UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

DIAGNOSTICO E IMPLEMENTACION DEL RIEGO SUBTERRANEO EN MANZANO

Por:

EVER HERNÁNDEZ RAMÍREZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

JUNIO, 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

TESIS

Diagnostico e implementación del riego subterráneo en manzano

POR:

EVER HERNANDEZ RAMIREZ

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

ING. AGRONOMO EN IRRIGACION

A P R O B A D O

PRESIDENTE DEL JURADO

Ing. Rolando Sandino Salazar

Asesor principal

SINODAL

Dr. Juan M. Covarrubias Ramírez

Asesor externo

SINODAL

Ing. Gregorio Briones Sánchez

asesor

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERIA

Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"

Coordinación de Ingeniería

MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Junio 2012

AGRADECIMIENTO

Humildemente a mi **DIOS** por todo lo que se ha forjado en mi camino el cual en todo el tiempo fue accesible y lleno de bendiciones con satisfacción como premio al esfuerzo realizado.

A la **UAAAN** por alojarme en su seno de sabiduría y brindarme la oportunidad en mi formación como profesionista. Sin duda alguna es y seguirá siendo una de las mejores universidades.

Dr. Juan M. Covarrubias Ramírez por brindarme su apoyo en este proyecto que conjuntamente se realizo y por el tiempo con dedicación y entrega se realizo y sacando adelante este proyecto de tesis**.**

Ing. Rolando Sandino Salazar por asesorarme de la manera más clara y concisa de este proyecto no se dificultara, por toda su confianza, enseñanza y la oportunidad en este trabajo de investigación.

Ing. Gregorio Briones Sánchez por a verme brindado el tiempo y esfuerzo en mi y en este proyecto de tesis durante su ejecución.

A todos **los maestros del departamento de riego y drenaje** por su amplio conocimiento.

DEDICATORIA

En primer lugar estoy agradecido con mi **DIOS** por ser el autor de mi vida permitiéndome levantarme para emprender otro día mas, viendo un nuevo amanecer, teniendo presente que es el mejor amigo este viaje increíble no importando lo más sencillo que parezca.

A MI PADRE:

ALEJANDRO HERNANDEZ HERNÄNDEZ

A MI MADRE Y RALPH WEAVER

ANTONIA RAMIREZ RAMIREZ

A MIS HERMANOS:

NERY HERNANDEZ RAMIREZ

GAMA HERNANDEZ RAMIREZ

YANETH HERNANDEZ RAMIREZ

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO III
DEDICATORIA IV
INDICE DE CUADROS VII
INDICE DE FIGURAS VIII
RESUMEN 1
1. INTRODUCCIÓN 2
1.2 objetivo 4
1.3 hipotesis 5
2. REVISIÓN DE LITERATURA 6
2. I Generalidades del cultivo 6
2.2 Clasificación y taxonomía del manzano sinnot y wilson (1975) 6
2.3 Ciclo evolutivo del manzano 7
2.4 Brotacion del manzano 7
2.5 Aspectos del suelo 8
2.6 Riego 8
2.7 Calendarización de riegos 9
2.8 Indicadores de riego 10
2.9 Riego localizado subterráneo 10
2.10 Necesidades hídricas del manzano 11
2.11 Generalidades de riego subterráneo en manzano 11
2.12 El riego esta en función a la cobertura del árbol (región Arteaga, saltillo Coahuila) 12
2.13 Manejo de riego subterráneo 12
2.14 Riego tecnificado 13
3. MATERIALES Y MÉTODOS 15
3.1 Área de estudio 15
3.2 Ubicación geográfica 15
3.3 Contenido Volumétrico de agua del suelo 16
3.4 Margen capilar 17

3.5 Análisis estadístico 17
3.6 Volumen de agua aplicado por horas de riego 17
3.7 Rendimiento del manzano 17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18
4.1 Resultado del diagnóstico 18
4.2 El modelo utilizado para medir z fue: 18
4.3 La curva de retención del agua del suelo fue: 21
4.4 El contenido volumétrico 21
5. CONCLUSIONES 24
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 25

INDICE DE CUADROS

Cuadro Nº **paginas**

Nº 1 Propiedades del suelo bajo estudio de riego subterráneo……....19

Nº 2 Contenido de agua en el suelo como tensión (kPa) con un emisor de goteo de 4 LPH colocado a 0.4 m de profundidad y 1.0 m del tronco del árbol de manzano…….....20

Nº 3 Contenido volumétrico de agua en el suelo (cm^3 agua/cm^3 suelo) con un emisor de goteo de 4 LPH colocado a 0.4 m de profundidad y 1.0 m del tronco del árbol de manzano……...….21

Nº 4 Programa de riegos en manzano con riego subterráneo……....22

INDICE DE FIGURAS

Figura **pagina.**

Nº 1 Principales productores a nivel mundial…..…….7

Nº 2 Localización de la Huerta…….……16

Nº 3 Bulbo del margen capilar del riego subterráneo……19

RESUMEN

La idea de riego localizado subterráneo no es reciente, al contrario, nace y se desarrolla al mismo tiempo que la idea de riego por goteo. En 1960 encontramos las primeras referencias prácticas pero es a partir de 1980 cuando se introduce con mayor intensidad.

