

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

**“EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DIAGNÓSTICO DE LOS
SISTEMAS DE RIEGO POR MICROIRRIGACIÓN EN HUERTAS
DE CÍTRICOS EN SONORA”**

TESIS

MARTÍN ELISEO ORTIZ MUÑOZ

NOVIEMBRE DE 2017

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

“EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR MICROIRRIGACIÓN EN HUERTAS DE CÍTRICOS EN SONORA”

TESIS

Sometida a la consideración del

Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Martín Eliseo Ortiz Muñoz

Como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Noviembre de 2017

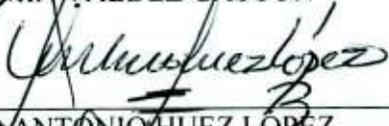
Esta tesis fue realizada bajo la Dirección del Consejo Particular, aprobada y aceptada como requisito parcial para obtención del grado de:

INGENIERO AGRÓNOMO

CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR: 
M.C. JOSÉ ELISEO ORTIZ ENRÍQUEZ

ASESOR: 
M.C. BENJAMÍN VALDEZ GASCÓN

ASESOR: 
DR. MARCO ANTONIO HUEZ LÓPEZ

ASESOR: 
DR. JESÚS LÓPEZ ELÍAS

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora por proporcionarme las herramientas necesarias para culminar mis estudios profesionales.

A mis maestros por los consejos, enseñanzas y experiencias compartidas que de alguna forma nos involucraron en distintos trabajos.

A mis asesores M.C. José Eliseo Ortiz Enríquez, M.C. Benjamín Valdez Gascón, Dr. Marco Antonio Huez López y Dr. Jesús López Elías un agradecimiento muy especial por su tiempo para poder culminar una etapa más dentro de lo profesional.

A mi papá José Eliseo Ortiz Enríquez por ser el maestro más importante para mí durante mis estudios de licenciatura, además de los consejos, enseñanzas y experiencias compartidas a lo largo de mi vida.

A mi asesor Benjamín Valdez Gascón por su sinceridad, dedicación, paciencia y consejos que de alguna manera me han servido para saber valorar esta profesión.

Agradezco a todos los profesores del Departamento de Agricultura y Ganadería por brindarme su apoyo y enseñarme todo lo que ellos saben.

A los productores de las huertas evaluadas por brindarme su apoyo y estar en la mejor disposición al facilitar los trabajos realizados dentro de ellas.

A todas las personas que participaron y apoyaron durante los trabajos de campo realizados en las diferentes huertas evaluadas.

A todos ellos, le agradezco todo, que Dios los bendiga.

DEDICATORIA

A mi esposa: Sofía Villanueva Barra, por haber estado en las buenas y malas en el transcurso de mi carrera y siempre brindarme su apoyo y motivarme a salir adelante.

A mi hijo: Martín Adrián Ortiz Villanueva, porque es la inspiración y el motivo para superarme cada día.

A mis padres: Maricela Muñoz Gutiérrez y José Eliseo Ortiz Enríquez, por sus ejemplos y el apoyo que siempre me brindan, con el cual me inspiran a culminar la carrera de Ingeniero Agrónomo.

A mis hermanos: Rocío Selene Ortiz Muñoz y Edgar Ulises Ortiz Muñoz, por haber estado a mi lado siempre y otorgarme todo su apoyo y su amistad.

A toda mi familia: Ortiz Muñoz, por desearme los buenos deseos en el transcurso de mi experimento de tesis.

A mis tíos: Gabriel Ortiz Enríquez y María Jesús Ortiz Enríquez, por haberme brindado su cariño y su apoyo en todo el trayecto de mis estudios de licenciatura.

A mi cuñado Jacinto Francisco Salazar Barceló por su apoyo brindado durante todo el trayecto de mis estudios de licenciatura

A mis compañeros de generación que pasamos gratos momentos.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	<i>vii</i>
RESUMEN	<i>ix</i>
INTRODUCCIÓN	1
LITERATURA REVISADA	3
Historia del riego por goteo	3
Clasificación de los sistemas de riego por microirrigación	4
Tipos de Riego localizado más comunes	4
Riego por goteo	4
Microaspersión fija	4
Microaspersión rotatoria	4
Riego por cinta	4
Sistema de riego por goteo	5
Ventajas del riego por goteo	5
Desventajas del riego por goteo	6
Microaspersión	6
Componentes de un sistema de riego	8
Equipo de bombeo	9
Sistema de filtración	10
Hidrociclones	10
Filtros de arena	11
Filtros de malla	12
Filtros de anillas	14
Fertirrigación	15
Ventajas de la fertirrigación	15
Equipo de inyección	16
Inyector Venturi	17
Bombas inyectoras auxiliares	18
Inyector por succión positiva	19
Línea principal y secundaria	20
Líneas laterales	21
Emisores	22
Clasificación de los emisores	23
Gotero	23
Microaspersor y Microjet	24
Cinta de Riego	25
Válvulas y accesorios	26
Determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU)	27
Factores que intervienen en la desuniformidad	28

Aforo de los emisores	28
Evaluación del Coeficiente de Uniformidad	29
La citricultura en México	30
Situación actual de la citricultura en Sonora	30
Requerimientos agroecológicos para cítricos	31
Principales variedades de cítricos utilizadas en Sonora	31
Época de plantación	33
Sistema y densidad de plantación	33
Fertilización	33
Requerimientos hídricos de los cítricos	34
Efecto del estrés hídrico en los diferentes períodos de desarrollo del cultivo	36
Sistema radicular y manejo del riego	37
Programación del riego	37
MATERIALES Y MÉTODOS	41
Descripción del área de estudio	41
Descripción del área de estudio en la región Valle del Yaqui, Sonora	41
Descripción del área de estudio en la región Costa de Hermosillo, Sonora	42
Metodología de la evaluación	43
Metodología aplicada en el estudio	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
Huertas-del Valle del Yaqui, Sonora	45
Huertas de la Costa de Hermosillo, Sonora	54
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
LITERATURA CITADA	66

