso del agua.

Válvulas eléctricas

Estas son conectadas a un programador central, en el programa los tiempos de funcionamiento del sistema, de esta forma el programador central envía las ordenes a las válvulas eléctricas, mediante un solenoide que contiene en su interior, permite la apertura o cierre automáticamente.

Válvulas solenoide

Es un dispositivo eléctrico que permite el cierre y apertura de las válvulas electro-hidráulicas en los sistemas de control automático y funciona con el movimiento axial de incitación por la corriente eléctrica (24 volts) después el funcionamiento hidráulico.

Diseño del sistema de riego

El diseño de un sistema de riego consiste en las especificaciones detalladas de los componentes del sistema y de las prácticas requeridas para establecer calendarios de riego, operación y mantenimiento (Zazueta, 1992).

Un sistema de riego debe ser capaz de proporcionar la cantidad de agua requerida bajo condiciones de demanda máxima. Para ello es necesario que el sistema sea capaz de humedecer una fracción del volumen radicular, de dimensiones adecuadas y con un nivel de humedad que permitan satisfacer las condiciones climáticas.

Necesidades hídricas

Para determinar la demanda máxima de riego es necesario calcular la ET actual utilizando el mejor método posible. Para fines de diseño, la ET es normalmente calculada con el valor máximo probable que ocurra durante la vida del cultivo.

Debido a que el agua se aplica debajo de la superficie del suelo, la pérdida por evaporación es mínima, según la literatura menciona que hay un ahorro del 30 al 50 % de agua en la aplicación utilizando el sistema de goteo subsuperficial con respecto al riego por aspersión. Es decir, que la cantidad de agua requerida por la planta es igual a $ET * 0.8$, este es un valor aproximado.

Selección de emisor

Existen diferentes criterios para la selección de un emisor como se menciona a continuación:

- a) Consumo de agua por cultivo y el tiempo de operación. El consumo de agua por el cultivo y el tiempo de operación en cada sección de riego, permite obtener alternativas de gasto de emisores que llevan a costos de adquisición, instalación y operación diferentes. Al determinarlas y al conjuntarlas con las características de suelo se seleccionan las más viables.
- b) Sensibilidad al taponamiento. Con base al diámetro menor de la sección hidráulica y considerando la calidad del agua desde el punto de vista del contenido de sólidos orgánicos e inorgánicos.
- c) Sensibilidad hidráulica. Con base al exponente de la relación del caudal del emisor, buscando emisores con exponentes hidráulicos pequeños.
- d) Variación de fabricación. El coeficiente de variación de fabricación debe ser pequeño (5 % para emisores puntuales y 10 % para líneas de descarga continua).
- e) Sensibilidad a la temperatura. La descarga del emisor no debe variar con cambios de temperatura del agua y el emisor.
- f) Calidad de los materiales. Resistencia a los rayos ultravioleta, químicos, productos de petróleo, etc.

Diseño hidráulico de las secciones de riego

Una vez seleccionado el emisor se procede al diseño hidráulico de las secciones de riego, conducción, distribución y finalmente el diseño del cabezal.

Según Zazueta (1992), la distribución de estas tuberías esta condicionada principalmente por:

a) Distribución del cultivo.

El arreglo de la huerta define la dirección de las laterales.

b) Topografía. La colocación de las laterales y distribuidores debe ser tal que aproveche cambios en la elevación del terreno para compensar pérdidas por fricción. Si la posición de las laterales esta determinada por el cultivo, el factor más importante que influye en la posición de los distribuidores, y estos a su vez perpendiculares a laterales.

c) Localización de la fuente de agua. El punto en el que se encuentra la fuente de abastecimiento afecta la localización de las tuberías de conducción, de distribución y de los distribuidores. Generalmente las tuberías de distribución se colocan perpendiculares a los distribuidores, y estos a la vez, perpendiculares a laterales.

Calculo hidráulico de la pérdida de carga

La pérdida de carga por fricción de la tubería se calcula con la ecuación de Hazen-Williams esta es una formula empírica, y se deriva de los resultados de numerosas pruebas efectuadas en el transcurso de muchos años de investigación:

$$hf = \frac{1742.8 * q^{1.852}}{D^{4.87} * C^{1.852}} * L$$

Donde:

hf = Pérdida de carga, mca.

D = Diámetro interno de la tubería, pulgadas.

q = Gasto de entrada de la tubería, lps.

C = Coeficiente de rugosidad del tubo, adim.

L = Longitud de la tubería, m.

En tuberías con salidas múltiples la pérdida de carga por fricción es calculada con la ecuación anterior, pero multiplicada por el coeficiente de salidas múltiples.

$$h_{fr} = \frac{1742.8 * q_l^{1.852}}{D^{4.87} * C^{1.852}} * L * CSM$$

Donde:

CMS = Coeficiente de salidas múltiples.

Cuadro 11. Coeficiente de salidas múltiples, (CSM).

No.		CSM		No.		CSM	
Salidas	Final ¹	Mitad ²	Salidas	Final ¹	Mitad ²	Salidas	Final ¹
1	1.000	1.000	8	0.420	0.380		
2	0.640	0.520	9	0.410	0.370		
3	0.540	0.440	10 a 11	0.400	0.370		
4	0.490	0.410	12 a 15	0.390	0.370		
5	0.460	0.400	16 a 20	0.380	0.360		
6	0.440	0.390	21 a 30	0.370	0.360		
7	0.430	0.380	≥30	0.351	0.351		

Las pérdidas locales por accesorios son alrededor del 10 % de la pérdida de la fricción total de la tubería.

Para calcular la carga requerida (CDT, metros) en el sistema se calcula de la siguiente forma:

$$CDT = \sum h_f \pm Z$$

Donde:

$\sum h_f$ = Sumatoria de las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios, mca.

Z = Es la diferencia de altura entre los extremos de la tubería, m.

Cuadro 12. Valores típicos de **C** usadas en la ecuación de Hazen-Williams.

Material de la tubería	C
Policloruro de Polivinilo (PVC)	145
Polietileno (PE)	150
Asbesto – Cemento	135
Acero galvanizado	125
Aluminio con conexión rápida	130
Fierro epóxico	145
Fierro fundido (nuevo)	130
Fierro fundido (15 años)	100
Concreto (liso)	130
Concreto (común)	120
Fibro cemento	140

Calculo del gasto del emisor

Esta nos permite saber el número de emisores que pueden operar sin pasar de la pérdida permisible, esto para tener una buena uniformidad.

$$q_e = K * H^x$$

Donde:

q_e = Gasto del emisor, lph.

K = Coeficiente de descarga proporcionado por el fabricante, lph.

x = Exponente de descarga proporcionado por el fabricante, adim.

H = Presión de trabajo, mca.

$$\Delta H_s = \frac{Hd}{10x}, \quad Hd = \left(\frac{qe}{k} \right)^{\frac{1}{x}}, \quad K\phi = \frac{1.21 * 10^{10}}{ID^{4.87} * C^{1.852}}$$

Donde:

Hd = Máxima variación permisible de presión en los extremos de la línea regante.

ID = Diámetro interno de la manguera, mm.

C = Coeficiente de rugosidad, adim.

Número de emisores de la línea regante

$$Ne = \left[\frac{\Delta Hl}{K\Phi * \left(\frac{qe}{3600} \right)^{1.852} * d * f} \right]^{0.351}$$

$$K\phi = \frac{1.21 * 10^{10}}{ID^{4.87} * C^{1.852}}$$

Donde:

Ne = Número máximo de emisores en la línea regante.

ΔHl = Máxima variación permisible en la línea regante, mca.

qe = Gasto del emisor, lph.

d = Distancia entre emisores, m.

f = Factor de salidas múltiples, adim.

Longitud máxima de la línea regante

$$LI = Ne * d$$

Donde:

LI = Longitud máxima de la línea regante.

d = Distancia entre emisores, m.

Ne = Número máximo de emisores en la línea regante.

Calculo del número de mesh

$$\#mesh = \frac{7\sqrt{0.32}}{\text{apertura} - \text{del} - \text{emisor}}$$

Donde:

$\#mesh$ = Número de hilos en pulgada.

Apertura del emisor en pulgadas.

Diseño de las tuberías de conducción y distribución

Debido a que ambas son continuas, su diseño se hace de la misma manera, y consiste en seleccionar el diámetro más apropiado por tramos, ya que cada uno de ellos las condiciones de gasto, carga requerido y topografía son diferentes (Martínez, 1991). De este modo para cada tramo se pueden seleccionar uno o varios diámetros de acuerdo al criterio que se utilice, el cual depende de aspectos hidráulicos y económicos.

Desde el punto de vista hidráulico se puede utilizar el siguiente criterio:

- Velocidad permisible en la tubería. Para evitar taponamiento en los emisores por velocidades bajas; así como golpe de ariete por velocidades altas, las velocidades en las tuberías deberán estar dentro de un rango permisible, el cual de acuerdo con algunos autores son las siguientes: velocidades de 0.3 a 1.5 m/s (SARH, 1981), de 1.5 a 3 m/s (Martínez, 1992), y de 0.9 a 2 m/s (Peña, 1993). Una vez que se fija la velocidad, el diámetro se obtiene con las siguientes expresiones:

$$Q = A * V \quad A = \frac{Q}{V} \quad A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad D = \left(\frac{4 * Q}{V * \pi} \right)^{1/2}$$

Donde:

D = Diámetro interior, m.

Q = Gasto, m³/seg.

V = Velocidad, m/seg.

Instalación del sistema de riego

Cada sistema de riego es único, por lo tanto, no hay guía de instalación que cubra todas las situaciones. Sin embargo, existen diversos trabajos y distintos problemas que son comunes a todas las instalaciones.

Rodrigo (1996) y otros señalan los siguientes aspectos:

- Materiales para la instalación. En el proyecto deberán especificarse las cantidades de cada uno de los materiales, así como sus detalles de instalación.
- Herramientas y equipo de trabajo requerido. Estas dependen de las dimensiones del proyecto, y son las siguientes: Herramientas básicas

tales como palas, sierras limas, palancas, llave inglesa, destornilladores, taladros, etc.; medios de transporte, remolques, y/o carretilla para transporte de materiales y en caso necesario una retroexcavadora para abrir zanjas; grúas portátiles para levantar piezas pesadas como filtros, válvulas, bombas, etc.

- Montajes de uniones y otras piezas especiales. Para esto es muy conveniente realizar el trabajo de montaje en el almacén central, ya que se cuenta con el mayor equipo necesario.
- Topografía y replanteo. El topógrafo, debe replantear las tuberías principales y subprincipales, límites de las fincas, localización de los cables o tuberías enterradas que son de utilizad.
- Zanjas. Estas se abrirán a lo largo de las tuberías principales, subprincipales, distribuidoras y regantes.
- Montaje de tuberías y accesorios. Estas se distribuyen sobre el terreno y se procede a unir las utilizando el pegamento o lubricante adecuado, para el caso de tuberías de PVC. En dichas tuberías se instalan tees, codos, elevadores, válvulas, etc., según el proyecto.
- Instalación de cables eléctricos. En instalaciones de válvulas eléctricas o hidráulicas controladas, los cables o microtubos se colocaran en el fondo de la zanja holgadamente, tratando de mantenerlos alejado de los bordes vivos de las piezas especiales y de las rocas. Estos deberán probarse antes de enterrarse. Además se debe permitir suficiente holgura en cada válvula subprincipal para hacer las conexiones con las válvulas de control en campo para permitir contracciones. La siguiente cuadro 16 muestra el tipo de cable que deben usar las válvulas solenoides.

Cuadro 13. Selección del tamaño de cable para válvulas solenoide.

Tamaño AWG		No debe exceder cierta presión				
Diámetro		5.3	6.0	7.0	8.8	10.55
No.	Pulgada	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
18	0.040	2200	2000	1600	1100	700
16	0.051	3600	3200	2500	1800	1100
14	0.064	2700	5000	4000	3000	1700
12	0.081	9000	8000	6400	4700	2800
10	0.102	14000	12700	10200	7400	4400
8	0.129	22700	20200	16200	11800	7000

El tipo de cable que deben usar las válvulas solenoides dependiendo de la presión de operación y la longitud entre los controles y las válvulas solenoides.