Actualmente el riego localizado subterráneo esta ampliamente establecido en multitud de cultivos y superficies de todo el mundo. En EE.UU. hay más de 20.000 Has. En México más de 4.000 y podemos asegurar que en fase de expansión clara por las múltiples ventajas que ofrece y serán expuestas a lo largo de este escrito.

Los resultados obtenidos en más de 30 cultivos demuestran que la producción cuando empleamos riego por goteo subterráneo es igual o superior en todos los casos a cualquier otro sistema de riego y además requiere menos agua en la mayoría de los casos. La posibilidad de emplear agua residual depurada, especialmente en frutales y zonas ajardinadas ofrece un gran potencial de expansión con desarrollo de líneas comerciales específicas.

I. INTRODUCCIÓN

Los manzanos son, sin duda, los árboles frutales más antiguos del mundo. Al parecer sus originarios Ha sido situado entre los Balcanes de Europa, el Cáuscaso, Irán, Turkestán y el sur de Rusia, desde donde fue llevada a Grecia varios siglos A.C, variedades cultivadas se conocieron en el siglo XIII y aun persisten. En asentamientos prehistóricos descubiertos en los lagos suizos, se han hallado restos carbonizados de manzanas.

La manzana llegó a América de la mano de los primeros colonos, que llevaron consigo semillas del árbol. Se conservan documentos de la Massachussets Bay Company, de Estados Unidos, que demuestran que en Nueva Inglaterra ya se cultivaba el manzano en 1630. Indígenas, misioneros y comerciantes llevaron las semillas hacia el oeste de los nuevos territorios.

A nivel mundial se producen aproximadamente 60 millones de toneladas de manzana al año en una superficie de 5.6 millones de hectáreas, siendo China el principal productor con más de 20 millones de toneladas, seguido de Estados Unidos de América con 5.0 millones. Estos países aportan el 45% de la producción mundial, mientras que México aporta 0.58 millones de toneladas al año (SIACON 2011).

Actualmente en México la superficie sembrada de manzana es de 61,219.53 ha con una producción de 584,655.18 Ton de las cuales 39,544.70 ha se trabajan bajo condiciones de riego teniendo una producción de 491,524.34 ton y bajo condiciones de temporal se siembran 21,674.83 ha con una producción de 93,130.84 ton.

En México los estados con mayor superficie y producción de manzana son en orden de importancia Chihuahua, Durango y Coahuila. Las tendencias nacionales son estables en superficie pero inestables en cuanto a la producción dado a factores climáticos como lo pueden ser las heladas tardías y el granizo entre otros.

Debido a que el consumo per cápita de manzana en México aumentó de 3.7 a 7.9 Kg de 1980 al 2011, la importación de manzana a cobrado cada vez mayor auge, ya que la producción nacional no abastece las necesidades de los consumidores en el país, lo que obliga a nuestros productores y empresarios a ser más competitivos, ya que debe satisfacerse primero la demanda del mercado nacional y después buscar posicionarse de mejor manera internacionalmente (SAGARPA 2011).

Actualmente Chihuahua es el principal productor de manzana en el país con aportación de más del 58%, además de que en el estado se selecciona y empaca más del 75% de las cajas a nivel nacional. El nivel de tecnología (tipo de riego, control de enfermedades, mallas antigranizo, control de heladas entre otros) oscila entre el 30% alto, 40% intermedio y 30% bajo, este último tendiendo a desaparecer (SAGARPA / FIRA 2011).

En el estado de Coahuila de Zaragoza se encuentran sembradas 7,028 ha con una producción total de 59,653.78 ton de las cuales 3,063 ha se encuentran bajo condiciones de riego teniendo una producción de 45,776.28 ton y bajo condiciones de temporal se tienen 3,965 ha con un producción de 13,877.50 ton (SIACON 2011).

Palabras claves: diagnostico, implementación, riego subterráneo, Riego por goteo.

El rápido crecimiento de la población mundial ha hecho que el empleo eficiente del agua de riego sea de importancia vital, particularmente en los países más pobres donde el mayor potencial para aumentar la producción alimentaria y los ingresos rurales se encontraría frecuentemente en las zonas de riego.

En las dos últimas décadas del siglo XX, la adopción de tecnologías de riego de alta eficiencia o de riego localizado. En el caso específico de cultivos frutales, el desarrollo de la tecnología de riego, no sólo se ha sustentado en aspectos de rentabilidad, sino también en criterios técnicos de manejos de cultivos en relación al agua de riego. Existiendo una necesidad de hacer más eficiente la aplicación y aprovechamiento del agua por parte del cultivo y a la vez de disminuir las pérdidas por evaporación desde el suelo.

1.2 OBJETIVO

- Evaluar el patrón de extracción de humedad de la raíces de manzano regado con goteo subterráneo.

- Observar la respuesta de arboles en relación de crecimiento y producción.

- Diagnostico de sistemas de riego subterráneo en manzano orientando asu efectivas a conocer su efectividad a al ahorro de agua.

.

1.3 HIPOTESIS

Ha: “El riego subterráneo reduce la aplicación del agua en el cultivo de manzano”

Ho: “No la reduce”

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2. I Generalidades del cultivo

RAMIREZ Y CEPEDA (1993). El manzano como especie, es un frutal caducifolio de clima templado considerado entre los más antiguos. En la actualidad se localiza virtualmente en todas las regiones templadas del globo terrestre. Es importante mencionar, que el avance en la ciencia ha permitido en años recientes que este importante frutal sea cultivado en regiones subtropicales y a nivel del mar. En México las regiones templadas de mayor importancia donde se explota el manzano son: chihuahua, Durango, Coahuila, puebla y zacatecas.