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

		Pág.
Cuadro 1	Clasificación de los filtros en función de las partículas del agua	15
Cuadro 2	Clasificación de goteros de un sistema de riego por goteo	23
Cuadro 3	Índices de Coeficiente de Uniformidad	28
Cuadro 4	Principales variedades de cítricos recomendadas para Sonora	32
Cuadro 5	Distanciamientos sugeridos para cítricos en Sonora	33
Cuadro 6	Demanda hídrica de cítricos en la Costa de Hermosillo (L día ⁻¹ árbol ⁻¹)	36
Cuadro 7	Programa de riego por microaspersión en huertas adultas de cítricos	40
Cuadro 8	Interpretación de los índices del Coeficiente de Uniformidad	43
Cuadro 9	Gasto en L h ⁻¹ y presiones en la huerta 1 (Subunidades de riego 1 y 2) del block 1706. Ciclo 2017	46
Cuadro 10	Gasto en L h ⁻¹ y presiones en la huerta 2 (Subunidades de riego 1 y 2) del block 1603. Ciclo 2017	48
Cuadro 11	Gasto en L h ⁻¹ y presiones en la huerta 3 (Subunidades de riego 1 y 2) del Cuadrilátero III. Ciclo 2017	51
Cuadro 12	Gasto en L h ⁻¹ y presiones en la huerta 4 (Subunidades de riego 1 y 2) del block 1520. Ciclo 2017	53
Cuadro 13	Gasto en L h ⁻¹ y presiones en la huerta 1 (Subunidades de riego 1 y 2) Calle 12 Sur. Ciclo 2017	55
Cuadro 14	Gasto en L h ⁻¹ y presiones en la huerta 2 (Subunidades de riego 1 y 2) Cerro El Águila. Ciclo 2017	58
Cuadro 15	Gasto en L h ⁻¹ y presiones en la huerta 3 (Subunidades de riego 1 y 2) Calle 12 Norte. Ciclo 2017	60
Cuadro 16	Gasto en L h ⁻¹ y presiones en la huerta 4 (Subunidades de riego 1 y 2) Calle 12 Sur. Ciclo 2017	62
Figura 1	Esquema de un sistema de riego	9
Figura 2	Principales bombas utilizadas para un sistema de bombeo	10
Figura 3	Ejemplo de un filtro tipo hidrociclón	11
Figura 4	Ejemplo de un filtro de arena	12
Figura 5	Ejemplo de filtros de malla	13
Figura 6	Ejemplo de un filtro de anillas	14
Figura 7	Inyección por medio de un Venturi	18
Figura 8	Formas de instalación de un Venturi	19
Figura 9	Distribución de tuberías de un sistema de riego	21
Figura 10	Ejemplo de las líneas laterales	22

Figura 11	A) Microaspersor, B) Microjet	24
Figura 12	Cinta de riego	25
Figura 13	Accesorios para un sistema de riego	27
Figura 14	Selección de goteros y líneas regantes dentro de la Subunidad de riego	29
Figura 15	Croquis de la huerta 1 (Valle del Yaqui) del block 1706. Ciclo 2017	47
Figura 16	Croquis de la huerta 2 (Valle del Yaqui) del block 1603. Ciclo 2017	49
Figura 17	Croquis de la huerta 3 (Valle del Yaqui) del Cuadrilátero III. Ciclo 2017	51
Figura 18	Croquis de la huerta 4 (Valle del Yaqui) del block 1520. Ciclo 2017	54
Figura 19	Croquis de la huerta 1 (Costa de Hermosillo) Calle 12 Sur. Ciclo 2017	56
Figura 20	Croquis de la huerta 2 (Costa de Hermosillo) Cerro El Águila. Ciclo 2017	58
Figura 21	Croquis de la huerta 3 (Costa de Hermosillo) Calle 12 Norte. Ciclo 2017	61
Figura 22	Croquis de la huerta 4 (Costa de Hermosillo) Calle 12 Sur. Ciclo 2017	63

RESUMEN

Comúnmente la programación del riego se realiza con el gasto nominal de cada emisor definida por el fabricante, sin embargo, el gasto puede variar por efectos de la presión, temperatura, obturaciones y por fallas en el diseño de los sistemas de riego, por lo que normalmente el gasto real, difiere del gasto nominal. La desuniformidad en el gasto de los emisores, implicará que algunas plantas reciban menos agua de la que realmente necesitan y otras reciben el exceso, con la consiguiente pérdida de rendimiento. Por eso es importante realizar una revisión periódica al sistema, midiendo el volumen de descarga de los emisores, con lo cual podemos determinar si el sistema de riego presurizado, funciona de la manera adecuada, lo que se verifica determinando el Coeficiente de Uniformidad (CU). De esta manera se busca lograr detectar y determinar la causa que pudiera estar afectando el funcionamiento y la eficiencia con la que el sistema de riego está operando. El objetivo de estas evaluaciones hidráulicas, fue determinar el Coeficiente de Uniformidad (CU) y diagnosticar los posibles agentes causales de una baja o alta eficiencia con la que operan los sistemas de riego presurizado dentro de las huertas de cítricos en el estado de Sonora. El estudio se realizó en 8 huertas de cítricos, 4 ubicadas en el Valle del Yaqui, Sonora y 4 en la Costa de Hermosillo, Sonora. Durante las evaluaciones hidráulicas se utilizó la metodología descrita por López *et al.* (1992) y Valdez, (2015), donde usan el CU que compara la media del 25% de observaciones del valor más bajo con la media total. Resultados: En el Valle del Yaqui, la huerta 1, el CU fue de 87.69 y 94.31% clasificado como bueno y excelente respectivamente. La huerta 2, el CU fue de 80.17 y 88.78% clasificado ambos como bueno. La huerta 3, el CU fue de 80.58 y 91.66% clasificado como bueno y excelente, respectivamente. La huerta 4, el CU fue de 75.76 y 77.10%, clasificado ambos como regular. En la Costa de Hermosillo, la huerta 1, el CU fue de 87.80 y 86.02%, clasificando a ambos como bueno. La huerta 2, el CU fue de 74.44 y 76.28% clasificando a ambos como regular. La huerta 3, el CU fue de 79.28 y 73.78%, clasificando a ambos como regular y en la huerta 4, el CU fue de 91.64 y 74.05% clasificado como excelente y regular, respectivamente. Con base a los resultados, se observó que las huertas irrigadas bajo riego por goteo en el Valle del Yaqui tienen un CU de 2.83% mayor que los de la Costa de Hermosillo, y para las irrigadas bajo microaspersión de igual manera el Valle del Yaqui tienen un CU de 1.10% mayor que el de la Costa de Hermosillo, sin embargo, se requiere hacer más evaluaciones.

Palabras claves: Coeficiente de Uniformidad, riego presurizado, diagnóstico y cítricos

INTRODUCCIÓN

En México, para propósitos de administración de las aguas nacionales, especialmente de la publicación de la disponibilidad, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha definido 731 cuencas hidrológicas; de las cuales, al 31 de diciembre de 2013, se tenían publicadas las disponibilidades conforme a la norma NOM-011-CONAGUA-2000. Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas. En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos (CONAGUA, 2014).

En el Estado de Sonora, el Distrito de Riego 041 Río Yaqui con 227,000 ha es irrigada por un sistema de tres presas: La Lázaro Cárdenas o Angostura con una capacidad de almacenamiento de 921 Millones de m^3 (Mm^3), la Plutarco Elías Calles o el Novillo con una capacidad de 3,020 Mm^3 y la Álvaro Obregón o el Oviachic con una capacidad de 3,227 Mm^3 , las cuales tienen una capacidad total de almacenamiento de 7,168 Mm^3 .

La Costa de Hermosillo, Sonora forma parte de la región hidrológica No. 9, Sonora Sur, donde el escurrimiento superficial más importante es el río Sonora y en menor importancia el Bacoachi. Las aguas del río Sonora son retenidas por las presas El Molinito y Abelardo L. Rodríguez (CONAGUA, 2015b). El acuífero, el cual pertenece al Distrito de Riego 051 Costa de Hermosillo, se encuentra dentro del municipio de Hermosillo, extendiéndose desde la capital del estado hacia Bahía Kino. El aprovechamiento del acuífero se destina principalmente para el uso agrícola y público urbano, y en menor escala para las actividades pecuarias y de servicios.