- Colocación de la tubería en zanja. Las tuberías tanto principales como subprincipales deben depositarlas en las zanjas cuidadosamente.
- Instalación de juntas, válvulas y elevadores. La parte de la instalación debe completarse con la instalación de válvulas y demás piezas especiales, conectar cables de control a las válvulas de control de campo, así como pintar las tuberías de PVC, para protegerlas de los rayos del sol y prevenir el crecimiento de algas.
- Relleno parcial de zanjas. Después de que la tubería se ha colocado en las zanjas, se procede a hacer un relleno parcial de estas. En tiempos de calor el relleno debe de hacerse en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde por efecto de contracción.
- Instalación de bloques de anclaje. Estos se ponen con la finalidad de que no se produzcan fuerzas hidrostáticas de empujes significativos y estos generalmente se colocan en tees, codos, reductores, elevadores y válvulas.
- Instalación de tuberías laterales. Se tienden sobre el terreno las tuberías laterales (regantes), pero no se conectan a los distribuidores sin antes

haberlos lavado para evitar que las laterales se contaminen de tierra, insectos, etc., conservando los extremos de las tuberías laterales tapadas.

- Lavado, presurización y prueba de instalación. Para permitir que salga al exterior todas las impurezas, se deben de llenar las tuberías principales con sus válvulas de salidas abiertas. Una vez que se han lavado las tuberías se cierran las válvulas y entonces la presión dentro de la tubería deberá llenarse hasta la presión de prueba. Si existen fugas, se debe terminar la prueba, reparar las fugas, lavar la tubería y repetir la prueba.
- Conexión de tuberías laterales a los distribuidores. Con las finales de las laterales abiertas, conectarse a los distribuidores. La conexión se hará más fácilmente si por esta última corre agua. Dejar que se laven laterales y después cerrar los finales de estas, llevando la presión del sistema hasta la de trabajo. Ajustar todas las presiones en los distribuidores a su valor requerido. Verificar las perdidas, cortar el funcionamiento del sistema y reparar todas las fugas en las subprincipales y líneas laterales.
- Prueba de funcionamiento. Una vez que se ha comprobado que todos los componentes del sistema funcionen correctamente se procede a hacer el llenado final de las zanjas.

Operación del sistema

La operación de un sistema de goteo subsuperficial comprende toda la manipulación con el propósito que funcione y entregue, con la mayor eficiencia posible, el agua, los fertilizantes y otros agroquímicos aplicados a través de este, en las cantidades deseadas y en periodos de tiempos predeterminados.

Para esto el operador debe conocer el funcionamiento del equipo, su capacidad y sus presiones de trabajo, es decir, la cantidad de agua por conducir

a través de su red de tuberías y la entrega por cada emisor bajo ciertas condiciones de presión que deben ser conocidas, deben tener a la mano los calendarios de riego y fertilización, los cuales deben de tener las fechas y cantidades de aplicación, y por último, contar con programas de evaluación, para verificar que funcione correctamente. Un indicador importante del sistema son las presiones de trabajo. Con la información de las presiones se conoce cuando deben de limpiarse los filtros. Es por ello que el sistema cuenta con manómetros en puntos clave.

En el cabezal de control se requiere conocer las presiones de operación antes y después del decantador y en la salida de éste. En la entrada de las secciones de riego, la presión debe estar definida y variar lo menos posible, por lo que generalmente en la unidad automática se incluye un regulador de presión, y posteriormente después del regulador se incluye un manómetro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio

Localización geográfica

El presente trabajo se realizó en el área del “Bajío” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila. La cual se localiza en paralelo a 25° 22' Latitud Norte y 101° 03' de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, se tiene una altitud de 1754 msnm.

Características climáticas

De acuerdo a la clasificación climática de Koppen y modificada por Garcia (1964) adaptada a la republica mexicana, el clima de Saltillo, se define bajo la siguiente formula climática:

$B_{so}K(X')(e)$

Donde:

B_{so} = Es el más seco de los Bs con un coeficiente de P/T (22.9).

K = Templado con verano cálido, la temperatura media anual es de 17.7 °C y la precipitación media anual es de 450 mm los meses más lluviosos son de junio a septiembre.

Situación actual

La huerta de nogal pecanero cuenta con una población de 1393 árboles adultos, plantados a 10 X 10 m. en la sección sur (sección con mayor población), y a 15 X 15 m. en las dos secciones mas pequeñas aisladas de la sección anterior ubicadas al norte del Campo Experimental “El Bajío”;

actualmente se riega por aspersión con rebombeo entubado desde una pila y riego por superficie cuando el embalse de la presa de tierra capta suficiente volumen que se genera de escurrimiento pluvial; la compuerta de la presa descarga en un canal de tierra que distribuye el agua por melgas en las hileras de los árboles.

Fuente de abastecimiento

La fuente de abastecimiento se utilizará una pila metálica que se localiza cerca de la huerta, la cual es abastecida de agua de pozo profundo propiedad de la Universidad y se programa su uso en el riego de parcelas experimentales de cultivos sembrados para investigación y para realizar prácticas de campo en apoyo a la impartición de clases. La pila tiene una capacidad de almacenamiento de 348 m³.

Diseño del sistema de riego

Datos de diseño

Cultivo: Nogal.

Superficie: 16 has.

Suministro de agua: 8 lps.

Textura de suelo: Franco arcilloso.

Profundidad de las raíces: 2 m.

Evapotranspiración crítico: 6.6 mm/día.

Lámina neta máxima de riego: 40.08 mm.

Intervalo máximo de riego: 6 días.

Lámina bruta diaria de riego: 9 mm/día.

Número de goteros en cada árbol: 40.

Número de unidades de riego: 12

Tipo de Emisor: laberinto regulado.

Carga de presión: 5 a 40 mca
 Descarga promedio del emisor: 3.5 lph.
 Exponente de descarga x: cero.
 Coeficiente de descarga K: 3.5.
 Coeficiente de variabilidad v: 2.50%.
 Ancho de bulbo húmedo (w): 1.2 m.
 Tamaño de la apertura del emisor: 1 mm

Uso consuntivo

La evapotranspiración del cultivo se estima de multiplicar la evapotranspiración potencial por un coeficiente de cultivo (Kc).

La demanda de un cultivo de referencia máxima es calculada para cada mes y multiplicada por un factor 0.8, debido a que en el riego por goteo subsuperficial hay un ahorro del 20 al 35 % de agua.

Cuadro 14. Requerimientos de agua y programación de los tiempos de riego.

MES	Kc	ETo	Factor	ETr	DL (m)	DA (m)	AS (%)	NDP	qe	TR
ENE	0.20	3.1	0.8	2.5	15	15	70	78.62	3.50	0.56
FEB	0.25	4.1	0.8	3.3	15	15	70	128.52	3.50	0.92
MAR	0.35	5.7	0.8	4.5	15	15	70	250.49	3.50	1.79
ABR	0.65	6.2	0.8	5.0	15	15	70	511.06	3.50	3.65
MAY	0.85	6.6	0.8	5.2	15	15	70	702.58	3.50	5.02
JUN	0.95	6.4	0.8	5.1	15	15	70	766.08	3.50	5.47
JUL	0.98	5.8	0.8	4.7	15	15	70	721.12	3.50	5.15
AGO	0.85	5.2	0.8	4.2	15	15	70	556.92	3.50	3.98
SEP	0.50	4.3	0.8	3.5	15	15	70	272.16	3.50	1.94
OCT	0.30	3.9	0.8	3.1	15	15	70	148.18	3.50	1.06
NOV	0.20	3.7	0.8	2.9	15	15	70	92.74	3.50	0.66
DIC	0.20	3.4	0.8	2.7	15	15	70	84.67	3.50	0.60

Fuente: <http://www.agrocabildo.com/riego/base.htm>

Donde:

K_c = Coeficiente de cultivo.

E_{To} = Evapotranspiración potencial del cultivo, mm/día.

E_{Tr} = Evapotranspiración real del cultivo, mm/día.

DL = Distancia entre línea de árboles, m.

DA = Distancia entre árboles dentro de la línea, m.

AS = Porcentaje de área sombreada por la copa del árbol respecto al marco de plantación.

NDP = Necesidad diaria de agua por planta, lt/árbol.día.

q_e = Gasto del emisor, lph.

TR = Tiempo de riego, hora.

Si desconoce el porcentaje de área sombreada por la copa del árbol respecto al marco de plantación (AS) se pueden utilizar valores entre el 60 y el 80% para plantaciones adultas según estén a una densidad baja o alta. En plantaciones jóvenes tomar valores del 20 al 60% en función del marco de plantación y edad del árbol (<http://www.agrocabildo.com/riego/base.htm>).

Profundidad de instalación

Jorgenson y Norum (1993), señalan que las profundidades de instalación reducen el potencial para la evaporación desde la tierra y también permiten una mayor facilidad para realizar prácticas de cultivo.

Las profundidades de instalación típicas son 30 y 60 centímetros, pero la profundidad óptima es desconocida, y la experiencia dictará cuál es la mejor. Lo más probable, es que exista más de una profundidad óptima (Burt y Styles 1994).

En este caso se la manguera se instalara a una profundidad de 0.4 m

Distribución del sistema radical

Según Pizarro (1996), las raíces se adaptan velozmente al régimen de humedad, concentrándose en el bulbo de mojado, que puede contener una densidad de raíces tres o cuatro veces superior en un suelo con riego no localizado. La mayor densidad de raíces no solo da lugar a una mayor extracción de agua del suelo por la mayor superficie de absorción, sino que además cualquier partícula de agua encuentra raíz más próxima a menos distancia, la absorción es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Boswell (1984) presentó una información acerca del movimiento lateral del agua en varios tipos de suelo. “Típicamente” el agua se esparcirá en esas distancias horizontalmente, más allá del agua estancada sobre la superficie. Advirtiendo con énfasis que estos son solamente números muy generales y que deben ser siempre verificados en el campo.

Cuadro 15. Los valores “típicos”

Tipo de Suelo	Movimiento Lateral Adicional	
	(m)	(pies)
Arena Gruesa	0.15 – 0.5	0.5 – 1.5
Arena Fina	0.3 – 0.9	1.0 – 3.0
Suelo Franco	0.9 – 1.4	3.0 – 4.5
Arcilla Pesada	1.2 – 1.8	4.0 – 6.0

El movimiento lateral real depende de las cantidades y tipos de sales, de las texturas del suelo, de las estratificaciones y de las tasas de aplicación. Los modelos matemáticos sobre movimiento del agua desarrollados en condiciones del laboratorio, muy rara vez reflejan la realidad de las condiciones de campo.

Diseño hidráulico para unidad de riego

El sistema de riego debe tener la suficiente capacidad de proporcionar la cantidad de agua requerida por los cultivos bajo las condiciones más críticas, así como la determinación de los diámetros y las longitudes de las tuberías principales, distribuidoras, regantes y también dimensionar las cargas de operación en las entradas de las secciones.

Calculo del gasto de emisor

El emisor trabajara con los datos técnicos proporcionados por el fabricante de forma regulada, dado que no se realizaron pruebas de campo, como se indica en la cuadro 17.

Cuadro 16. Datos hidráulicos del emisor.

Caudal Nominal (l/h.)	Rango de Presión (bar.)	Dimensiones de los pasajes de agua Ancho-Profundidad -Largo (mm.)	Área de Filtrado (mm ²)	Constante K	Exponente* X
3.5	0.5-4.0	1.55 x 1.05 x 22	10	3.5	0

* Dentro del rango de presión de trabajo

Calculo de la perdida de carga permisible en el regante

Es la máxima variación de carga entre los extremos del regante, esto con el fin de que los emisores trabajen a una misma presión.

$$\Delta H_s = \frac{Hd}{10 * X} = mca$$

Como x = cero, entonces ΔH_s es muy grande con riesgo de exceder la resistencia de la manguera, por lo tanto se propone 8 mca de variación de carga en la lateral.

$$\Delta Hl = \Delta Hs * 0.55 = 8 * 0.55 = 4.4 \text{ mca.}$$

Donde:

ΔHl = Máxima variación permisible en la línea regante, mca.