2.2 Clasificación y taxonomía del manzano sinnot y wilson (1975)

Reino Vegetal

División Traqueofitas

Subdivisión Pteropsidas

Clase Angiospermas

Subclase Dicotiledoneas

Orden Rosales

Familia Rosaceae

Genero Pyrus

Especie malus

Principales productores a nivel mundial



2.3 Ciclo evolutivo del manzano

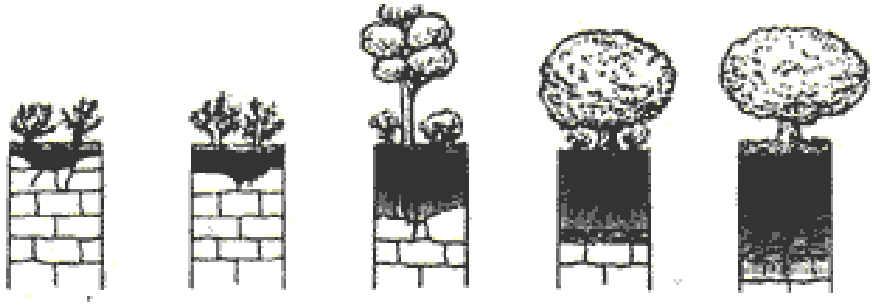
Juventud: 0 a 3 años, el árbol no produce fruto, solo madera y hojas.
Entrada de producción: 2 a 6 años empieza a dar fruto.
Edad adulta: 6 hasta 15 años. Fructificación y producción de madera.
Vejez: 15 hasta 20 años poca madera y poco fruto.

2.4 Brotacion del manzano

Los manzanos necesitan de 800-1000 horas-frio. Esto es el total de horas contabilizadas durante el otoño-invierno en el que la temperatura ha sido inferior a 7ºc.

2.5 Aspectos del suelo

1. Textura
2. Profundidad
3. PH
4. Humus
5. Nutrientes minerales
6. Salinidad

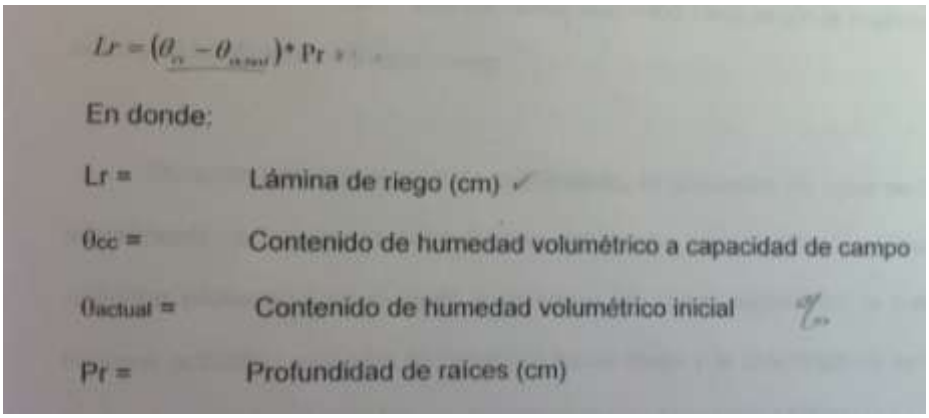


2.6 Riego

Objetivo de que se pretende con el riego es satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, aplicando el agua uniforme y de forma eficiente, es decir que la mayor cantidad de agua aplicada quede almacenada en la zona radical a disposición del cultivo. Este objetivo debe alcanzarse sin alterar la fertilidad del suelo y con una mínima interferencia sobre el resto de las labores del cultivo.

Los factores que se manejan para proveer a los cultivos del agua que necesitan para que su productividad sea optima, son principalmente la energía, agua, mano de obra y sistematización o equipamiento, existiendo una completa interrelación entre ellos, de tal manera que al disminuir un factor, implica mayor necesidad de otros.

La cantidad de agua entregada al sistema durante cada riego, varía con las condiciones climáticas y según la estrategia de riego. Sin embargo para cuestiones de diseño se utiliza la máxima demanda del cultivo. La lamina de riego expresada en contenido de humedad en un determinado momento puede expresarse de la siguiente manera:



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

En donde:

Lr = Lámina de riego (cm)

θcc = Contenido de humedad volumétrico a capacidad de campo

$\theta actual$ = Contenido de humedad volumétrico inicial

Pr = Profundidad de raíces (cm)

2.7 Calendarización de riegos

Los objetivos primordiales de la calendarización del riego son predecir cuánto y cuando aplicar el riego a los cultivos en sus diferentes etapas fisiológicas, y evaluar si los objetivos de riego fueron cumplidos. Para que se lleven a cabo estos objetivos, un buen programa de calendarización del riego involucra la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos, los requerimientos estacionales de riego de los cultivos, la lluvia aprovechable, la estimación del cambio en el contenido de humedad del suelo desde la última vez que se calculo o se muestreo, la predicción de la tasa a la cual el contenido de humedad disminuirá en los próximos días sin la aplicación adicional de agua.

2.8 Indicadores de riego

Existen muchos métodos para la determinar cuánto y cuando regar. Lo que hace posible realizar los calendarios de riego basándose en indicadores climáticos, edáficos, vegetativos o indicadores indirectos usando balances hídricos dentro del sistema agua-planta-suelo.