Para la Costa de Hermosillo el volumen total anual de recarga es igual a 250.0 Mm^3 , de los cuales 151.6 Mm^3 son de agua dulce y 98.4 Mm^3 son agua salada proveniente del mar (CONAGUA, 2015a).

La baja disponibilidad de agua, los altos costos de bombeo por m³ y la competencia de mercado y rentabilidad de especies hortofrutícolas en la región, colocan en riesgo la sustentabilidad de la agricultura, de aquí que los productores hayan implementado el uso de sistemas de riego presurizados en más del 70% de la superficie para la Costa de Hermosillo, como una medida para elevar la eficiencia en el aprovechamiento del agua en los diversos cultivos.

Los sistemas de riego establecidos son en su mayoría de goteo y microaspersión, donde los primeros dominan en eficiencia de distribución, manteniendo mayor uniformidad en los gastos de los emisores (Valdez *et al.*, 2014). La uniformidad de aplicación del agua de un sistema presurizado, es afectada por la distribución de la presión del agua en las tuberías y por las propiedades hidráulicas de los emisores usados. Las propiedades hidráulicas incluyen los efectos por diseño del emisor, calidad del agua, temperatura del agua y otros factores como taponamiento y edad (Smajstrla *et al.*, 1998; Burt, 1999; Valdez *et al.*, 2014).

Es importante conocer la uniformidad de aplicación del agua a través del tiempo, donde el valor inicial de uniformidad al instalarse un sistema servirá de base para tomar medidas preventivas en años subsecuentes (Zazueta, 1992; Martínez, 1999; Valdez *et al.*, 2014). Qué tan bien o mal funciona un sistema en la aplicación del agua, puede ser indicado en términos de un Coeficiente de Uniformidad (CU) el cuál, mostrará el grado de variación de los caudales (gastos) que salen de los goteros (Valdez y Zarate, 2014).

El objetivo del estudio realizado es determinar los CU con los que los sistemas de riego están operando dentro de las dos zonas agrícolas más importantes en el estado de Sonora, así como comparar, éstas mismas, observando cuales cuentan con una mayor eficiencia al momento de aplicar el agua de riego en las huertas de cítricos, además de dar una solución a los posibles problemas que puedan estar afectando el funcionamiento de los sistemas de riego.

LITERATURA REVISADA

Historia del riego por goteo

El riego por goteo ha sido utilizado desde la antigüedad cuando se enterraban vasijas de arcilla llenas de agua con el fin de que el agua se infiltrara gradualmente en el suelo. El riego gota a gota moderno se desarrolló en Alemania hacia 1860 cuando los investigadores comenzaron a experimentar la subirrigación con ayuda de tuberías de arcilla para crear una combinación de irrigación y de sistema de drenaje. En los años 1920, tuberías perforadas fueron utilizadas en Alemania, después O.E. Robey experimentó el riego por tubería porosa de tela en la universidad de Michigan (Blass, 1973; citado por Solórzano, 2008).

Con la llegada de los plásticos modernos después de la Segunda Guerra Mundial, fueron posibles numerosas mejoras. Micro-tubos de plástico y diversos tipos de goteros han sido empleados en invernadero en Europa y en Estados Unidos. La tecnología moderna de riego por goteo fue inventada en Israel por Simcha Blass y su hijo Yeshayahu. En lugar de liberar el agua por agujeros minúsculos, que fácilmente se podían obstruir por acumulación de partículas pequeñas, el agua se libera por tuberías más grandes y más largas empleando el frotamiento para ralentizar la velocidad del agua en el interior de un emisor (gotero) de plástico (Blass, 1973; citado por Solórzano, 2008).

El primer sistema experimental de este tipo fue establecido en 1959 cuando la familia de Blass en el Kibboutz Hatzetim creó una compañía de riegos llamada Netafim. A continuación, desarrollaron y patentaron el primer emisor exterior de riego gota a gota. Este método muy perfeccionado se ha desarrollado en Australia, en América del Norte y en América del Sur hacia el fin de los años 60 (Blass, 1973; citado por Solórzano, 2008).

Clasificación de los sistemas de riego por microirrigación

El riego localizado de alta frecuencia, o microirrigación, se define como la aplicación del agua en una fracción del suelo, próxima a la planta, con la cual se mantiene un contenido de humedad relativamente constante, gracias a la continua aplicación hídrica en pequeñas dosis. En microirrigación, se hace llegar el agua desde la fuente de captación hasta las plantas, a través de tuberías, siendo entregadas directamente a éstas por emisores. Con ello se eliminan las pérdidas por conducción y se minimizan las pérdidas por evaporación y percolación profunda, gracias a la alta uniformidad de aplicación de estos sistemas (Uribe, 1998).

Tipos de Riego localizado más comunes

De acuerdo con la forma de aplicación del agua de riego, Uribe (1998) los clasifica en cuatro formas de hacerlo.

Riego por goteo. El agua se aplica a la superficie del suelo a través de goteros, tuberías emisoras o sistemas integrados, con caudales menores a 20 litros por hora ($L h^{-1}$), normalmente 4 o 5 $L h^{-1}$. El principal medio de propagación de la humedad es el suelo.

Microaspersión fija. El agua se aplica con microjet, que, sin rotar, puede mojar en forma de abanico o chorro, el total o parte de la circunferencia que lo rodea, con caudales inferiores a los 200 $L h^{-1}$, siendo el aire el medio de distribución antes que llegue al suelo.

Microaspersión rotatoria. El agua se aplica con microaspersores, que giran mojando el total o parte de la circunferencia que los rodea. Los caudales emitidos son inferiores a 200 $L h^{-1}$ y el medio de distribución antes que el agua llegue al suelo es el aire.

Riego por cinta. Es una tubería de polietileno, de pequeño espesor, que cada cierta distancia lleva canales de flujo turbulento que emiten agua a tasas de 4 o 5 $L h^{-1}$. Trabajan a presiones inferiores al resto de los emisores de microirrigación, duran una o dos temporadas y son de menor costo inicial.

Sistema de riego por goteo

Los términos para definir un sistema de riego por goteo han variado con el paso del tiempo; En un principio se conocía como riego “gota a gota” o de “bajo volumen”; actualmente se conoce como una forma de microirrigación que sirve para aplicar el agua a un cultivo con baja presión, bajo volumen y con alta frecuencia. En general la microirrigación contempla los sistemas de riego por goteo y microaspersión.

El riego por goteo se utiliza principalmente en cultivos hortofrutícolas, sin embargo, a últimas fechas se ha adaptado al cultivo de granos en zonas de baja disponibilidad de agua. El riego por goteo se maneja en forma de cinta o manguera, la cual se coloca en una o varias hileras de plantas, superficial o enterrada a diferentes profundidades (Valdez, 2015).