X = Exponente de descarga proporcionado por el fabricante, adim.

ΔHs = Variación de carga permitida en la unidad, mca.

Hd = Carga de diseño, mca.

Calculo del número máximo de emisores por línea regante

$$Ne = \left[\frac{\Delta Hl}{K\Phi * \left(\frac{qe}{3600} \right)^{1.852} * d * f} \right]^{0.351}$$

$$Ne = \left[\frac{4.4}{2.411 * \left(\frac{3.5}{3600} \right)^{1.852} * 1 * 0.351} \right]^{0.351} = 161.8$$

$$K\phi = \frac{1.21 * 10^{10}}{14.6^{4.87} * 150^{1.852}} = 2.411$$

Donde:

Ne = Número máximo de emisores en la línea regante.

ΔHl = Máxima variación permisible en la línea regante, mca.

qe = Gasto del emisor, lph.

d = Distancia entre emisores, m.

f = Factor de salidas múltiples, adim.

Longitud de la línea regante

$$LI = Ne * d = 161.8 * 1 = 161.8 \text{ m.}$$

Donde:

LI = Longitud máxima de la línea regante, m.

d = Distancia entre emisores, m.

Ne = Número máximo de emisores en la línea regante.

Calculo del número de mesh

$$\# mesh = \frac{7 * \sqrt{0.32}}{\text{apertura} - \text{del} - \text{emisor}} = \frac{7 * \sqrt{0.32}}{(1/25.4)} = 100.58 \cong 120 - 150 \text{ comercial.}$$

Donde:

$\# mesh$ = Número de hilos en pulgada.

Apertura del emisor en pulgadas.

Calculo hidráulico de la sección I

Calculo de la ruta crítica, esta unidad se divide en 12 unidades

Datos técnicos que se deben considerar para el diseño, que son los siguientes:

Manguera RAM 17.

P.O. = 15 mca.

qe = 3.5 lph.

L_{reg} = 130 m.

Calculo del gasto de la unidad

$$Q = \left(\frac{qe * Tp * Te}{3600} \right) = Q = \left(\frac{3.5 * 140 * 40}{3600} \right) = 5.44 \text{ lps.}$$

Donde:

Q = Gasto de la sección lps.

Tp = Total de árboles en la sección

qe = Gasto del emisor, lph.

Te = Total de emisores por árbol

Cuadro 17. Datos de población de árboles y gasto de cada unidad.

Unidad	Población	Q lps
I	140	5.444
II	128	4.978
III	115	4.472
IV	121	4.706
V	104	4.044
VI	107	4.161
VII	127	4.939
VIII	126	4.900
IX	124	4.822
X	107	4.161
XI	102	3.967
XII	92	3.578

Calculo de la perdida de carga en la tubería regante RAM 17

$$ql = \left(\frac{qe}{3600} \right) * \left(\frac{L}{d} \right) = \left(\frac{3.5}{3600} \right) * \left(\frac{130}{1} \right) = 0.12639 \text{ lps.}$$

$$hfr = \frac{1742.8 * ql^{1.852}}{D^{4.87} * C^{1.852}} * L * CSM = \frac{1742.8 * 0.12639^{1.852}}{0.5718^{4.87} * 150^{1.852}} * 130 * 0.351 = 2.446 \text{ mca.}$$

Donde:

hfr = Perdida de carga en la tubería regante, mca.

qe = Gasto del emisor, lph.

L = Longitud de la línea regante, m.

d = Distancia entre emisores, m.

ql = Gasto de la línea regante, lps.

C = Coeficiente de rugosidad, adim.

D = Diámetro interno de la manguera regante, pulgadas.

CSM = Coeficiente de salidas múltiples.

Calculo de la perdida de carga en la tubería distribuidora

$$Qd = ql * \#l = 0.12639 * 40 = 5.056 \text{ lps.}$$

$$hfd = \frac{1742.8 * Qd^{1.852}}{D^{4.87} * C^{1.852}} * L * CSM = \frac{1742.8 * 5.056^{1.852}}{2^{4.87} * 150^{1.852}} * 110 * 0.38 = 4.675 \text{ mca.}$$

Donde:

hfd = Perdida de carga en la tubería distribuidora, mca.

Qd = Gasto de la tubería distribuidora, lph.

ql = Gasto de la línea regante, lps.

\#l = Número de líneas que son alimentadas por la tubería distribuidora.

L = Longitud de la línea distribuidora, m.

C = Coeficiente de rugosidad, adim.

D = Diámetro interno de la manguera regante, pulgadas.

CSM = Coeficiente de salidas múltiples.

Calculo de la perdida de carga en la tubería de conducción

$$hf = \frac{1742.8 * Q^{1.852}}{D^{4.87} * C^{1.852}} * L = \frac{1742.8 * 5.44^{1.852}}{3^{4.87} * 150^{1.852}} * 408 = 7.26mca$$

Donde:

hf = Perdida de carga en la tubería de conducción, mca.

Q = Gasto de la sección de riego, lph.

L = Longitud de la línea de conducción, m.

C = Coeficiente de rugosidad, adim.

D = Diámetro interno de la manguera regante, pulgadas.

Calculo de la perdida de carga locales

Para las perdidas de carga localizadas se considera que se pierde el 10 % de la perdida de carga total (sin considerar el desnivel del terreno); por lo que quedan de la siguiente manera:

$$Ht = Po + hfr + hfd + hf = 15 + 2.446 + 4.675 + 7.26 = 29.38mca$$

$$Hloc = Ht * 0.1 = 29.38 * 0.1 = 3.23mca$$

Donde:

Ht = Perdida de carga total, mca.

HLoc = Perdidas de carga locales, mca.

Po = Presión de operación del emisor, mca.

hfr = Perdida de carga en la tubería regante, mca.

hfd = Perdida de carga en la tubería distribuidora, mca.

hf = Perdida de carga en la tubería de conducción, mca.

Perdida de carga hidráulica en el sistema

Cuadro 18. Perdida de carga en el sistema de la sección I.

Concepto	Perdida de carga, mca.
Emisor	15
Perdida de carga en la Manguera RAM 17	2.446
Perdida de carga en el filtro	6.0
Perdidas de carga en la conducción	7.26
Perdida de carga en la distribuidora	4.675
Total	35.38 mca

Calculo de la carga hidráulica requerida

Para determinar la carga potencial por posición, se toma en cuenta el desnivel topográfico desde el punto mas critico de la unidad hasta la bomba.

Cuadro 19. Carga total requerida en la sección I.

Concepto	H mca
Perdida de carga total	35.56
Desnivel del terreno	13.0
Altura de bombeo	0.0
Total	48.38 mca

Al agrupar las unidades de riego en 6 sub-unidades con la finalidad de operar dos sub-unidades de riego al mismo tiempo, con ello obtener el gasto crítico para determinar la potencia de la bomba requerida para el sistema, como se indica en el cuadro 20.

Cuadro 20. Sub-unidades a operar al mismo tiempo.

Unidad	Sub-Unidad	Gasto
I y XII	A	9.022
II y VII	B	9.917*
III y X	C	8.633
IV y VIII	D	9.606
V y IX	E	8.867
VI y XI	F	8.128

* Gasto crítico para determinar el HP de la bomba.

Una vez determinada la carga total requerida y el gasto máximo requerido por la sub-unidad a operar, se procede a buscar una bomba en el mercado que cumpla de manera muy eficiente con los requerimientos del proyecto. La elección de la bomba se realiza con base a las curvas características de los modelos existentes en el mercado.

Para el proyecto se requiere una bomba que sea capaz de extraer un gasto de 9.917 lps con una carga de 48.38 mca.

Potencia de la bomba

Para determinar la potencia de la bomba se usa la siguiente fórmula:

$$H_p = \frac{Q * H}{76 * E_f} = \frac{9.917 * 48.38}{76 * 0.7} = 9.0HP \cong 10 \text{ HP Comercial.}$$

Donde:

H_p = Potencia de la bomba.

Q = Gasto, lps.

H = Carga, mca.

E_f = Eficiencia de la bomba.

Materiales

Los materiales y equipos utilizados durante la instalación y operación del sistema de riego se presentaran en el apéndice.

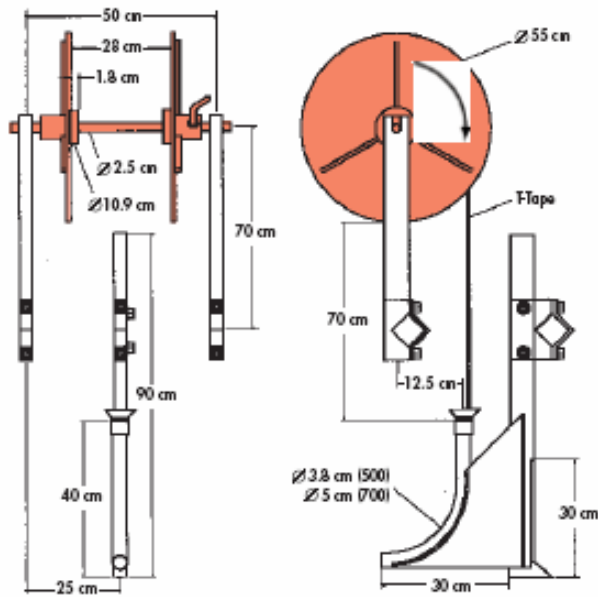
Instalación del sistema de riego

El éxito de un sistema subsuperficial de riego por goteo para cultivos en línea depende de su diseño, instalación, operación, manejo y mantenimiento. Todas las fases son igualmente importantes. Los pasos en el proceso de instalación son:

- Inyección de manguera.
- Zanqueo.
- Instalación de las líneas principales, instalación de líneas distribuidoras (subprincipales) y líneas de lavado.
- Conexión de la cinta con las líneas distribuidoras y las líneas de lavado.
- Relleno de las zanjas.
- Instalación del equipo de filtrado.

Inyección de manguera de riego

El inyector en un carrete que detiene la manguera y un cincel que abre el suelo para enterrar la manguera (Figs. 6 y 7). A medida que el cincel abre el suelo, la manguera es guiada dentro del suelo, usualmente a través de un tubo curvo montado atrás del cincel. El cincel debe ser lo suficientemente durable para resistir el impacto de las piedras u otras obstrucciones presentes en el suelo. El tubo que está montado atrás del cincel debe de ser liso y curvo para no romper la manguera.



■ – El eje –discos laterales- el rollo, deben girar conjuntamente.

Figura 6. Dibujo de instalación.



Figura 7. Inyectando la manguera.

Zanjeo

El zanjeo puede ser necesario para instalar las líneas principales, las líneas distribuidoras y las líneas de lavado. La línea principal, distribuidora, y las

líneas de lavado deberán ser instaladas bajo la superficie del suelo. El zanjeo puede ser hecho con una o retro-excavadora. Los pasos son los siguientes:

1. Las zanjas para las línea conducción y distribuidora deben de ser de 0.6 m. de ancho o del tamaño del cucharón de la retroexcavadora con una profundidad de 0.5 m. Para la instalación de la manguera de riego se recomienda usar un inyector como se muestra en la figura 7, con dos cinceles.
2. Deje suficiente espacio para trabajar con sus manos y asegurar la manguera con el tubo de PVC.

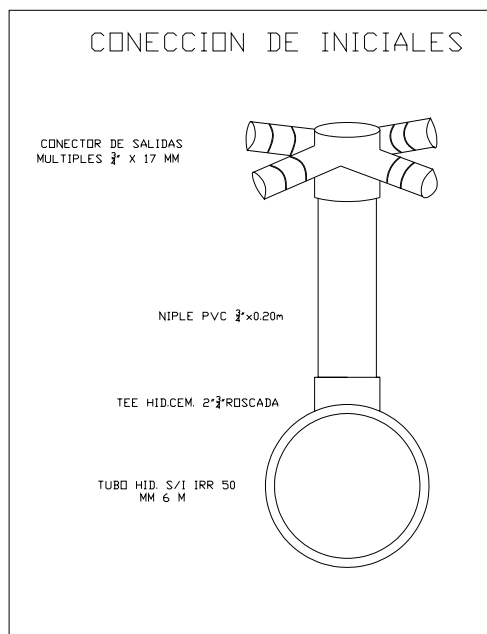


Figura 8. Conexión de la manguera de goteo a la línea distribuidora.