2.9 Riego localizado subterráneo

El riego por goteo subterráneo es probablemente el método de irrigación más viejo y moderno. 1913, E.B. House irrigó manzanas, alfalfa y cereales con tuberías porosas e informó que el método era demasiado caro para cultivos de un agricultor ordinario, por lo que fue recomendado sólo para cultivos intensivos donde el agua es muy escasa y valiosa (Jorgesen y Norum 1993).

Los mismos autores, señalan que se han perfilado técnicas de manejo, para evitar las obstrucciones y precipitados, con un sistema de riego por goteo subterráneo más fiable para irrigar la agricultura.

Ruskin (2000), informó que el sistema de riego localizado subterráneo ha generado mayor aceptación, gracias a la superación de problemas de diseño y calidad, donde la penetración de raíces y obstrucciones ya no son un problema cuando la filtración, manejo y mantenimiento, se ejecutan bien.

La disponibilidad de agua para el riego de los cultivos en la zona norte del país es cada vez menor, esto debido a que el agua se utiliza para fines industriales, para el suministro a la creciente población en las zonas urbanas, a

un abatimiento de los acuíferos y actualmente a la falta de lluvias debido al cambio climático global (Covarrubias *et al*., 2009).

2.10 Necesidades hídricas del manzano

Los requerimientos de riego de los cultivos varían, temporal y espacialmente, en función del clima, del manejo, de la fase y de la variedad del cultivo, por lo que su cálculo debe ser local (Doorenbos y Pruitt, 1977). La implantación de un programa de uso eficiente del riego requiere certidumbre del cálculo de los requerimientos de riego.

Este problema se ha acrecentado en la actualidad donde existen pozos de hasta 300 m de perforación donde se ha abatido el agua, por lo que para regar una hectárea de manzano en la época de mayor demanda se debe comprar agua a productores que ya no siembran manzano, porque se redujo drásticamente el nivel freático y la superficie de cultivo (Comunicación personal, Ing. Raymundo Duran Jasso, Presidente de la Asociación de Manzaneros de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coahuila).

2.11 Generalidades de riego subterráneo en manzano

Los estudios realizados con los modelos permiten predecir que el riego subterráneo es factible de aplicar en campo. Los resultados previos de este proyecto indican que el bulbo húmedo mostró una distribución en forma de elipse que permite el tráfico de maquinaria para las labores culturales, además menos malezas y menos evaporación directa (Covarrubias *et al*., 2009). Respecto al consumo de agua este se reduce considerablemente.

2.12 El riego esta en función a la cobertura del árbol (región Arteaga, saltillo Coahuila).

En la región de Arteaga, Coahuila, el manzano presenta necesidades de agua de 900 a 1100 mm por ciclo (García, 1992); el consumo de agua esta en función a la densidad de plantación, los espaciamientos actuales son: 6x6 m, 5 x 6 m, 3x6 m, 3x4, 2.5x4 m y 2x4m, los espaciamientos mayores son para el trafico del tractor y para el tendido de la línea de riego sobre las hileras de árboles, donde estos tendidos son de 100 m promedio, porque a mayor longitud se reduce la eficiencia de aplicación del agua; así, en un espaciamiento de 2.5 x 4 m y un diámetro de copa del árbol de 2.2 m, el consumo de agua será 6,200 L árbol^{-1} año^{-1} aproximadamente (Contreras, 2007). Lo anterior demuestra que el riego esta en función a la cobertura del árbol y las condiciones agroclimáticas presentes en el ciclo Agrícola y el riego subterráneo es la mejor opción para incrementar la eficiencia en el uso de agua del manzano (Covarrubias *et al*., 2006).

El riego subterráneo incrementa la superficie de exploración del agua al doble, porque si el gotero se coloca sobre el suelo, el bulbo de humedad comprende media circunferencia, cambio si se entierra el bulbo de humedad abarca toda la circunferencia, lo que representa mayor volumen de agua en la raíz (Phene, 1999).

2.13 Manejo de riego subterráneo

El riego subterráneo requiere de personal técnico adecuado porque deben considerarse las siguientes condiciones:

A) goteros con un gasto de 2 LPH aproximadamente, los riegos una vez logrado el nivel de humedad inicial, debe regarse en un período de 30 a 45 minutos y en la actualidad es recomendable utilizar goteros autoregulables que dejen de aplicar agua cuando la presión sea menor a 7 kPa (1 psi).

B) control de la intrusión de raíces con herbicidas adecuados como la triflurilan y evitar colocar las mangueras en la zona de raíces.

C) colocar las mangueras de tal forma que no se produzca encharcamiento de agua en la superficie, ni percolación de la misma.

D) en la actualidad existe goteros auto compensables y con filtración, lo que impide la inserción de partículas de suelo al gotero después de apagar el riego (Burt *et al*., 2000; Covarrubias y Parga, 2000)

El riego subterráneo ha sido evaluado con éxito en Maíz (Bravo *et al.,* 2007a) y en Alfalfa (Bravo *et al.,* 2007b), pero para un manejo adecuado de este, en necesario contar con sensores que permitan medir el contenido de agua en el suelo (Girona, 2002), porque debido a esto existen investigadores y productores que continúan desconfiando de este método de riego, aún cuando lo tienen establecido, como no ven el frente de mojado, prefieren desenterrar la manguera de riego y determinar en forma visual que el riego esta funcionando.