Ventajas del riego por goteo

1. Se requiere menor cantidad de agua por superficie, normalmente se necesita 50% comparado con el sistema de riego por aspersión.
2. La presión requerida es menor que en un sistema de riego por aspersión (40 a 60 psi), pivote central (25 a 30 psi) y micro aspersión (20 a 25 psi), mientras que en el riego por goteo solamente se requiere de 10 a 15 psi. Esto significa menor costo de energía. (“psi” es la unidad de presión en el sistema inglés definida como la fuerza en “libras fuerza” dividida por el área en “pulgadas cuadradas”).
3. La eficiencia es muy alta debido a que el agua se coloca directamente en el bulbo húmedo, depositando la cantidad requerida por el cultivo dependiendo de su etapa fenológica. A diferencia del riego por gravedad y aspersión que el suelo se humedece en su totalidad.
4. Hay menor probabilidad de presencia de enfermedades debido a que no se humedece el follaje o frutos.
5. El costo de la mano de obra es muy bajo y es posible hacer el sistema totalmente automatizado.

6. Las operaciones de campo (aplicaciones de plaguicidas con maquinaria y cosecha) pueden realizarse en forma simultánea con el riego, debido a que solamente se riega la parte superior de la cama.
7. Menor presencia de malezas y aún mejor con el uso de acolchado. Esto debido a que los espacios entre camas no se riegan y, por lo tanto, no hay presencia de malezas si no se presentan lluvias.
8. Se puede aplicar fertilizantes y plaguicidas a través del sistema de riego.
9. Con un buen manejo se evita la erosión del suelo y lixiviación de fertilizantes y plaguicidas.
10. Los lotes sembrados no tienen que estar nivelados. Sin embargo, con lotes con desniveles muy fuertes se pierde la eficiencia por lo que se recomienda el uso de reguladores de presión o reducir la longitud de la cintilla (Martínez, 2005).

Desventajas del riego por goteo

1. El costo inicial es alto, va desde \$1,000.00 hasta \$4,500.00 Dlls ha⁻¹. El costo de la cintilla es de aproximadamente de \$600 hasta \$1800 Dlls ha⁻¹, lo cual representa cerca del 45% del costo total del sistema. El costo del resto de los componentes depende de la fuente de agua y distancia del pozo al lote de producción y la tecnología adquirida.
2. El personal que lo opera deberá tener una capacitación especial.
3. Daños o problemas en el sistema por periodos cortos pueden ser desastrosos, ya que la mayoría de las raíces están cerca de la cintilla.
4. No es útil para la protección contra heladas como es el caso del riego por aspersión.
5. Insectos y ratas, por citar algunos ejemplos pueden hacer destrozos en la cintilla, provocando fugas.
6. Es obligatorio la instalación del sistema de filtrado (Martínez, 2005).

Microaspersión

El riego por microaspersión es un sistema de riego presurizado que nació en el país de la cuna del riego por goteo, Israel. Este sistema de riego, en la última década ha tenido

gran aplicación en el riego de árboles frutales e invernaderos. Se le puede considerar como el resultado de cruzar el sistema de riego por goteo con el sistema de riego por aspersión (Pizarro, 1996; De la Cruz; 2013).

Los microaspersores son orificios con deflectores para suministrar agua en forma de lluvia, existen microaspersores con piezas fijas y móviles; pueden tener dispositivo de regulación de presión para terrenos ondulados. Los patrones de mojado dependen del tipo de aspersor y deflector que usen. Los microaspersores de piezas fijas pueden mojar círculos completos (360°) o sectores de círculo (270 , 180 y 90°). Generalmente, tienen una boquilla u orificio por el que se emite un chorro de agua; éste, al chocar con el deflector, esparce el agua en forma de lluvia o de microchorros.

Los microaspersores de piezas móviles tienen una boquilla fija y un deflector móvil que se mueve por acción del chorro generando la lluvia con un patrón de mojado circular; son de gasto y radio de mojado mayores que los de piezas fijas. Este tipo de emisores se usan comúnmente en cultivos de frutales, en floricultura, dentro de invernaderos y en almácigos (Chávez *et al.*, 2010).

Este sistema de riego funciona con una presión de 2.0 a 3.0 kg cm^{-2} ; el gasto varía de 20 a 200 L h^{-1} . Se utiliza frecuentemente en frutales de baja demanda, por lo que normalmente es suficiente un solo emisor por árbol para satisfacer la demanda de agua del cultivo. El diámetro o alcance de mojado se distribuye sobre una superficie mediana y depende de la boquilla del emisor (Herrera *et al.*, 2013). La mayoría de los sistemas de riego por microaspersión requieren un valor mínimo de uniformidad de distribución de agua de 80% (Keller y Bliesner, 1990).

Componentes de un sistema de riego

Un sistema de riego por goteo consiste en una serie de dispositivos y equipo los cuales son depositados, algunos sobre el terreno y otros enterrados formando una red presurizada hasta el punto de emisión (Valdez, 2015).

La aplicación del agua en riego localizado, a semejanza de riego por aspersión, exige una red de tuberías principales, secundarias, terciarias y ramales porta emisores; normalmente, enterradas, a excepción de los ramales. Los dispositivos a través de los cuales se aplica el agua al suelo, y en la zona radicular, se denominan emisores, los cuales se colocan equidistantes en el lateral, o por grupos en caso de algunos cultivos (Santos *et al.*, 2010).

Diversos autores citan los componentes de los sistemas de riego por goteo y su funcionamiento, realizando adecuaciones convencionales en cada trabajo. A continuación, enlistamos los componentes principales de los sistemas de riego utilizados en la región de Sonora y en la figura 1 es la representativa de su distribución.

- Equipo de bombeo
- Línea principal y secundaria (tubería de conducción y distribución)
- Sistema de filtración
- Línea lateral y emisores (manguera o cinta con gotero integrado)
- Equipo de inyección
- Válvulas y accesorios.