3. Nivele y compacte la tierra en el fondo de la zanja con la tierra que caiga al exponer la manguera.
4. Coloque banderas donde termine cada estación.
5. Conecta la manguera regante con la distribuidora y la línea de lavado.
6. Conecte las tuberías de conducción.

Relleno de las zanjas

Operé cada estación por 4 horas y revise si hay fugas. Si hay una fuga en medio del campo, se requerirá hacer un hoyo y unir la cinta con un pedazo de manguera de PVC. Si hay una fuga en la tubería subprincipal, la conexión entre la cinta y la tubería necesitará hacerse de nuevo (en algunas ocasiones los simples remanentes del plástico al hacer el hoyo en la tubería pueden causar que el empaque no selle bien y que haya fugas en la tubería). Si no hay fugas, SUAVEMENTE coloque tierra suelta en la zanja. Luego agregue agua a la zanja para que la tierra alrededor del tubo se asiente para sostenerlo y prevenir que se mueva. No mueva mucha tierra a la vez sobre la tubería, esto puede dañar las conexiones. Comprima la tierra, luego agregue más agua hasta tapar la zanja completamente.

Instalación del sistema de filtración

Seleccione un lugar fácilmente accesible para la instalación y servicio del filtro, algunos factores a considerar son: localización de la fuente de alimentación eléctrica para el control de automatización, provisión para desechar el agua de retrolavado, y la seguridad, protección del equipo y los operadores.

Componentes y accesorios del sistema

Una forma de conocer el sistema es con un diagrama de los componentes y accesorios de un sistema de filtrado marca flow-Guard para darnos una idea de cómo están estructurados estos sistemas.

Cuadro 21. Componentes de un Sistema de Filtros de Grava y Arena.

1. *Tanque filtro para grava y arena*
2. *Colector de salida*
3. *Válvula de retrolavado*
4. *Colector de entrada*
5. *Tapa de llenado e inspección*
6. *Toma de drenaje*
7. *Toma de agua limpia*
8. *Toma de acceso de 1/2"*
9. *Acople Vitaulico*
10. *Adaptador Vitaulico de PVC*
11. *Ensamble para alimentacion hidraulica del retrolavado*
12. *Soporte de colector de entrada (solamente los modelos de 48")*
13. *Toma de acceso de 1/4"*

Cuadro 22. Accesorios de un Sistema de Filtros de Grava y Arena.

- | | |
|--|---|
| A. <i>Adaptador hembra de PVC</i> | G. <i>Codo 90° de PVC</i> |
| B. <i>Tubo de observación</i> | H. <i>Válvula alivio de aire y vacio</i> |
| C. <i>Válvula reguladora de flujo de retrolavado</i> | I. <i>Sistema de tuberías de suministro</i> |
| D. <i>Adaptador macho de PVC</i> | J. <i>Válvula alivio de aire y vacio de acción continua</i> |
| E. <i>Te de PVC</i> | K. <i>Válvula de alivio de presión</i> |
| F. <i>Tubería de PVC (CED-40)</i> | L. <i>Soporte</i> |
| | M. <i>Válvula ON/OFF</i> |

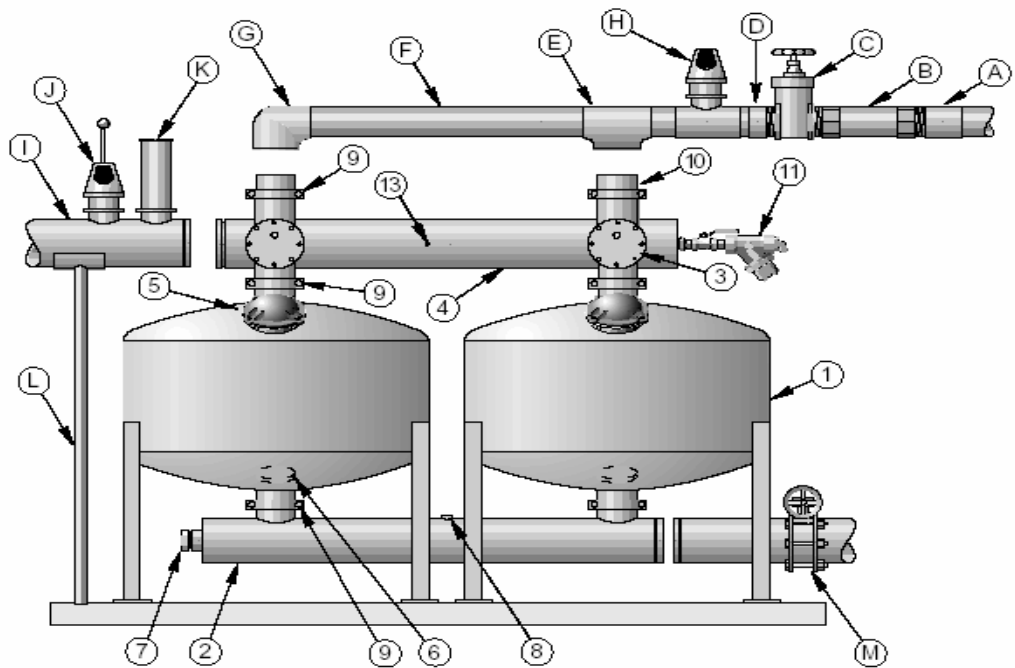


Figura 9. Diagrama de Instalación de los Componentes de un sistema de Filtros de grava y arena (vista Frontal).

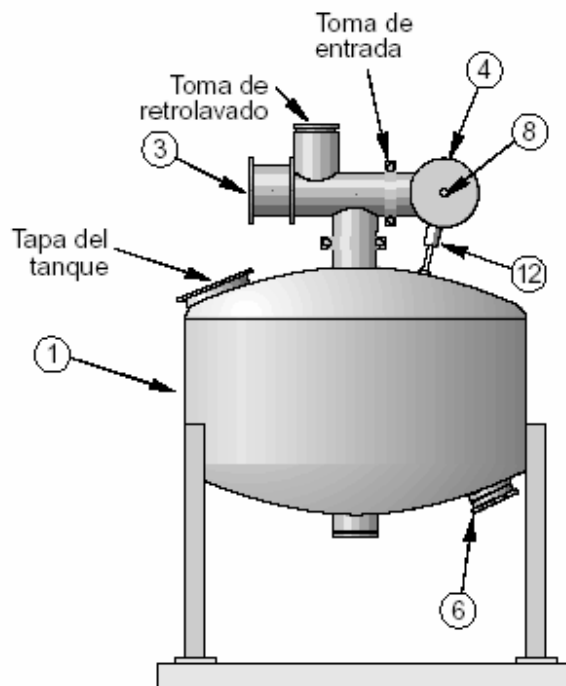


Figura 10. Diagrama de Instalación de los Componentes de un sistema de Filtros de grava y arena (Vista lateral).

Tipos de arena y grava

La calidad de la arena para los filtros es una de las partes mas importantes ya que es determinante para el buen funcionamiento, si es demasiado fina o gruesa influye de forma negativa en su rendimiento. Por lo tanto, una característica que debe tener la arena es que sea homogénea en relación a su tamaño (Odis, 1998).

La grava o arena se clasifica en «clases» de acuerdo a la granulometría del material y del tamaño de los poros. El cuadro 15. Proporciona información relacionada del diámetro de poros y la equivalencia con filtros de mallas, el diámetro de los poros incide en el tamaño mínimo de partículas que son retenidas, mientras que la tasa de filtrado es una función del caudal de trabajo, el diámetro de los filtros y del numero de unidades (Martínez B.,L. 2000).

Cuadro 23. Tamaños promedio de arena, coeficiente de uniformidad y equivalencia en numero Mesh(Boswell,M.,1990).

Tipo de Arena y No.	Tamaño Promedio de la arena (mm)	Coefficiente de Uniformidad de la arena	Equivalencia en Mesh
#20 Crushed Silica	0.48	1.50	190-250*
#16 Crushed Silica	0.68	1.50	130-180*
#12 Crushed Silica	1.05	1.50	90-130*

Cuadro 24. Equivalencia en numero Mesh de diferentes tipos de grava.

MATERIAL	Clase	Ø EFECTIVO		Ø POROS		Mesh
		(mm)	Micrones	(mm)	Micrones	
Granito molido	Nº 8	1,50	1.500	0,214	214	70
Granito molido	Nº 11	0,78	780	0,111	111	140
Arena de Sílice	Nº 16	0,66	660	0,094	94	170
Arena de Sílice	Nº 20	0,46	460	0,066	66	230
Arena de Sílice	Nº 30	0,27	270	0,039	39	400

Calendarización y tiempo de riego

Como se mencionó en la revisión de literatura el propósito de regar es abastecer a las plantas con agua que necesitan para obtener un buen crecimiento y desarrollo. El riego debe aplicarse en tiempo y forma para restablecer el nivel de humedad en el volumen de las raíces.

El tiempo de riego que se requiere para aplicar, depende del gasto del emisor, quedando la siguiente expresión para calcular el tiempo de riego.

$$t = \frac{NDP * IRd}{q_e * Ne} = \left(\frac{766.08 * 1}{3.5 * 40} \right) = 5.28hrs$$

Donde:

t = Tiempo de riego, hrs.

q_e = Gasto del emisor, lph.

NDP = Necesidad diaria de agua en cada árbol, mm.

IRd = Intervalo de riego, se programa para 1 día, m.

Ne= Numero de emisores en cada árbol, m.

En este caso el tiempo de operación en cada sub-unidad será de 4 horas.

Automatización de los sistemas de riego

El elevado costo que tiene la instalación de un equipo de riego presurizado obliga a obtener el máximo rendimiento del equipo, lo que sólo se consigue con el cumplimiento de algunas normas, que requieren un entrenamiento y una mayor preparación por parte de los usuarios.

Niveles de automatización

Los sistemas de riego localizado son, en general, instalaciones fijas formadas por varias unidades de riego que operan consecutivamente con tiempos de operación largos y con alta frecuencia. Por tanto, se prestan a una posible programación automática.

Con los equipos existentes, actualmente, en el mercado se consiguen diversos niveles de automatismo, 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 automatismo ideal para cada caso, deberá hacerse en base a criterios técnico - económicos y preferencias del agricultor. También ha de estar de acuerdo con la formación del personal que lo maneja y de las posibilidades de un buen servicio de reparación y repuestos.

En general, pueden establecerse diversas categorías más o menos arbitrarias para clasificar los niveles de automatismo.

Nivel “cero”

Es el nivel más bajo de automatización. Consiste en utilizar válvulas de accionamiento manual para dar paso al agua de riego hacia cada una de las unidades. En este caso, el parámetro que se utiliza para controlar el riego es el tiempo o volumen de agua aplicado si se dispone de un contador de líquidos, lo que no es habitual. A pesar de ser un nivel mínimo de automatización, el requiere mucho menos mano de obra que cualquier otro sistema, con la excepción de determinadas instalaciones fijas o equipos mecanizados de aspersión. La principal actividad del regante consistirá en la recarga de abonos, mantener los filtros limpios, vigilar que los emisores funcionen correctamente y abrir y cerrar válvulas de acuerdo con el programa de riego.

Nivel 1

En este nivel cada válvula o serie de válvulas debe ser puesta en 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 automatismo total en base a microcomputadores.

Parámetros de control

Para el control automático de las instalaciones, cada unidad de riego dispone de una o varias válvulas, que, accionadas por distintos mecanismos que posteriormente se explicarán, cierran cuando ha pasado un determinado volumen de agua, o tras un determinado tiempo de funcionamiento, siendo estos dos parámetros de control los habituales.

Automatización por tiempo

En este caso, las válvulas que controlan cada unidad de riego, cierran cuando ha pasado un determinado tiempo de funcionamiento.