2.14 Riego tecnificado

La tecnología del sistema de riego por goteo enterrado (manguera con goteros incrustados), con la estrategia de Déficit de Riego Controlado (DRC) en manzano (regar a capacidad de campo en brotación, dejar de regar durante 50-55 días y, reanudar el riego normal hasta cosecha); utilizando los criterios de monitoreo de la humedad en el suelo, para la programación del riego, permite un ahorro de agua de 60%; con incremento en la producción de fruta de hasta 22% y una Eficiencia en el Uso del Agua tres veces mayor (7.68 vs 2.39 kg m^{-3}), con respecto al riego por microaspersión. (Ortíz y Parra, 2006).

El déficit hídrico regulado (DHR) es una estrategia ampliamente utilizada para ahorrar agua en la producción de manzano, la respuesta del DHR es que disminuye el tamaño del fruto y por consecuencia el rendimiento total, pero incrementa la calidad como concentración de sólidos solubles totales, concentración de materia seca, firmeza y menor perdida del fruto en almacenamiento (Leib *et al*., 2006)

Otra ventaja del riego enterrado, es que reduce el daño por la enfermedad corazón mohoso del fruto (*Alternaría spp*.) en manzano (Ramírez y Jacobo, 2007), disminuye la caída de fruto por esta enfermedad de 226 frutas caídas con riego por micro aspersión a 13.7 frutos caídos con riego enterrado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

Los estudios de diagnostico con una muestra de suelo de las huertas de manzano ubicadas en el rancho El Capricho, en la Sierra de Arteaga, Coahuila (Figura 8). La manguera de riego utilizada fue de la marca Siberline con goteros de 4 LPH espaciados a un metro y con una presión de operación de 14 PSI colocadas a 40 cm de profundidad; se aplicó un volumen de agua de 20 L por gotero para determinar el bulbo de mojado en emisores de riego por goteo utilizando el modelo de Keller y Bliesner (1990) para predecir la distancia vertical del frente de mojado (z) y el ancho del bulbo húmedo (w); la calidad del agua es buena (< 100 µS/m), la permeabilidad del suelo se midió con un permeámetro de carga variable (Covarrubias *et al,* 2009).

Para llevar a cabo el establecimiento de este proyecto de manzano se inicio en el mes de febrero con la selección de la huerta y el convenio con el productor para establecer el riego subterráneo en su huerta se realizo un muestreo de suelo, de agua y el inventario de recursos, con la información obtenida se realizó el trazo del sistema de riego por goteo, especificando la dirección de la líneas regantes, después se realizo la instalación de cada una de las líneas.

3.2 Ubicación geográfica

El estudio se realizó en la localidad: Rancho el Capricho, se evaluó un diseño factorial entre Contenido volumétrico de agua en el suelo a dos direcciones: Profundidad Vertical (Ver) a 0.30, 0.60, y 0.90 m y Profundidad Horizontal (B) a 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 y 1.5 m con tres repeticiones en un arreglo en bloques al azar, la unidad experimental consistirá en un punto donde se colocaron los sensores del contenido de agua en el suelo.



Figura 2. Localización de la Huerta

El tipo de manguera fue Siberline con goteros de 4 LPH a 14 PSI y espaciados a 1 m, la profundidad fue de 0.4 m y colocada a 1.0 m del tronco del árbol.

Las variables medidas fueron las siguientes:

3.3 Contenido Volumétrico de agua del suelo

- .- Mediante sensores con block de resistencia eléctrica colocados las profundidades de diseño. Para determinar el contenido volumétrico se tuvo que analizar la curva de retención de agua del suelo mediante ollas de presión a tensión de agua del suelo a 10, 30, 50, 80, 100, 300, 500, 800, 1200 y 1500 kPa, además de la densidad aparente del suelo mediante el método de la probeta. Lo anterior, para transformar los valores de los sensores de tensión del agua en el suelo de kPa a contenido volumétrico (θ) con valores de cm^3 de agua/cm^3 de suelo.

3.4 Margen capilar

- .- Medido en metros como profundidad del frente de agua a partir de la superficie, considerando sólo la profundidad horizontal.

3.5 Análisis estadístico

- las variables se realizó con el programa SAS.

3.6 Volumen de agua aplicado por horas de riego

- El consumo de agua se determinó como el volumen de agua aplicado por horas de riego y la sumatoria del número de riegos por ciclo para obtener el consumo en litros por árbol.

3.7 Rendimiento del manzano

- El rendimiento de manzano se determino como rendimiento de fruta por árbol en kg.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultado del diagnóstico

Los resultados del diagnostico fue con la calibración del gotero LPH = 0.5266 (Pies)$^{0.546}$ con una correlación r=0.928, estadísticamente significativa. El suelo es profundo (> 120 cm) de textura migajón arcilloso con 31.2% de arcilla, densidad aparente de 1.37 g/cc y una lámina aprovechable de 200 mm/m, con porosidad de 0.49 %, con ascenso capilar elevado (hasta 120 mm/día) y fuerte succión mátrica (1.5 MPa). La permeabilidad del suelo fue 1.26 cm/hr característica de un suelo con muy lenta o baja permeabilidad.