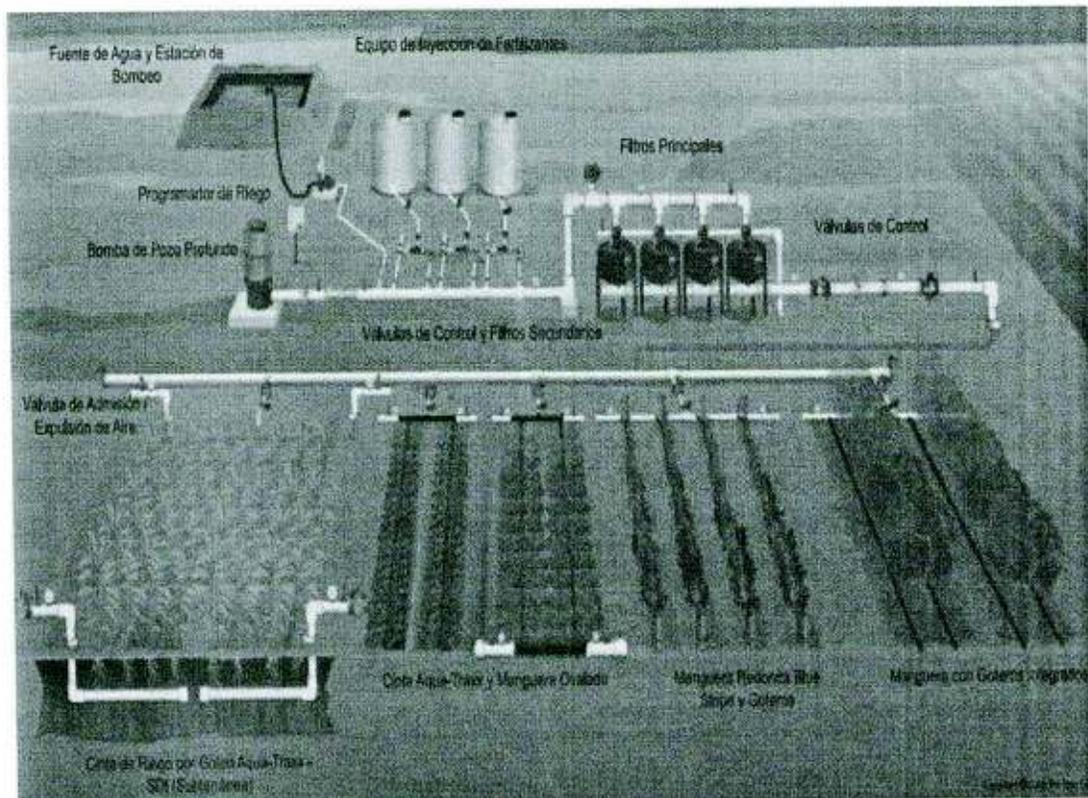


Figura 1. Esquema de un sistema de riego

Tomada de: <https://www.yumpu.com/es/document/view/14913077/el-riego-por-goteo-para-el-cultivo-de-maiz-y-soya-en-toro-media>

Equipo de bombeo

Después de la fuente de abastecimiento inicia el sistema de riego por goteo. Primero se tiene el equipo de bombeo, el cual consiste de una o varias bombas de tipo turbina, sumergibles o centrifugas. Las dos primeras son usadas en pozos profundos, con profundidades mayores a los 7 a 9 m y con requerimientos de presión total que exceden los 1,500 kilopascales (kPa). Las bombas centrifugas se utilizan para bombear agua de profundidades menores de 6 m, como arroyos, ríos y canales (Valdez, 2015).

A continuación, se muestra la Figura 2 con ejemplos de equipo de bombeo para un sistema de riego presurizado.

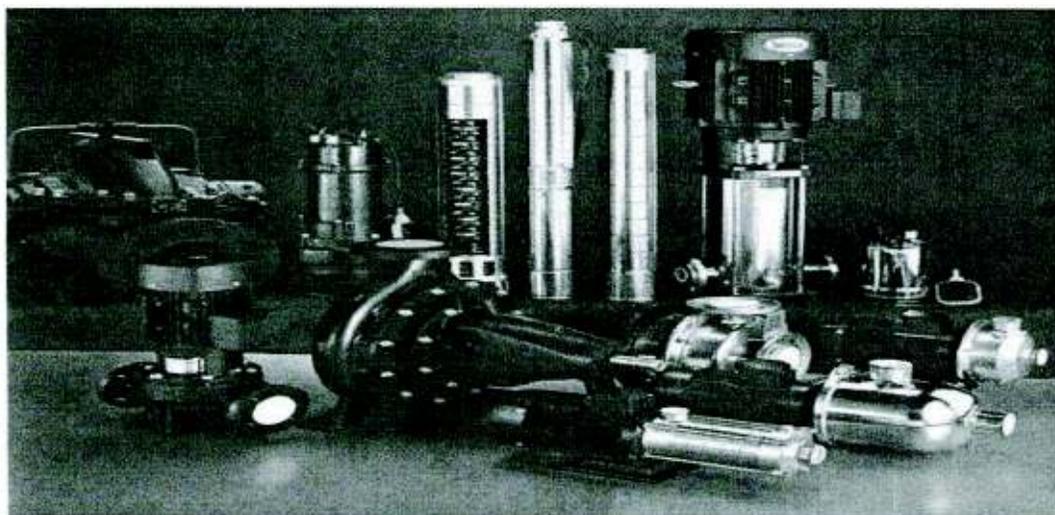


Figura 2. Principales bombas utilizadas para un sistema de bombeo
Tomada de: http://lima.locanto.com.pe/ID_563020322/reparacion-d-electrobombas-en-todas-las-marcas-y-modelos-2426989.html

Sistema de filtración

Los sistemas de microirrigación utilizan emisores de bajo flujo con pequeñas trayectorias y orificios que oscilan entre 2.5 y 1.8 mm, muy susceptibles al taponamiento por materiales suspendidos y químicos disueltos. La clave para un buen funcionamiento del sistema de riego, es la selección de un adecuado sistema de filtración. Una regla general empírica es que todas las partículas mayores de 1/10 del diámetro de los orificios de emisión deben ser removidas del agua para prevenir obstrucción de los emisores. La filtración en goteo debe remover partículas de 3 a 1.8 mm de diámetro (Valdez, 2015).

Hidrociclones. Su mismo nombre indica lo que va a hacer. Provocar un movimiento rotacional en el interior del depósito. Para conseguir este movimiento rotacional, la entrada de agua se hace de forma tangencial generando una fuerza centrífuga que desplaza las partículas sólidas hacia la pared del hidrociclón.

Las partículas caerán en un acumulador de sedimentos en la parte inferior mientras que el agua saldrá limpia por la parte superior del mismo gracias a esa fuerza centrífuga. Este tipo de filtrado es muy utilizado en extracciones de agua de pozo. No supone una

gran pérdida de carga en la red y la eficacia es muy notable. De forma media se consiguen separar casi el 98% de partículas menores de 100 micrómetros (Agromatica, 2017).

Las pérdidas de carga que se producen en este tipo de filtros son del orden de 3 a 7 metros de columna de agua (m.c.a.) dependiendo del caudal de agua que circule por el filtro. Por otro lado, como las partículas retenidas se van acumulando en un depósito inferior, no interfiriendo en el flujo, la pérdida de carga en este tipo de filtro se mantiene constante, a diferencia de otros tipos donde las pérdidas de carga aumentan conforme crece el volumen de los sedimentos retenidos. Es recomendable, no obstante, instalar en serie con el hidrociclón un filtro de malla como medida de seguridad, dado que hasta que el hidrociclón no alcanza el régimen de trabajo puede dejar pasar algunas partículas.

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

A continuación, se observa la Figura 3 con un ejemplo del funcionamiento de un filtro tipo hidrociclón.