Automatización por volúmenes

Es el sistema más recomendable para riego localizado en explotaciones de pequeña dimensión, ya que una misma instalación puede suministrar volúmenes de agua diferentes en un mismo tiempo de funcionamiento, al variar el caudal como consecuencia de múltiples circunstancias, como pueden ser: cambios de temperatura, variaciones en la presión de entrada de agua al sistema, colmatación de los filtros, roturas, obturaciones, etc. Por tanto, el control por volumen supone mayor seguridad en el manejo del sistema de riego.

Otros parámetros de automatización

En algunos casos, la apertura y cierre de las válvulas puede hacerse en función de valores alcanzados por parámetros indicadores del estado del agua en el suelo y/o en la planta, como potencial de agua en el suelo o temperatura de la hoja. A veces se automatiza en base a parámetros micrometeorológicos, el caso más frecuente es la altura de agua en un tanque evaporimétrico.

Modo de operación

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

Hidráulicos

En este caso las válvulas actúan por señales de presión de agua transmitidas a través de tubo de PE de pequeño diámetro (4-6 mm). Normalmente controlan volumen.

Eléctricos y/o electrónicos

Las válvulas actúan bajo excitación magnética creada por solenoides al recibir impulsos eléctricos. Normalmente controlan tiempos.

Mixtos

En éstos se combinan ambos tipos.

Automatismo hidráulico.

Válvulas hidráulicas

Son mecanismos que interrumpen el paso de 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 tipos:

- **Normalmente abiertas:** Cierran al recibir la señal hidráulica. El agua entra por el tubo de control a la cámara y crea una presión hacia abajo de igual magnitud a la existente en la red. Sin embargo, la fuerza de empuje es mayor en el diafragma que en la junta de cierre, por tener una mayor superficie, el pistón baja y se produce el cierre.

- **Normalmente cerradas:** Abren al recibir la señal hidráulica. En este caso, el proceso es análogo al anterior, pero el agua de control entraría a la cámara inferior del diafragma y, por lo tanto, el empuje sería hacia arriba abriendo la válvula.

Válvulas volumétricas

Constan de un contador de agua tipo Woltmann y una válvula hidráulica o mecánica, esta última sólo para diámetros pequeños (normalmente hasta 1”), conectados entre sí.

La válvula se pone en funcionamiento cuando se gira a mano un dial en el que se marca el volumen de agua deseado. Cuando el contador ha medido esa cantidad y el mando ha vuelto a cero, se transmite una señal a la válvula hidráulica o mecánica que corta el flujo de agua.

Normalmente, el contador y la válvula hidráulica suelen integrarse en un único cuerpo, sin embargo, también se pueden encontrar volumétricas con ambos mecanismos por separado, conectados mediante una válvula multivías.

Válvulas multivías

Las válvulas volumétricas e hidráulicas, se conectan entre sí en los automatismos de tipo secuencial hidráulico. Las conexiones se realizan con tubito de PE y en ellas, cuando sea necesario, cambiar la dirección de las señales (flujo del agua), se utilizan pequeñas válvulas de 3 a 5 vías que envían señal hidráulica por una u otra salida, en función de la entrada por la que les llegue.

Niveles de automatismo hidráulico

Nivel uno

El más elemental consiste en instalar válvulas volumétricas independientes. En este caso, el riego se realiza válvula a válvula abriendo manualmente y cerrando automáticamente, en cuyo momento se procede a abrir otra. No hay ninguna limitación en cuanto al orden de apertura de las válvulas.

Nivel dos

Es el riego secuencial hidráulico, en él las válvulas volumétricas van conectadas entre sí, de forma que la apertura es manual y simultánea para todas ellas. Mientras riega la primera, envía una señal que mantiene cerradas a las demás. Cuando finaliza el riego de la primera, se abre automáticamente la segunda, manteniendo las demás cerradas, y así sucesivamente.

En este tipo de automatismo, una vez fijado el orden de riego de las válvulas y hechas las conexiones, no puede alterarse dicho orden sin proceder a una nueva conexión.

Una limitación en este tipo de automatismos es la distancia (unos 200 m), a la cual la señal es tan débil que produce un mal funcionamiento de los mecanismos hidráulicos. Una válvula multivía puede utilizarse para reforzar esta señal, tomando presión directamente de la red, en aquellos puntos donde convenga. Con este procedimiento, hoy en día se ha eliminado esta limitación. Otro problema lo constituye el desnivel que en ciertos casos mantiene suficiente presión dentro del tubo de PE, aunque haya cesado la señal.

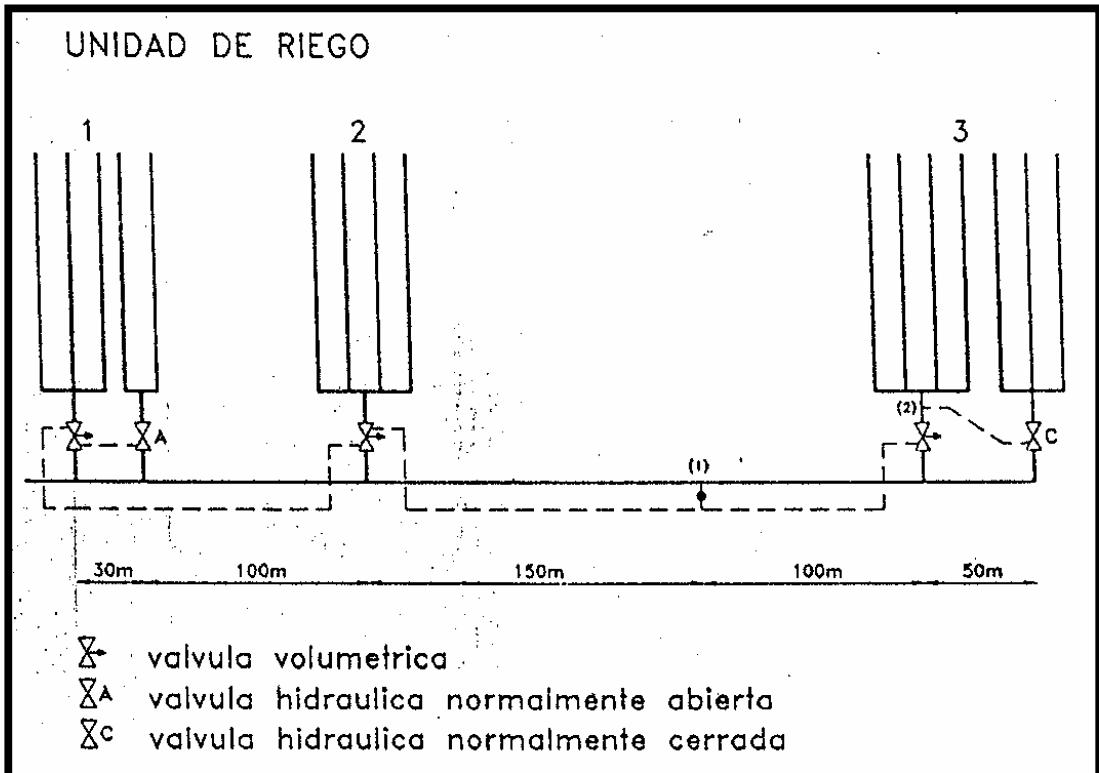


Figura 11. Automatismo secuencial hidráulico.

Automatismo electrónico

Tipos de automatismo electrónico

I.- Válvulas solenoides. Son mecanismos que abren o cierran el paso del agua actuando por excitación eléctrico-magnética. Esta señal les llega por un cable eléctrico.

En realidad sólo en las válvulas de muy pequeño diámetro (inferior a $\frac{3}{4}$ ") el solenoide actúa directamente sobre el mecanismo que abre o cierra el paso de agua por la tubería. En los demás casos la válvula solenoide abre o cierra el paso de agua en un pequeño circuito, que es el que envía las señales a una válvula hidráulica del mismo tipo de las anteriormente descritas. No obstante, frecuentemente se denomina "válvula solenoide" al conjunto "válvula solenoide + válvula hidráulica".

II.- Programadores de control por tiempo. Constan fundamentalmente de un reloj y de un conjunto de mandos e interruptores que permiten fijar a voluntad el orden de apertura y cierre de las válvulas solenoides 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 necesitan energía eléctrica y algunos modelos vienen preparados para operar con baterías. Estos programadores realizan el arranque y parado de bombas eléctricas, tanto para impulsión de agua de riego, como para inyección de fertilizantes.

Existen modelos pequeños sólo para el control del ciclo de riego que se venden incorporados a las propias válvulas solenoides y que en algunos casos permiten conectarlas entre sí, para riego secuencial, sin necesidad de programador central.

III.- Programadores de control por volumen. Tratando de compaginar las ventajas del automatismo hidráulico y el electrónico han surgido éstos. En ellos el control se realiza por volúmenes, en lugar de programar por tiempo. La dosis de riego se controla a través de pulsos eléctricos, asociando cada pulso a un determinado volumen de agua medido por medio de un contador que envía señales al programador cada vez que el indicador correspondiente mide una vuelta completa, cerrando un circuito eléctrico a través de un electroimán.

Niveles de automatismo electrónico

Con estos programadores pueden conseguirse niveles de automatismo muy superiores a los del tipo hidráulico, pues no sólo permiten establecer la secuencia de riego y las dosis para cada unidad, sino que se puede automatizar la decisión de regar, e incluso la dosis de riego a aplicar en cada unidad, en función de una serie de parámetros medidos a través de sensores colocados en el cultivo y que envían las señales correspondientes al programador central, que arranca y para el grupo de impulsión si fuese necesario.

Con estos sistemas, al enviar señales eléctricas no hay limitaciones de distancia ni topográficas como en el caso de los hidráulicos. Como inconveniente destaca la necesidad de una fuente de energía y el tratarse de mecanismos, en general, más complicados.

Automatismo por microcomputadores

Con los recientes avances en el campo de los microprocesadores se consiguen unidades muy compactas a precios interesantes para uso en agricultura, que permiten alcanzar el nivel de “automatismo total”.

Con este tipo de automatismos, se consigue un avance cualitativo interesante, como es la posibilidad de controlar el funcionamiento hidráulico de la instalación 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, control sobre la aplicación de fertilizantes y pesticidas, etc.

El control de riego se hace a través de volúmenes medidos en un contador que envía pulsos al programador, tal como se ha explicado anteriormente. en función de los volúmenes medidos, éste abre y cierra válvulas solenoides instaladas en el campo, si se dispone de energía eléctrica, o a través de válvulas hidráulicas si no se cuenta con electricidad. Estas válvulas hidráulicas son controladas por pequeñas válvulas solenoides piloto, situadas en las proximidades del microcomputador.

Estos equipos instalados con solenoides piloto son de bajo consumo y se alimentan mediante pilas secas ordinarias, aun disponiendo de energía eléctrica para evitar los inconvenientes de un corte de fluido.

Fertilización en sistemas automatizados

El uso de tanques de fertilización en sistemas de riego automatizados es muy restringido. La concentración de la solución que inyectan estos aparatos varía con el tiempo y, por lo tanto, las unidades que riegan al final reciben menor cantidad de abonos que las primeras. Aunque la variación de la concentración en el tiempo puede disminuirse mediante la disminución del caudal a través del tanque, aumento del volumen del tanque, conexión de tanques en serie, tanques de desplazamiento, etc., los resultados no suelen garantizar una buena uniformidad de fertilización. La alternativa sería colocar un tanque por unidad de riego lo cual es caro y en muchos casos exige mucha mano de obra de preparación de las mezclas fertilizantes.

El uso de inyectoros simplifica el problema. Si las unidades de riego son similares en caudal o en número de plantas, pueden usarse inyectoros no proporcionales. Las variaciones admitidas dependerán de la precisión deseada en el reparto de abonos. En general, dado el conocimiento sobre las necesidades de fertilizantes que se posee para la mayoría de los cultivos, se puede admitir variaciones hasta $\pm 5\%$ sobre la unidad de riego media.

En el caso de automatismos electrónicos y mixtos, no se presentan las limitaciones anteriores, pues los programadores normalmente permiten aplicar a voluntad diferentes dosis de fertilizantes a las unidades de riego.