4.2 El modelo utilizado para medir z fue:

$$\mathbf{29.2\ (V)^{0.63}x(Cs/q)^{0.45}}$$

Donde:

V = es el volumen de agua en L,

Cs = es la conductividad hidráulica en m/seg.

q = es la descarga del emisor en LPH,

Si se aplica un volumen de 20 L, la distancia vertical al frente de mojado es de 36 cm. El modelo utilizado para medir w fue 0.031 (V)$^{0.22}$x(Cs/q)$^{-0.17}$, con la misma descripción del modelo anterior y con el mismo volumen de agua aplicado, su valor fue 64 cm, si el emisor está enterrado a 40 cm, el límite del bulbo formado en 12 horas de riego llegará a 32 cm a cada lado y 36 cm hacia abajo para una profundidad total del frente húmedo de 76 cm y la acción capilar ascendente fue de 30 cm, así quedan 10 cm de suelo seco debajo de la superficie del suelo.

El análisis del suelo indica que se trata de un suelo migajón arcilloso con 31.2 de arcilla (Cuadro 1) y con una densidad aparente de 1.37 g/cc, lo que indica un suelo agrícola trabajado con labranza en forma continua.

Cuadro 1. Propiedades del suelo bajo estudio de riego subterráneo

Textura				
Arcilla	Limo	Arena	Tipo de Suelo	Densidad Aparente
	%			g/ cc
31.2	32	36.8	Migajón arcilloso	1.37

El margen capilar observado (Figura 1) indica que el bulbo de agua en el suelo fue una elipse, característica de los suelos arcillosos. El Máximo avance del frente de agua fue de 0.2 m de profundidad a una distancia de 1 m del árbol o sea donde estaba colocada la manguera de riego a 0.4 m de profundidad, lo anterior indica que la superficie del suelo está libre de agua, lo que impide el desarrollo de la maleza, además permite el trafico de maquinaria para las labores culturales.

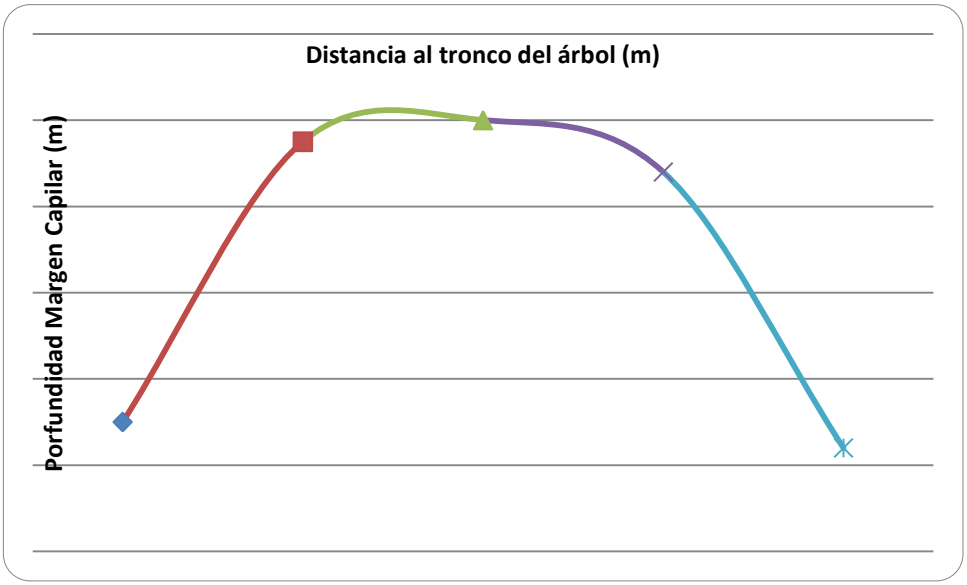


Figura 3. Bulbo del margen capilar del riego subterráneo.

El contenido de agua en el suelo promedio observado en el ciclo se presenta en el cuadro 2, donde se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los contenidos a profundidad y distancia del tronco, además se observa que al mayor contenido es donde se encuentra cerca del emisor de riego, en el profundidad de 0.4 m y a una distancia de 1 m del troco del árbol de manzano. Si consideramos que el máximo contenido de agua que retiene un suelo es la capacidad de campo y el valor de esta es 33 kPa, y que a partir de ahí al disminuir este valor se reduce el espacio poroso del suelo y por lo tanto el contenido de aíre, podemos considerar que los valores observados en el cuadro 2, son adecuados porque aún las bacterias promotoras del crecimiento y las nitrificantes, desarrollan en condiciones anaeróbicas facultativas o sea a un valor de 20 kPa, y el menor valor observado fue de 22 kPa, por lo cual, no se detiene el desarrollo del árbol y de ninguna manera se causa un estrés.

Los menores contenidos de agua en el suelo fueron 72 kPa y se encontraron a 0.90 y 0.3 de profundidad; y 0.5 y 1.5 m de distancia al tronco, ambos contenidos están dentro del agua fácilmente aprovechable (≤ 200 kPa).

Cuadro 2. Contenido de agua en el suelo como tensión (kPa) con un emisor de goteo de 4 LPH colocado a 0.4 m de profundidad y 1.0 m del tronco del árbol de manzano.