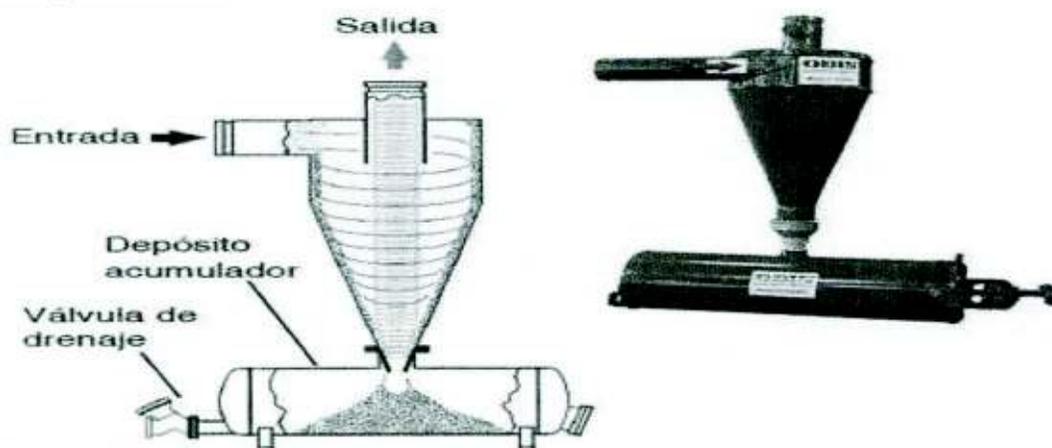


Figura 3. Ejemplo de un filtro tipo hidrociclón

Tomada de: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

Filtros de arena. Los hay más o menos complejos, con diseños propios de cada empresa que los hace más o menos efectivos, pero la base y el fundamento de funcionamiento de todos es el mismo. Un lecho o cama de arena filtrante (normalmente de sílice entre otros componentes) que permiten que el agua vaya recorriendo el lecho lentamente, dejando a su paso multitud de partículas, principalmente orgánicas.

Por ello son muy útiles y necesarios cuando el contenido en materias orgánicas en el agua de riego es elevado o se quiere una filtración realmente fina. La ventaja es que la superficie de contacto con las partículas del lecho de filtración es muy elevada consiguiendo una filtración muy efectiva. Las pérdidas de carga evidentemente son mayores (hasta 3 m.c.a. de pérdida de carga) y pueden llegar a ser el doble si la cama de filtrado no está limpia y en condiciones óptimas. Son caros y requieren un mantenimiento (limpiar la cama).

La forma de saber cuándo hacerlo es instalando manómetros antes y después de la unidad de filtrado. Las diferencias de presión nos darán el momento de limpieza. Actualmente, la limpieza de estos filtros se realiza en forma mecánica con la misma agua que se utiliza en el sistema (retrolavado), que puede ser manual o automático (Agromatic, 2017). A continuación, en la Figura 4 se observa internamente un filtro de arena y grava.

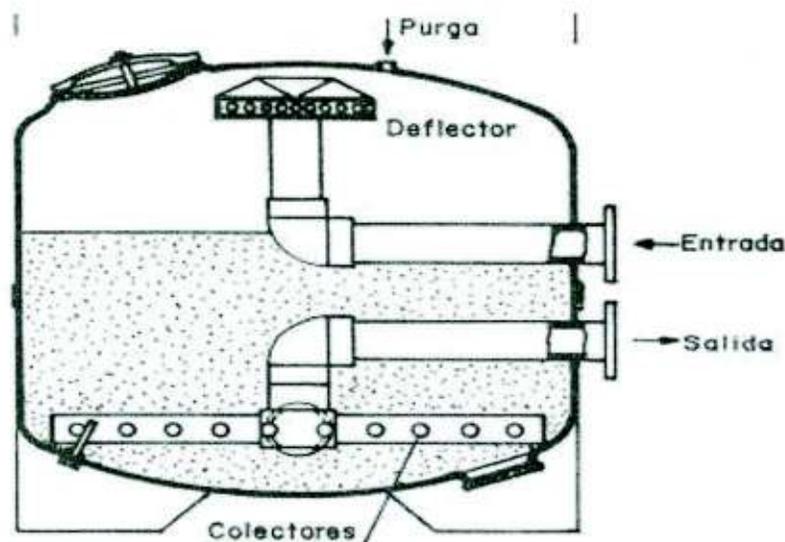


Figura 4. Ejemplo de un filtro de arena

Tomada de: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_06.html

Filtros de malla. Esto consiste en mallas. Suelen ser cartuchos o carcasas que llevan en su interior mallas metálicas o de plástico con diferentes diámetros de luz. El tamaño de malla equivalente es usado para determinar el grado de filtración requerido para varios emisores.

Los filtros de disco y malla son clasificados por el tamaño de malla (mesh) y los filtros de arena utilizan un número de identificación para la arena lo que se refiere al tamaño de malla. En goteo es común el uso de filtración con tamaños de malla equivalentes que van de los 120 a 200 mesh (Valdez, 2015).

Las mallas pueden ser de acero inoxidable o de plástico (poliéster o nylon). La diferencia entre estos dos tipos de materiales, corresponde a que en mallas de igual número de orificios por pulgada lineal (mesh), los orificios de las mallas de acero son de mayor tamaño que en las de plástico.

La pérdida de carga que sufre el flujo de agua al paso por un filtro de malla se sitúa entre 1 a 3 m.c.a. cuando éstos están limpios. En todo caso, la pérdida de carga que presenta cualquier filtro es un dato que debe ser suministrado por el fabricante. Pero si se saturan y no se limpian regularmente, la pérdida de carga puede llegar hasta los 5 o 7 m.c.a., de ahí la importancia de realizar una limpieza periódica de la superficie de la malla en estos filtros. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

A continuación, en la figura 5 se muestran dos filtros de malla, uno de acero inoxidable y otro de plástico.

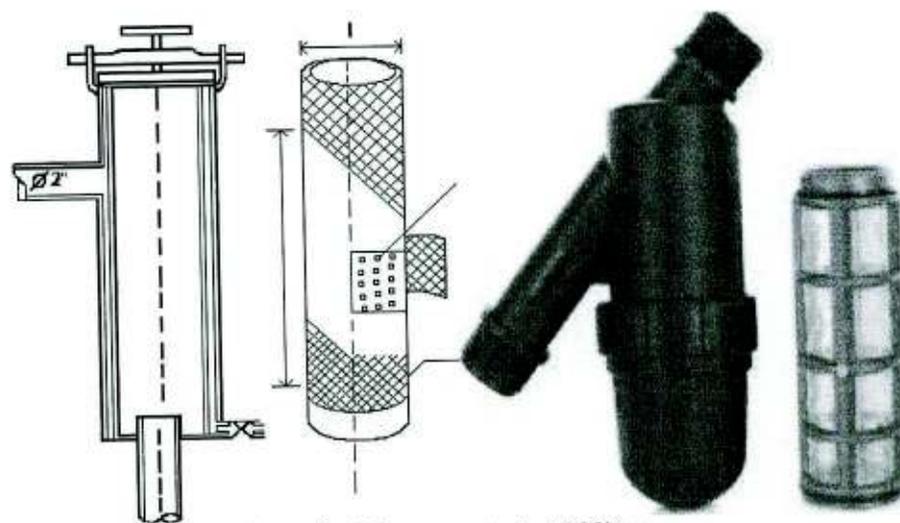


Figura 5. Ejemplo de filtros de malla (Ferreira *et al.*, 2000) y Tomada de: <https://es.aliexpress.com/cheap/cheap-irrigation-pump-filters.html>

Filtros de anillas. Se escucha mucho hablar de los filtros de anillas. Eso es porque la efectividad de filtrado es aceptablemente buena en comparación con el precio. Los filtros de arenas suelen ser caros y no resultan rentables si la explotación no es lo suficientemente grande y los caudales no son demasiado altos. La amortización y mantenimiento de los filtros de arena es más costosa.