Cuadro 25. Resumen de sistemas de automatismos.

Nivel de automatismo	Parámetro de control	Modo de operación	Comienzo del riego	Orden de marcha	Cambio de orden de marcha	Cambio de dosis de riego	Arranque (A) Parada (P) de bombas	Tipo de fertilizador
Cero	Tiempo o Volumen	Manual	Apertura manual	Cualquiera	Sin limitaciones	Cambiar tiempo	A : Manual P : Posible automatismo	Cualquiera
Uso (parcial)	Volumen	Hidráulico	Apertura manual	Cualquiera	Sin limitaciones	Ajuste del dial de la volumétrica	Idem	Cualquiera
Uno (secuencial)	Volumen	Hidráulico	Apertura manual	Fijo	Cambiar conex. hidráulicas	Ajuste manual dial volumétrica	A : Manual P : Automática	Inyectores
Dos	Tiempo	Eléctrico	Programación horaria	Cualquiera	Sin limitaciones	Ajuste de tiempo	A : Automática P : Automática	Inyectores
Tres (total)	Volumen, tiempo u otros	Micro-computadores	Programación horaria o con sensores	Cualquiera	Sin limitaciones	Ajuste de tiempo, volumen o de sensores	Idem	Inyectores

Efectos de un leve déficit en riego

La deficiencia de agua durante el desarrollo del nogal pecadero puede afectar el crecimiento de brotes y raíces, la floración, amarre de frutos, el tamaño, llenado de la nuez y la apertura del ruezno (Valdez y Núñez, 1991).

En condiciones extremas de falta de agua, los nogales sufren serios daños, tales como amarillamiento prematuro del follaje y caída de hojas de ramas terminales. En algunas condiciones (p. ej. suelos arcillosos) la saturación del suelo puede producir más daño al nogal que la diferencia de agua. En los suelos saturados el aire es desplazado por el agua, quedando sin oxígeno, lo que altera la respiración y el funcionamiento metabólico de las raíces.

Existe la experiencia de que aquellas huertas que reciben bajos niveles de humedad durante el desarrollo inicial del fruto, producen nueces más pequeños y que el llenado de la nuez, porcentaje de almendra, es mayor.

Costos de inversión en riego por goteo

Los costos de materiales y equipo de sistemas de riego por goteo, varían considerablemente, dependiendo del tamaño y espaciamiento de los árboles, selección y disposición de la línea lateral y emisor, número de emisores por árbol y equipo de filtración requerido.

Mantenimiento a los sistemas de riego por goteo subsuperficiales

Los sistemas de riego por goteo subsuperficiales distribuyen los flujos de agua a una velocidad lenta de una manera muy uniforme. Un sistema diseñado adecuadamente y al cual se le ha dado el mantenimiento apropiado debe de durar más de 20 años.

Un programa de mantenimiento incluye: limpiar los filtros, lavar las líneas, agregar cloro e inyectar ácidos. Si se llevan a cabo estas medidas preventivas, se puede evitar la necesidad de hacer reparaciones mayores, como reemplazar las partes dañadas y se puede extender la vida útil del sistema.

El propósito del mantenimiento preventivo es prevenir que los emisores se tapen, ya que los sólidos suspendidos, la precipitación de magnesio y calcio, los óxidos y el sulfuro de manganeso-hierro, las algas, las bacterias y las raíces de las plantas pueden tapar los emisores.

Asegúrese que su sistema tenga un medidor de flujo y un par de medidores de presión (manómetros) -un manómetro debe estar colocado antes de los filtros y otro después de los filtros. Hágale una inspección rápida a estos instrumentos diariamente.

Estos indican si el sistema está funcionando adecuadamente. Si el regulador de presión indica una lectura de presión baja significa que una sección tiene una fuga o que un tubo está roto. Una diferencia en la presión entre los filtros puede significar que los filtros no están limpios y que se necesitan lavar.

Conozca las características del agua para que pueda anticipar problemas. La siguiente tabla muestra algunas características del agua que pueden causar taponamientos.

Cuadro 26. Potencial de taponamiento causado por aguas con diferentes propiedades

Propiedades químicas	Bajo	Moderado	Severo
PH	< 7.0	7.0-8.0	>8.0
Bicarbonato (ppm)		<100.0	
Fierro (ppm)	<2.0	0.2-1.5	>1.5
Sulfuros (ppm)	<2.0	0.2-2.0	>2.0

Mantenimiento de los filtros

El filtro es importante para el éxito del sistema. El agua debe ser filtrada para remover los sólidos suspendidos. Hay tres tipos principales de filtros: filtros ciclónicos (separadores centrífugos); filtros de malla y disco; y filtros de arena. Una práctica común es el instalar una combinación de filtros para que estos funcionen efectivamente.

Separadores centrífugos

Estos filtros requieren poco mantenimiento, pero requieren lavados frecuentes. La cantidad de sedimento en el agua que entra al filtro, la cantidad de agua usada y la capacidad de recolección del depósito determinarán con qué frecuencia y por cuánto tiempo tienen que operar las válvulas de lavado. El sedimento se puede arrojar del filtro manual o automáticamente. En caso de que sea manual, se debe abrir y cerrar la válvula del fondo del filtro a intervalos regulares. Una válvula electrónica programada por un controlador puede abrir el filtro automáticamente. La operación de la válvula automática se debe revisar por lo menos cada dos días durante la temporada de riego.

Filtros de malla y disco

Los filtros pequeños de malla usan un colador o una bolsa de nylon que se debe quitar e inspeccionar periódicamente para ver si no hay agujeros pequeños. Las válvulas de lavado controlan el retroflujo de los filtros de malla y se puede operar manual o automáticamente. Lave los filtros de malla cuando la presión entre los dos medidores de presión bajen de 5 psi (uno está localizado antes de los filtros y el otro después de los mismos). Los filtros automáticos usan un aparato llamado “interruptor de diferencial de presión” para detectar una reducción de presión entre los filtros. Otros sistemas utilizan un cronómetro, que usualmente se fija por el operador. El lavado se pueden sincronizar según la hora de riego y la calidad del agua. El tiempo entre lavados se puede ajustar para tomar en cuenta las diferencias de presiones entre los filtros. Los aparatos automáticos de lavado se deben de inspeccionar por lo menos cada dos días en los sistemas grandes.

Filtros de arena

Se recomienda que una vez al mes o con mayor frecuencia si las condiciones de agua así lo determinan; se debe destapar el filtro, remover la grava depositada al interior e inyectar agua con una manguera o tubería, provocando que el rebalse que se produce por la misma abertura, arrastre las partículas depositadas en el interior, este lavado se prolonga hasta que el agua salga limpia y la grava se vea blanca, así mismo la remoción debe hacerse hasta el fondo del filtro, de manera que todo el volumen ocupado por la grava sea removido.

Una vez que el filtro se haya cargado de impurezas, alcanzando una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado por lavado a contracorriente, los filtros de arena están dotados de sistemas de retrolavado, manual o automático, que invierten el flujo del agua dentro del filtro (Flow-Guard, 2000).

Lavado de las líneas laterales y los distribuidores

Las partículas muy finas pasan por los filtros y pueden tapar los emisores. Mientras que la velocidad del agua sea alta y haya turbulencia en el agua, estas partículas permanecerán suspendidas. Si la velocidad del agua se vuelve más lenta o si hay menos turbulencia en el agua, estas partículas se sedimentarán. Esto normalmente ocurre en las puntas distantes de las líneas laterales. Si estas no se lavan, los emisores se taparán y la línea eventualmente se llenará con sedimento empezando desde la punta final hacia adentro. Los sistemas deben de ser diseñados para que las líneas principales, los distribuidores y las líneas laterales puedan ser lavados. Las líneas principales, las secundarias y las válvulas son lavadas por medio de una válvula instalada en el tubo que colecta el agua proveniente de las tuberías laterales. Las líneas laterales se pueden lavar manual o automáticamente. Es importante lavar las líneas por lo menos cada 2 semanas durante la época de riego.

Inyectando cloro

A una concentración baja (de 1 a 5 ppm), el cloro mata las bacterias y oxida el hierro. A una concentración alta (de 100 a 1000 ppm), el cloro oxida la materia orgánica y la desintegra.

Se debe inyectar un poco de cloro extra para compensar por el cloro que se encuentra atado con el agua, se calcula con la expresión siguiente.

Cantidad de inyección de cloro

Calcule la cantidad de inyección utilizando estas fórmulas:

$$CI = \frac{0.036 * F * C}{P}$$

En donde:

CI = Cantidad de Inyección, (lts).

F = Velocidad de Flujo del sistema (lps).

C = Concentración de cloro deseada, (ppm).

P = Porcentaje de cloro en la solución, (ppm).

El porcentaje de cloro de diferentes compuestos se indica a continuación:

- Hipoclorito de Calcio—65%
- Hipoclorito de Sodio (cloro de uso domestico)—5.25%
- Hipoclorito de Litio—36%

Inyectando ácido

Los ácidos son inyectados al agua de riego para tratar el taponamiento causado por el carbonato de calcio (cal) y la precipitación de magnesio. El agua con un pH de 7.5 o más alto y un nivel de bicarbonato de más de 100 ppm probablemente presentará problemas de precipitación de cal, dependiendo de la dureza del agua. La cantidad de calcio y magnesio determina la dureza del agua. La dureza del agua se clasifica como se indica a continuación: suave (0 a 60 ppm de Ca y Mg); moderada (de 61 a 120); dura (de 121 a 180); muy dura (más de 180 ppm). El agua moderada, dura y muy dura necesita que se le inyecte ácido.

Se puede utilizar ácido sulfúrico, fosfórico, sulfúrico-urea o cítrico. El tipo de ácido que se utiliza más comúnmente en el riego por goteo es el ácido sulfúrico de 98%. El ácido cítrico, o el vinagre se pueden usar en los cultivos orgánicos, aunque son mucho más caros. Si el agua de riego tiene más de 50 ppm de Ca, no se debe inyectar ácido fosfórico, a menos que se inyecte a altas concentraciones para bajar el pH por debajo de 4.

El ácido usualmente se inyecta después del filtro para que no cause corrosión el filtro. Si el filtro está hecho de polietileno, el cual resiste la corrosión, el ácido se puede inyectar antes del filtro.

La cantidad de ácido a ser utilizada depende de las características del ácido que usted está usando y de las características químicas del agua de riego. Una curva de titulación para neutralizar el ácido debe ser desarrollada por un laboratorio y esta indicará la cantidad de ácido necesaria para reducir el pH a cierto nivel seguro. Si una curva de valoración ácido-base no está disponible, use el sistema de pruebas y errores hasta que el pH se reduzca a 6.5. Equipos colorimétricos o medidores de pH portátiles se pueden usar para determinar el pH del agua al final de las puntas de las mangueras.

Muchos agricultores inyectan de 1 a 5 galones de ácido sulfúrico por hora, dependiendo del pH del agua, la calidad del agua y la capacidad del pozo.

Además de destapar los emisores obstruidos, el ácido que ha sido inyectado dentro del agua de riego mejora las características de infiltración de algunos suelos y liberará micronutrientes al reducir el pH del suelo. Para reducir el costo, se puede inyectar ácido solamente durante la última tercera parte del tiempo de riego.

CONCLUSIONES

A continuación se mencionan las condiciones más sobresalientes que se encontraron:

- El riego por goteo subsuperficial solo se aplica a la superficie deseada, en cambio con el sistema de aspersion se moja áreas no deseadas, como el tronco y follaje del árbol.
- El ahorro de agua es espectacular, ya que pueden manejar el 70, 60 o 50 % del agua que se requiere con otros sistemas, principalmente contra rodado, las perdidas de agua por conducción y evaporación se eliminan.
- Equipos mecánicos pueden transitar libremente entre las hileras de los árboles sin provocar daño alguno.
- Se pueden realizar labores culturales sin dificultad.
- Con este sistema se pueden emplear aguas residuales, ya que debido al especial diseño de su gotero autocompensante asegura una constante y automática limpieza del mismo.
- Mayor duración del lateral, por estar protegido de la radiación solar y cambios en las condiciones ambientales como temperatura y humedad.
- Menor exposición a roturas provocadas por labores culturales como desmalezadas, cosecha, poda, etc.
- Aplicación de agua y nutrientes directamente al sistema radical, especialmente importante en la aplicación de fertilizantes con escasa movilidad.
- Se reduce la emergencia de maleza debido a que en un perfil superficial del suelo no se moja, en dicho espesor se encuentra la mayoría de la semilla de las malezas.
- El emisor mantiene un caudal constante con variaciones de presión que van de los 5 a 40 mca.
- Su mecanismo de autorregulación, asegura el mantenimiento de un caudal uniforme en toda la longitud del lateral.