Profundidad	Distancia al Tronco del Arbol (m)					
(m)	0.5	0.75	1	1.25	1.5	$\bar{X}$
0.3	38	30	33	45	74	44b
0.6	48	30	22	28	40	34 a
0.9	74	67	52	58	70	64 c
$\bar{X}$	53 c	42 b	36 a	44 b	61 c	

4.3 La curva de retención del agua del suelo fue:

$$Pw = 31.12 - 2.71Ln(kPa)$$

Donde:

Pw = es el contenido gravimétrico de agua en el suelo en porcentaje y kPa son las lectura obtenidas en los sensores de agua en el suelo.

4.4 El contenido volumétrico

Se muestra en el Cuadro 3. donde no se encontró diferencia significativa entre los contenidos a profundidad y a distancia del tronco, lo anterior debido al ajuste de la curva de retención de agua donde en valores menores a 100 kPa encontrados (Cuadro2), la variación de θ es mínima, de 0.37 a 0.32 cm^3 agua / cm^3 suelo.

Cuadro 3. Contenido volumétrico de agua en el suelo (cm^3 agua/cm^3 suelo) con un emisor de goteo de 4 LPH colocado a 0.4 m de profundidad y 1.0 m del tronco del árbol de manzano.

Profundidad	Distancia al Tronco del Árbol (m)					
(m)	0.5	0.75	1	1.25	1.5	$\bar{X}$
0.3	0.35	0.36	0.35	0.34	0.32	0.34
0.6	0.34	0.36	0.37	0.36	0.34	0.35
0.9	0.32	0.33	0.33	0.33	0.32	0.33
$\bar{X}$	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33	

El consumo de agua del árbol de manzano durante el ciclo 2008 fue de 1856 L, se inicio el programa de riegos para elevar el contenido de agua en el suelo a lo mayor posible, con 48 horas de riego y un volumen inicial de 384 L por árbol (Cuadro 4).

Cuadro 4. Programa de riegos en manzano con riego subterráneo.

Núm. de Riego	Mes	Día	Horas de Riego	Volumen x Árbol (L)
1 inicio	Marzo	3	48	384
2		10	3	24
3		17	3	24
4		31	3	24
5	Abril	7	4	32
6		14	4	32
7		21	4	32
8		28	4	32
9	Mayo	5	5	40
10		12	5	40
11		19	5	40
12		26	5	40
13	Junio	2	6	48
14		9	6	48
15		16	6	48
16		23	6	48
17		30	7	56
18	Julio	7	7	56
19		14	7	56
20		21	8	64
21		28	8	64
22	Agosto	4	8	64
23		11	8	64
24		18	7	56
25		21	7	56
26	Septiembre	1	7	56
27		8	6	48
28		15	6	48

29		22	6	48
30		29	5	40
31	Octubre	6	5	40
32		13	5	40
33		20	4	32
34		27	4	32
TOTAL				1856

Los riegos subsecuentes se realizaron en forma semanal y consistió en mantener contenido de agua próximo a 33 kPa, durante todo el ciclo de desarrollo del manzano, así se consumían 40 L en una semana se aplicaba un riego de 5 horas, hasta el 27 de octubre donde se terminó el ciclo y a partir de noviembre el árbol se defolia con fertilización foliar para iniciar su dormancia y acumular las horas frío necearías para su brotación en Febrero del siguiente año. El mantener el contenido de agua a 33 kPa, nos permite en el riego subterráneo evitar que las raíces del árbol se inserten en el emisor y lo taponen, situación básica en el riego subterráneo.

El rendimiento fue de 35.1 kg/árbol, este rendimiento se debe porque son árboles con 4 años de establecidos y además el rendimiento esta influenciado por factores no controlables del clima como temperatura elevadas en floración (> 30 °C en Abril de 2008), que aun con alta tecnología, el productor se desanima en la producción del cultivo.

V. CONCLUSIONES

El riego por goteo subterráneo en manzano es muy diferente con un coeficiente de uniformidad bueno a excelente en comparación de riego por goteo subterráneo en jardines.

El riego subterráneo cumple con el objetivo y la hipótesis de incrementar la eficiencia en el uso del agua.

El estudio sólo representa un ciclo agrícola de diagnostico y dado la variabilidad climática y que el árbol de manzano es un cultivo perenne que cambia su consumo de agua de acuerdo a la edad del árbol, es necesario continuar con este estudio al menos dos ciclos más, para poder dar una recomendación confiable en un frutal perenne.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adorenbos, J y Kassam A, H. 1980. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. 210p
- Barceló, J; Nicolás, G; Sabater, B; Sánchez, R. 1998. Fisiología Vegetal. España. Ediciones Pirámide, S.A. 662p
- Baver, L.D; Gardner, W. H; Gardner, W. R. 1980. Física de Suelos. México. Editorial Hispano – Americana, S.A. 529p.
- Benavides, Carlos. 1994. II Curso Interamericano Diseños de Proyectos de Riego y drenaje: Tema II Propiedades Físicas de Suelos. Primera edición. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y forestales. 400p
- Burt, Ch.; Styles, S. 1994. Drip and Micro irrigation for Trees, Vine, and Row Crops. California, United States of América. ITRC. 261 p.
- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 1986. Monografías Hortícolas. Chile. Universidad Católica de Chile. 96 p.
- De Santa Olalla M, Francisco; De Juan Valero, José. 1993. Agronomía del Riego. Madrid, España. Ediciones Mundo-Prensa. 732 p.
- Favaro, J.C y Pillati, R.A. 1997. Cultivo bajo invernadero. Editorial Hemisferio Sur S.A.174p.
- Ferreyra, R; García, Jorge. 1983. Riego del tomate. Investigación y Progreso Agropecuario, La Platina. Nº18.p. 36-37.
- Ferreyra, R; Sellés, Grabriel. 1997. Equipos localizados de alta frecuencia: manejo y mantanción. Santiago, Chile. Centro Regional de Investigación La Platina. Serie La Platina Nº 66.48 p.
- Fuentes, Luis. 1998. Técnicas de Riego. 3ª ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 515 p.