Los filtros de anillas suelen ser sustitutos de los de arena en instalaciones más pequeñas. También se instalan como elementos de filtración secundarios. Se compone de un cartucho con anillas o discos estriados por las dos caras. Al superponerse unos con otros forman los conductos por donde pasa el agua. Retienen una gran cantidad de sedimentos (Agromatica, 2017).

Estos filtros tienen una capacidad de filtrado mayor a los filtros de malla, que fluctúa entre los 75 y 150 mesh, con otra positiva característica que es la menor pérdida de carga en comparación con un filtro de malla. Las pérdidas de carga que se producen en este tipo de filtros, si se mantienen limpios, es de 1 a 3 m.c.a. No obstante, este dato debe suministrarlo el fabricante del filtro. Pero para mantener la pérdida de carga del filtro en el rango anterior, se debe realizar un mínimo de mantenimiento del filtro que garantizará su buen funcionamiento. La limpieza de estos filtros es muy sencilla, y se realiza con sólo aplicar un chorro de agua a las anillas del interior de la carcasa.

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

A continuación, en la figura 6 se observa el esquema de un filtro de anillas.

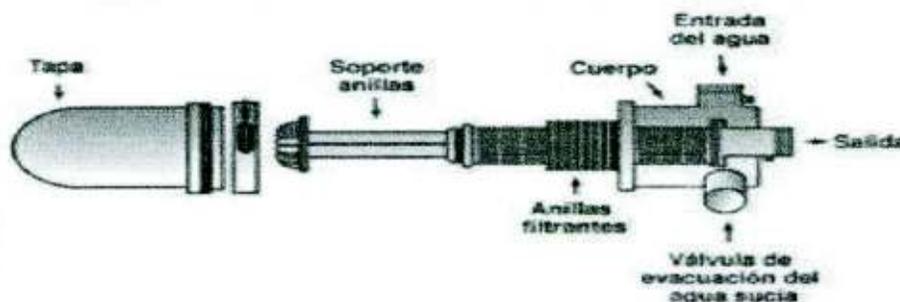


Figura 6. Ejemplo de un filtro de anillas

Tomada de: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

Hay que tener en cuenta que a la hora de diseñar una instalación de riego se debe ahondar más en el tipo de instalación, tamaño de la red, características del agua, tamaño de la explotación, caudales, pérdidas de carga, mantenimiento, limpieza y muchas variables más para elegir correctamente el o los sistemas de filtrado.

A continuación, se muestra el Cuadro 1 con la clasificación general de los filtros antes mencionados en función de las partículas presentes en el agua.

Cuadro 1. Clasificación de los filtros en función de las partículas del agua

Tipo de partículas	Filtro de arena	Filtro de hidrociclón	Filtro de mallas	Filtro de anillas
Arena	NO	SI	SI	SI
Limo y arcillas	SI	NO	SI	SI
Sustancias Orgánicas	SI	NO	SI	SI

Fuente: (Agromatica, 2017).

Fertirrigación

Se entiende por fertirrigación la aplicación de los fertilizantes disueltos en el agua de riego, de una forma continua o intermitente. Esta práctica se asocia básicamente con los sistemas de riego localizados de alta frecuencia (goteo y microaspersión). La fertirrigación comienza en el cabezal de riego, en donde son mezclados los fertilizantes (solución madre) e inyectados al sistema. Posteriormente esta disolución es conducida por tuberías y localizada en el suelo, donde puede ser absorbida por las plantas (Ferreira *et al.*, 2005).

Ventajas de la fertirrigación

- Los fertilizantes se localizan en forma homogénea en el bulbo de mojado, zona donde se desarrollan las raíces.
- La fertirrigación con fósforo y potasio puede alcanzar una profundidad de 50-60 cm, lo que facilita una mejor absorción por las plantas.

- Los fertilizantes se suministran a la planta conforme a sus necesidades en las distintas etapas de su desarrollo.
- Cuando aparecen síntomas carenciales se puede actuar con mucha rapidez.
- Reducción de pérdidas por lavado y volatilización. Además, hay un mejor aprovechamiento de los fertilizantes por los cultivos, suponiendo un ahorro que puede alcanzar el 30%.
- Menor costo de aplicación de los elementos nutritivos. Sin embargo, necesita una fuerte inversión en implementación del equipo.
- Menor uso de maquinaria y, por ende, menor compactación del suelo (Ferreyra *et al.*, 2005).

Equipo de inyección

Los equipos de inyección permiten aplicar fertilizantes en el sistema, junto con el agua de riego (fertirrigación). Para realizar esta operación se utilizan tanques de 20 a 200 litros, en donde se prepara la solución madre del fertilizante con agua y desde donde es inyectada a la red de riego (Ferreyra *et al.*, 2005).

Existe una amplia gama de equipos de inyección en el mercado, los cuales pueden tener bombas suplementarias (centrífugas o desplazamiento positivo) o trabajar mediante diferencial de presión generado por el propio sistema de riego. Los primeros son más deseables cuando no se quiere alterar la presión de operación del sistema, consisten básicamente en un depósito para colocar la solución concentrada, un inyector tipo Venturi y una bomba accionada con motor eléctrico o de combustión interna que proporciona la presión necesaria para vencer la presión del sistema e inyectar la solución (Valdez, 2015).

Estos inyectores pueden tener uno o más venturis de diferentes capacidades para inyectar químicos en las cantidades recomendadas. Algunas características importantes de los inyectores son:

- Ser capaces de entregar un caudal igual al 1% del caudal de riego.
- Resistencia total a la corrosión por fertilizantes y ácidos.
- Válvulas de retención en el inyector para prevenir reflujos del agua de riego hacia el tanque de químicos.
- Ubicarse aguas arriba de los filtros.

Esta recomendación causa controversia porque algunos filtros pueden corroerse con altas dosis de ácidos, además de la posible pérdida de productos durante el retro lavado (Valdez, 2015).

Inyector Venturi

Son dispositivos muy sencillos que consisten en una pieza en forma de T con un mecanismo Venturi en su interior. Este mecanismo aprovecha un efecto vacío que se produce a medida que el agua fluye a través de un pasaje convergente que se ensancha gradualmente. El Venturi funciona cuando hay diferencia entre la presión del agua entrante y la presión de la mezcla de agua y fertilizante que sale al sistema de riego (Ferreyra *et al.*, 2005).

Este dispositivo generalmente se instala en paralelo, debido a que el caudal que circula por el sistema rebasa la capacidad del propio Venturi. Por este motivo los dispositivos más usados se basan en una combinación del principio Venturi y de diferencia de presión. Si se decide instalar el Venturi en paralelo, se requerirá una diferencia de presión entre la entrada y salida del orden del 20%. Es necesario indicar que el Venturi tiene una capacidad de succión reducida; por lo que su uso, se recomienda principalmente en instalaciones pequeñas (Ferreyra *et al.*, 2005).