RECOMENDACIONES

- La aplicación del riego por pulsaciones favorece el desplazamiento capilar del agua tanto hacia arriba como lateralmente que si con el mismo sistema se aplica el riego de forma continua, con el mismo tiempo total de aplicación. Las pulsaciones ideales son por cerca de 45 minutos con el sistema encendido y luego apagado por 45 minutos.
- La operación y mantenimiento del sistema debe realizarse por personal calificado.
- Para poder regar todas las unidades en un solo día, se recomienda operar cada sub-unidad en 4 hrs., recortando el intervalo de riego dependiendo de las etapas de desarrollo y de las condiciones climáticas.
- Se debe tener cuidado con la succión de partículas del suelo, que pueden penetrar a través de la tubería de goteo debido a la presión de vacío creada en laterales con pendiente, cuando el agua es drenada al final del ciclo de riego. Este problema se puede solucionar instalando válvulas de aire en o cerca de los puntos altos.
- Las válvulas de aire deben instalarse de tal manera que no se conviertan en fuentes de contaminantes para el sistema de goteo, ya que muchos abren si el sistema no esta operando, con lo cual permiten que caiga suciedad dentro de las tuberías. Esto se puede solucionar con instalaciones suficientemente elevadas para prevenir que partículas de suelo entren a la tubería. Así también con el posicionamiento horizontal de algunos tipos de válvulas de vacío.
- El lavado de las mangueras debe realizarse frecuentemente dependiendo de la calidad del agua.
- Los fertilizantes deben inyectarse aguas arriba de los equipos de filtrado, a excepción de los ácidos fuertes, que comúnmente se inyectan aguas debajo de los filtros para evitar problemas de corrosión en los filtros.
- Se recomienda utilizar el material que dono la empresa NETAFIM a la Universidad para ese fin, lo cual permitiría disminuir los costos del sistema, ya que es una buena cantidad

RESUMEN

En el norte del país es una zona que se caracteriza por muy poca precipitación pluvial con un periodo muy corto y una humedad relativa baja, la reserva de agua es en presas y distribuidos por canales de riego o en pozos profundos que se han perforado incluso a mas de 400 m., esta profundidad nos hace muy costosa la extracción del agua.

Para manejar este cultivo con goteo localizado se prevé un sistema capaz de dar el requerimiento máximo del árbol, en el día más crítico del año, con el sistema de goteo se suministra el agua y los nutrientes necesarios, en un sentido, las raíces absorbentes se desarrollan en esta franja y en definitiva el árbol hace menos esfuerzos para extraer lo que necesita.

El goteo subsuperficial tiene la ventaja que no estorba la manguera para los manejos de la huerta, las aspersiones pueden ser en cualquier época del año, el fertilizante como el nitrógeno no se evapora, el fósforo que normalmente tiene muy poca arratrabilidad antes que se quedaba en los primeros 10 o 15 cm. de suelo, ahora se aplica directamente a la raíz. El goteo subsuperficial es el sistema que más eficientiza el uso de fertilizantes.

Con el goteo en subsuperficial, la mayor parte de la superficie se mantiene seca, por lo que el tráfico para el manejo de la huerta puede ser en cualquier fecha.

El ahorro de agua es espectacular, ya que pueden manejar el 70, 60 o 50 % del agua que se requiere con otros sistemas, principalmente contra rodado, las pérdidas de agua por conducción y evaporación se eliminan.

EL uso de goteo subsuperficial nos obliga a llevar un control más estricto del uso del agua y los fertilizantes, como no vemos el agua, nos debemos de auxiliar con tensiómetros.

Para diseñar un sistema de riego subsuperficial es muy importante prever que los goteros no se vayan a tapar y en este cultivo, tener la certeza de que el sistema no nos va dar problemas en los próximos años, esto se logra usando emisores autolimpiables, sistemas de filtrado de alta calidad, controladores de flujo y controladores de presión, válvulas de lavado periódico, etc.

En la instalación es bueno pasar un subsuelo por el eje donde va a colocarse la manguera hasta estar seguro que no va a ver ninguna obstrucción física, es importante colocar la manguera antes de hacer las excavaciones para la tubería, se instala la tubería y se lava muy bien antes de conectar a la manguera de goteo, en todo momento hay que tener en cuenta que hacer provisiones es más barato que lamentar no haberlo hecho.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera C. M. y Martínez E. R. 1996. Relaciones Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. 4ª Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. p. 209,222.
- Allen y Jensen, 1997. Citados por el Servicio de Conservación del Suelo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Boswell, M. J. 1984. Micro-Irrigation Design Manual. Hardie Irrigation. El Cajon, C. A.
- Boswell, M.J. 1990. Micro-Irrigation Design Manual. James Hardie Irrigation Co., El Cajon, CA.
- Burt, Ch; Styles, S. 1994. Drip and Microirrigation for Trees, Vine, and Row Crops. California, United States of America. ITRC. 261 p.
- Camp, C. R. 1998. Subsurface Drip Irrigation: A review. Trans. of the Am. Soc. Agric. Eng. 41: 1353-1367.
- Charles M. Burt, P. E., Ph. D. Stuart W. Styles, P. E. 2000. Drip and Micro Irrigation for Trees, Vines, and Row Crops. 2ª Edición. Impreso por Center Coast Printing, San Luis Obispo, California. E. U. Versión en español por José Antonio Forero Saavedra, Ph. D. 2000. 1 Ed. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Disponible en www.itrc.org.
- Clark, G. A. and A.G. Smaistra. 1996. Design Considerations for Vegetable Crop Drip irrigation Systems. Hort Technology 6:155-159.

- Corral Herminio. 1999. Cultivo de Frutales con Goteo Enterrado: Instalación en Nogal Pecaners en el Norte de México. Netafim México. 181 p.
- Flow-Guard, 2000. Manual de Instalación y Operación, Filtros de Arena y Grava Verticales Fresno Valves & Castings, Inc.
- Fuentes, Luis. 1998. [Técnicas](#) de Riego. 3ª ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-[Prensa](#). 515 p.
- Godoy A., C. y Lagarda M., A. 1978. Efecto de Tres Frecuencias de Riego Sobre el Desarrollo del Nogal. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte. Matamoros, Coah., México. Informe de Investigación en Fruticultura 1978:25-40.
- Godoy A., C. y M. A. Lagarda. 1986. Effect of Different Levels of Evapotranspiration in Pecan Nut Development. Twentieth Western Pecan Conference Proceeding. New Mexico State, University. p. 45-57.
- González M. A., R. Dzid E. y J. Jasso A. 1997b. Manejo de Agua en los Cítricos de Yucatán. Serie Didáctica. SAGAR-INIFAP-CIRS-CEZH. Mocochá, Yucatán, Mexico.
- Hagin, J. And A., Lowengart. 1996. Fertigation for Minimizing Enviromental Pollution by Fertilizers. Fertilizer Research. 43:57.
- Hanna, J. D. (a). 1988. Irrigation of Pecans in Arid Climates. Texas Pecan Orchard Management Handbook. pp. 66-70.
- Hanna, J. D. (b). 1988. Calculating Water Need's For a Pecan Orchard. Guide H-612. Coop. Ext. Serv. New Mexico State University.
- Hargreaves H., G. y Z. A. Samani. 1991. Irrigation Scedulin. Manual Publisher by Editts., P.O. Box 208 Las Cruces, N. M. 88001.

- Hartz, T. K. 1995. Manejo del Agua en la Producción de Hortalizas con Riego por Goteo. En. El Uso de la Plásticultura para la Producción Intensiva de Cultivos Hortícolas. Curso Nacional de Fertirrigación del INIFAP.
- Holzapfel, E. H. Riego por Goteo y Microjet. Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad de Concepción. www.chileriego.cl.
- Israelsen, Orson; Hansen, Vaughn. 1975. Principio y Aplicaciones del riego. 2ª Edición. Barcelona, España. Editorial Reverté, S.A. 396 p.
- Jorgensen, G; Norum, K. 1993. Subsurface Drip irrigation: Theory, Practices and Application Conference. California, EE.UU. Edited by G. Jorgensen and K. Norum. 216 p.
- kay, M.G., S.F. Tyrrel, P. Howsam. 1989. Biofouling in Drip/Trickle Irrigation Systems. Irrigation, Theory and Practice. Proceedings of the International Conference. University of Southampton. Pentech Press, London. pp 652-659.
- López E., j., L. Tijerina Ch., G. Haro A. y R. Arteaga R., 1991. Calibración de Formulas de Evapotranspiración Mediante un Cultivo de Alfalfa como Referencia en el Área de Montecillo, Estado de México. Agrociencia 2: 55-72.
- López, R; Hernández. J.M; Pérez, A; Gonzáles, J.F. 1992. Riego Localizado. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 399 p.
- Luís M. López Llanes. 1975. Manual para el Cultivo del Nogal en Texas – Traducción. Delegación Estatal de Extensión Agrícola Dependiente de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, Agencia en Torreón, Coah. p 141.

- Manuel Muncharaz Pou. 2001. El Nogal: Técnicas de Cultivo para la Producción Frutal. Ediciones Mundi – Prensa. México. 22 – 28 p.
- Martínez B., L. 2000. Operación y Mantenimiento de Equipos de Riego para Pequeños Agricultores. Instituto de Desarrollo Agropecuario. Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena). Boletín INIA N° 24, 28p.
- Martínez, E. R. 1991, Riego Localizado. UACH, Chapingo, México.
- Medina, José. 1997. Riego por Goteo. 4ª Edición. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 302 p.
- Medina, J. A. 2000. Riego por Goteo: Teoría y práctica. 4ª Edición. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. México S. A. de C. V. México.
- Medina San Juan, José A. 1979. Riego por Goteo. Mundi Prensa. Madrid España. Pp 25-30.
- Miller, Agustín. 1993. Manejo de Agua y Producción Agrícola. Santiago, Chile. Instituto Interamericano de Cooperación para la [Agricultura](#). 556 p.
- Miyamoto, S. 1983. Consumptive Water Use Of Irrigated Pecans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108 (5): 676-681.
- Nakayama, F.S., Y D.A. BUCKS. 1986. Trickle Irrigation for Crop Production. Design, Operation and Management. Developments in Agricultural Engineering. Elsevier.
- Núñez, M. H., Márquez C. A., Sabori P. R. y Valdez G. B. 2004. Efecto del Riego Restringido Durante el Amarre del Fruto en el Rendimiento y Calidad de la Nuez. In: Memoria Técnica 2. Seminario del Nogal Pecanero. INIFAP-CIRNO-CECH. Hermosillo, Sonora, México. p.15-19.

- Osorio Alfonso Ulloa. Equipos de Filtraje, Fertilización, Control y Automatización en Riego Localizado. INIA Intihuasi. www.chileriego.cl
- Palacios, V. O. L., Nikolski, Y., Landeros, S. C., Pimentel, I. J., Ramírez, A. C. 1993. Manual de Drenaje Parcelario de Distritos de Riego. Ed. IMTA. Jiutepec, Morelos, México.
- Peña, P. E. 1993. Hidráulica de Sistema de Riego Presurizado. I Diplomado de Ingeniería de Riego, Colegio de Posgraduados, Montecillos, Edo. De México.
- Phene Claude, J. 1999. Irrigación con Goteo Subsuperficial. Volumen VI del V Curso Internacional de Sistemas de Riego, Organizado por el Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia. 3ª Edición. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 511p.
- Pizarro Cabello, Fernando. 1990. Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF) Goteo, Microaspersión, Exudación. 2ª Edición. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. Pp. 273-283.
- Reche M., J. 1994. Limpieza y Mantenimiento de las Instalaciones de Riego por Goteo. Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario. Dirección General de Infraestructura y Cooperación. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hojas Divulgadoras N° 8-9/93 HD, 63p.
- Rosenberg, N. J. 1974. Microclimate. The biological environment. John Wiley. New York.