- Giaconi, Vicente. 1989. Cultivo de Hortalizas. 6ª ed. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 307 p.
- Gispert, J.R y García, J.A. 1999. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo (en línea). Tenerife. Consultado 20 de Junio 2001. Disponible en http://www.Icia.es/eventos/Zns99.pdf
- Hiller, Daniel. 1982. Introduction to Soils Physics. Orlando, Florida. Academic Press, INC.365p.
- Ibacache, A y Lobato, A.1995. Períodos de crececimiento de raíces en vid. Revista Frutícola. 16(1):13 – 17.
- INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 1996. Apunte técnico. "Ensayo de fertilización para tomates en invernadero". Limache, Cl.
- Israelsen, Orson; Hansen, Vaughn. 1975. Principio y Aplicaciones del riego. 2ª ed. 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. 216p.
- Kramer, Paul. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas. México. Industria Editorial Mexicana. 533 p.
- Machado, R.M.A. y Oliveira, M.R.G. 2000. Effect Of Drip Irrigation And Fertilization On Tomato Rooting Patterns. Acta Hortofrutícola. Eds Ferreira y Jones. Portugal. Nº 537. pag 313 – 320.(ver)
- MAROTO, J.V. 1995. Horticultura herbácea especial. 4ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 611p.
- Matta, Ricardo. 1998. Instalación, Manejo y Mantención de Sistemas de Riego Presurizado (en línea). Chillán, Chile. Comisión Nacional de Riego. Consultado el 15 oct. 2000. Disponible en http:// www.Chileriego.com
- Medina, José. 1997. Riego por Goteo. 4ª ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 302 p.

- Miller, Agustín. 1993. Manejo de Agua y Producción Agrícola. Santiago, Chile. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 556 p.
- Novoa, Rafalel et al. 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA; Ministerio de Agricultura. 221 p.
- Lamm, F. 2000. SDI Reserch en Kansas después de 10 años (en línea). Kansas, Estados Unidos. Consultado 29 Sept. 2000. Disponible en http://www.oznet.ksu.edu/soli/dmsdi.html
- López, R; Hernández. J.M; Pérez, A; Gonzáles, J.F. 1992. Riego Localizado. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 399 p.
- ODEPA (Oficina de planificación Agrícola, CL). 2000. Principales Estadísticas de la Agricultura Chilena. Folleto divulgativo. Ministerio de Agricultura. Chile.
- Pérez, Félix; Martínez, Juan. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 218 p.
- Phene, C.J. 2000. Las ventajas de el riego por goteo subterráneo (en línea). California, Estados Unidos. Consultado 10 Nov. 2000. Disponible enhttp://www.geoflow.com/agriculture/phene.htm
- Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia. 3ª Edición. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 511p
- Pizarro, F. 1985. Dranaje Agrícola y Recuperación de suelos salinos. 2ª Edición. Madrid, España. Editorial Agrícola Española, S.A. 486p
- Richards, L.A. y Wadleigh, C.H. (1952). Soil physical conditions and plant growth. Ed. Am. Soc. Agron. Monograph. En: Benavides, Carlos. 1994. II Curso Interamericano Diseños de Proyectos de Riego y drenaje: Tema II Propiedades Físicas de Suelos. Primera edición. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y forestales. 400p
- Ríos, L. 1998. Producción de Tomates. Larga Vida y Buen Sabor. Revista Tattersall. Nº149. p. 4-5.

- 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
- Santibañez, 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
- Shani U.; Xue S.; Gordin-Katz R.; y Warrick A.W. 1996. Journal of irrigation and drenaige engineering. Volumen 122 Nº 5, Sept-Octubre. 291-295p
- Terrór, P; Hernández., C. 1992. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Ruseell. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 395 p.
- Veihmeyer, F.J. y Hendrickson, A.H. (1931). The moistura equivalent as a measurement of soil water content using a portable TDR hand probe. Can. J. Soil Sci. 64, 313-321. En: Benavides, Carlos. 1994. II Curso Interamericano Diseños de Proyectos de Riego y drenaje: Tema II Propiedades Físicas de Suelos. Primera edición. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y forestales. 400p
- Zoldoske, David. El futuro de riego subterráneo (en línea). Estados Unidos. Consultado 28 sept. 2000. Disponible enhttp://www.dripin.com/rootguard.htm.
- Limón-Mendoza, Hugo J. 1997. Eficiencia de la aplicación de fertilizantes a través de riego por goteo en el cultivo de manzano. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coah. 76 p.
- Mills, H. A. and J. B. Jones Jr. 1996. Plant analysis. Handbook II. Micro Macro Publishing Inc. Boca Ratón, Fl. 255 p.
- Sánchez G., P. 2002. Nutrición vegetal. Curso postgrado. Colegio de Postgraduados - IRENAT - Edafología - Nutrición Vegetal. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 264 p.

• Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS/STAT User´s guide, Release 9.03. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. pp: 136-170.