Rodrigo, L. J. 1996. Riego Localizado II, Programa Informativo. 2ª Edición. Mundi Prensa. Madrid, España.

Ruskin, R. 2000. El Riego por Goteo Subterráneo y los Rendimientos (en línea). Consultado 20 Sept. 2000. Disponible en <http://www.geoflow.com/agriculture/yields.htm>

Santibáñez, Fernando. 1994. II Curso Interamericano Diseños de Proyectos de Riego y Drenaje: Tema III Balance Hídrico y Demandas de Riego. Primera edición. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y forestales. 400p

SARH, 1981. Métodos Avanzados de Riego. Tomo I. México, D.F.

Smajstrla, A. G., B. J. Boman, D. Z. Haman, D. J. Pitts Y F. Zazueta. 1990. Field Evaluation of Microirrigation Water Application Uniformity. Bulletin 265. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville, Florida.

Valdez, G. B. y H. M. Núñez. 1991. Respuesta del Nogal Pecadero a la Microaspersión Partiendo de Riego por Inundación con Diferente Manejo de Humedad. p. 221. In: Tovar S. y R. Quintero (eds.). La Investigación Edafológica en México. 1990-1991. Memorias del XXIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de las Ciencias del Suelo. Pachuca, Hgo.

Van Niekerk, A.S. 1995. Measuring the Dirtiness of Irrigation Water for Microirrigation Filters. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress. Orlando. Florida. Pp 586-591.

Zazueta, R. F. S. 1992. Micro-Irrigación. ICFA Internacional, Inc. México.

Zoldoske, David. El Futuro del Riego Subterráneo (en línea). Estados Unidos.
Consultado 28 Sept. 2000. Disponible en
<http://www.dripin.com/rootguard.htm>

<http://www.agrobit.com.ar/Microemprendimientos/cultivos/Frutales/nogal/MI000001no.htm>

http://www.inta.gov.ar/ALTOVALLE/info/biblo/rompecabezas/pdfs/rompe40_req uena.pdf

<http://www.netafim.com.ar/494/#>

<http://www.inia.cl/intihuasi/nogal12.htm>

<http://www.agrocabildo.com/riego/base.htm>

<http://www.t-tape.com/>

<http://www.bermad.com/>

APENDICE

44	Empaque de 3"	PZ	225
45	Inicial con goma 16 mm	PZ	480
46	Tee Hid. Cem 2 x 2 x 3"	PZ	10
47	Codo Hid. Cem. 90° x 3"	PZ	10
48	Niple Galvanizado 3" x 0.2 m	PZ	38
49	Codo Galvanizado 90° x 3"	PZ	34
50	Niple Galvanizado 3" x 1.4 m	PZ	24
51	Valvula tipo angulo 3"	PZ	6
52	Válvula Tipo Globo 3" Bermad	PZ	6
53	Tee Hid. Cem. 3 "	PZ	9
54	Codo Galvanizado 90° x 2"	PZ	10
55	Adaptador embra PVC 2" roscada	PZ	4
56	Niple Galvanizado 2" x 0.2 m	PZ	8
57	Tuerca Unión Galvanizado 2"	PZ	2
58	Cinta teflón 3/4" x 12 m	PZ	20
59	Lubricante para PVC lata de 500 g	PZ	4
60	Cemento para PVC	LT	4
61	Depósito de 200 LTS	PZ	2
62	Solvente limpiador PVC	LT	2
63	Controlador para 12 válvulas	PZ	1
64	Cable #16 AWG rojo de 500/rollo	ROLLO	6
65	Cable #16 AWG blanco de 500/rollo	ROLLO	4
66	Tubo PVC Sanitario 1"	PZ	276
67	Instalación de equipo de bombeo	OFICIAL	30
68	Instalacion de sistema de riego	JORNAL	100
69	Zanjeo con retroexcavadora a 0.6x0.5 m prof.	M.LINEAL	2749
70	Instalacion de manguera RAM 17 a 0.4 m de prof.	M.LINEAL	66000

CONCEPTO	CARGA, mca.
Emisor	15.0
Perdida de carga en la Manguera RAM 17	2.446
Perdida de carga en el filtro	6.0
Perdidas de carga en la conducción	7.26
Perdida de carga en la distribuidora	4.675
TOTAL	35.381

REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS NOGALES										
MES	Kc	ETo	Factor	ETr	DL (m)	DA (m)	AS (%)	NDP	qe	TR
ENE	0.20	3.1	0.8	2.5	15	15	70	78.62	3.50	0.56
FEB	0.25	4.1	0.8	3.3	15	15	70	128.52	3.50	0.92
MAR	0.35	5.7	0.8	4.5	15	15	70	250.49	3.50	1.79
ABR	0.65	6.2	0.8	5.0	15	15	70	511.06	3.50	3.65
MAY	0.85	6.6	0.8	5.2	15	15	70	702.58	3.50	5.02
JUN	0.95	6.4	0.8	5.1	15	15	70	766.08	3.50	5.47
JUL	0.98	5.8	0.8	4.7	15	15	70	721.12	3.50	5.15
AGO	0.85	5.2	0.8	4.2	15	15	70	556.92	3.50	3.98
SEP	0.50	4.3	0.8	3.5	15	15	70	272.16	3.50	1.94
OCT	0.30	3.9	0.8	3.1	15	15	70	148.18	3.50	1.06
NOV	0.20	3.7	0.8	2.9	15	15	70	92.74	3.50	0.66
DIC	0.20	3.4	0.8	2.7	15	15	70	84.67	3.50	0.60

Fuente: <http://www.agrocabildo.com/riego/base.htm>

CONCEPTO	CARGA, mca.
Emisor	15.0
Perdida de carga en la Manguera RAM 17	2.446
Perdida de carga en el filtro	6.0
Perdidas de carga en la conducción	7.26
Perdida de carga en la distribuidora	4.675
TOTAL	35.381

CALCULOS

ETC =	7 mm/día	Ame =	45.24 m ²	#mesh
PR. =	2 m	Asp =	113.10 m ²	Q =
\mathcal{I} -	0.3 decimal	Sp =	10 m	ql =
SUELO =	Franco arcillosa	Sh =	10 m	hfr =
H. A. =	167 mm/día	EU =	0.9 decimal	Qd =
CSM	0.351	Po =	15 mca	hfd =
% AM =	0.4 decimal	qe =	3.5 lph	hfp-B=
Zrn =	40.080 mm	K Φ =	2.41138	hfp-C=
IR =	5.726 días	Δ Hs =	4.4 mca	hfp-D=
NDP =	791.681 lts.dia/planta	Ne =	161.789 emisores	hfp-E=
		Li =	161.79 m	hfp-F=
Emisor/árbol =	40	IT =	6 días	Ht=
Long. Regante =	130 m	Lb =	9	Hloc =
Sep/Emisor =	1 m			Hsit =
				HP=
				KVA =

Diametro de la tubería distribuidora = **49.49354414 mm = 2"**

La red completa de tuberías se trazo sobre el plano de la huerta para operar cuatro secciones de ri de 4 horas de operación por sección; también se estimó la carga dinámica total del sistema. hidráulico a lo largo de la ruta crítica se reportan a continuación:

ANALISIS HIDRAULICO DEL SISTEMA						
Componentes	Caudal	Diámetro mm	Longitud m	Material	Ca	
					Presión	Elev.
Emisor RAM 17	3.5 lps	1			15	
Lateral PE RAM 17	453.6 lph	14.6	130			13
Distribuidora	5.444	50	110			
Conducción	9.917	75	408			
Filtros						

Inyector						
Equipo de bombeo						

CDT:
Potencia:

Datos de población de árboles y gasto de cada sección.

Unidad	Población	Q lps
I	140	5.444
II	128	4.978
III	115	4.472
IV	121	4.706
V	104	4.044
VI	107	4.161
VII	127	4.939
VIII	126	4.900
IX	124	4.822
X	107	4.161
XI	102	3.967
XII	92	3.578

1393

Total	DISTANCIA		DESNIVEL (Z)
	NV - P=	194 m	NV = 100.055
	P - A=	88 m	P= 104.274
408	P - B=	195 m	A= 102.79
395	P - C=	204 m	B= 99.96
509	P - D=	374 m	C= 107.91
671	P - E=	536 m	D= 112.784
861	P - F=	761	E= 117.296

	Población	Unidad	Q lps
140	140	I	5.444
128	128	II	4.978
1	22		
2	22		
3	23		
4	24		
5	24	115	III
6	24		4.472
7	24		
8	24		
9	24		
10	25	121	IV
11	26		4.706

12	26			
13	26			
14	26	104	V	4.044
15	26			
16	27			
17	27			
18	27	107	VI	4.161
19	27			
20	25			
21	25			
22	25			
23	25	127	VII	4.939
24	25			
25	25			
26	25			
27	26			
28	25	126	VIII	4.900
29	26			
30	26			
31	26			
32	23			
33	23	124	IX	4.822
34	23			
35	21			
36	21			
37	21			
38	21	107	X	4.161
39	21			
40	21			
41	20			
42	20			
43	20	102	XI	3.967
44	20			
	72	92	XII	3.578
	1393		1393	

Unidad	Población	Q Ips
I	140	5.444
II	128	4.978
III	115	4.472
IV	121	4.706
V	104	4.044
VI	107	4.161
VII	127	4.939
VIII	126	4.900
IX	124	4.822
X	107	4.161
XI	102	3.967
XII	92	3.578
	1393	

Unidad	Sub-Unidad	Gasto	Hs'
I y XII	A	9.022	
II y VII	B	9.917	
III y X	C	8.633	
IV y VIII	D	9.606	
V y IX	E	8.867	
VI y XI	F	8.128	

Compo

Hsc' =

Hsd' =

Hse' =

Hsf' =

REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS NOC							
MES	Kc	ETo	Factor	ETr	DL (m)	DA (m)	AS (%)
ENE	0.20	3.1	0.8	2.5	15	15	70
FEB	0.25	4.1	0.8	3.3	15	15	70
MAR	0.35	5.7	0.8	4.5	15	15	70
ABR	0.65	6.2	0.8	5.0	15	15	70
MAY	0.85	6.6	0.8	5.2	15	15	70
JUN	0.95	6.4	0.8	5.1	15	15	70
JUL	0.98	5.8	0.8	4.7	15	15	70
AGO	0.85	5.2	0.8	4.2	15	15	70
SEP	0.50	4.3	0.8	3.5	15	15	70
OCT	0.30	3.9	0.8	3.1	15	15	70
NOV	0.20	3.7	0.8	2.9	15	15	70
DIC	0.20	3.4	0.8	2.7	15	15	70

Fuente: <http://www.agrocabildo.com/riego/base.htm>

100.579
5.44 lps
0.126 lps
2.446 mca
5.056 lps
4.675 mca
7.26 mca
3.217 mca
3.735 mca
5.386 mca
6.612 mca
29.381 mca
32.319 mca
48.380 mca
9.0
10.37

riego programando un tiempo
Los resultados del análisis

Carga (mca)	
Vel.	Fricción
	15
	2.446
	4.675
	7.264
	6

48.38 mca

9.0 Hp \cong 10 HP COMERCIAL

rtamiento de presión en:

31.738	mca
36.356	mca
42.007	mca
47.733	mca

SALES

NDP	qe	TR
78.62	3.50	0.56
128.52	3.50	0.92
250.49	3.50	1.79
511.06	3.50	3.65
702.58	3.50	5.02
766.08	3.50	5.47
721.12	3.50	5.15
556.92	3.50	3.98
272.16	3.50	1.94
148.18	3.50	1.06
92.74	3.50	0.66
84.67	3.50	0.60