La mayor ventaja de este tipo de fertilizador es su bajo costo y fácil mantenimiento. Existen varios tamaños de Venturi y se deben seleccionar en base a las necesidades. El modelo a utilizar está en función de:

- Caudal de succión deseado ($L h^{-1}$)
- Caudal que pasa por el inyector ($L min^{-1}$)
- Pérdida de carga que produce al sistema (m.c.a.)
- Forma o modalidad de instalación

A continuación, en la Figura 7 se observa el esquema de la inyección de fertilizante mediante un Venturi.



Figura 7. Inyección por medio de un Venturi

Tomada de:

https://www.researchgate.net/publication/274063252_Inyectores_de_fertilizante_tipo_Venturi_Aplicacion_diseno_y_simulacion

Bombas inyectoras auxiliares

El uso de bombas inyectoras auxiliares es el método más utilizado en fertirrigación, ya que permite un control muy estricto de las dosis a aplicar y de la frecuencia y el tiempo que dura la aplicación. Estas bombas se caracterizan por su bajo caudal y alta presión de trabajo, y están construidas de materiales resistentes a la corrosión como acero inoxidable, compuestos cerámicos de alta resistencia o sintéticos similares al polietileno (Ferreyra *et al.*, 2005).

Existen dos tipos de bombas, las de membrana o diafragma y las centrífugas. Las de membranas son ideales para la aplicación de ácidos en donde se requiere inyectar en forma continua un caudal pequeño. Las bombas centrífugas son de mayor caudal y permiten la inyección de grandes volúmenes de solución madre en poco tiempo (Ferreyra *et al.*, 2005).

A continuación, en la Figura 8 se observa las diferentes formas de instalación de un inyector tipo Venturi.

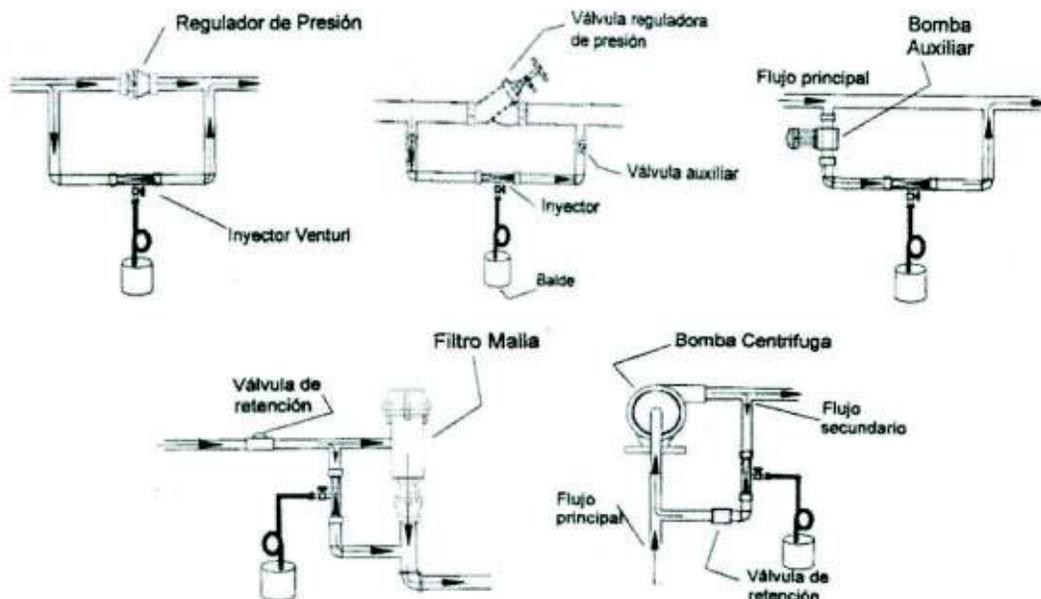


Figura 8. Formas de instalación de un Venturi (Ferreya *et al.*, 2009)

Inyector por succión positiva

Este tipo de inyector es el más fácil de implementar y consiste en conectar el estanque abonador al tubo de succión del equipo de bombeo. En el chupador de la bomba se produce presión negativa o succión, por lo tanto, es un buen punto para inyectar solución madre al sistema de riego (Ferreya *et al.*, 2005).

Este método presenta la dificultad de corrosión prematura de toda pieza metálica en el cabezal, debido a la acción de ácidos y fertilizantes que en este lugar se encuentran muy concentrados. Entre el estanque abonador y el punto de inyección se debe instalar una válvula de paso, preferentemente del tipo bola, ya que es fácil de abrir y cerrar para iniciar o detener el proceso de inyección. Se debe tener especial cuidado en la operación del sistema para evitar la entrada de aire a la bomba, cuando el estanque haya quedado vacío (Ferreya *et al.*, 2005).

Se recomienda disponer de una fuente de agua (llave o manguera) y verter agua en el estanque cuando se haya inyectado el 90% de la solución madre. Esta práctica permitirá disponer de todo el fertilizante disuelto en la preparación inicial, ya que el estanque debe poseer un volumen muerto para la acumulación de residuos e impurezas. La salida de la solución madre debe quedar a dos centímetros sobre el fondo para evitar la succión de impurezas. (Ferreira *et al.*, 2005).

El punto de inyección de fertilizantes debe estar antes de la bomba (a diferencia de los inyectores anteriores que están conectados al sistema después de la bomba), esto implica que los fertilizantes disueltos, pasarán a través de la bomba, lo cual puede presentar un riesgo de taponamiento. Hay que considerar que la reducción de la vida útil de la bomba puede pasar de 8 a 5 años, en este periodo de tiempo la bomba ya estará pagada si se obtiene buena rentabilidad en cada ciclo de cultivo (Briceño *et al.*, 2012).

Línea principal y secundaria

Se da el nombre de línea o tubería “principal” y “secundaria” a una sucesión de tubos, piezas especiales y dispositivos convenientemente unidos, mediante juntas, de modo que formen un conducto cerrado. También son conocidas como tubería de conducción y distribución, las cuales conducen y distribuyen el agua después del sistema de filtrado hasta las líneas laterales. Cuando la tubería secundaria sufre bifurcaciones se le llama terciarias (Valdez, 2015).

La tubería de conducción debe ser diseñada con mucho cuidado ya que usa diámetros grandes con alto costo. La longitud debe reducirse en cuanto sea posible, entregando el agua a los distribuidores en la forma más directa. Estas tuberías normalmente son de PVC (Polivinilo de Cloruro) de escasa rugosidad interna, son fabricados a partir de una materia prima compuesta esencialmente de resina sintética de PVC, mezclada con la proporción mínima indispensable de aditivos colorantes, estabilizantes y lubricantes (Valdez, 2015).

A continuación, en la Figura 9 se muestra un esquema de las distribuciones de las tuberías que componen un sistema de riego presurizado.

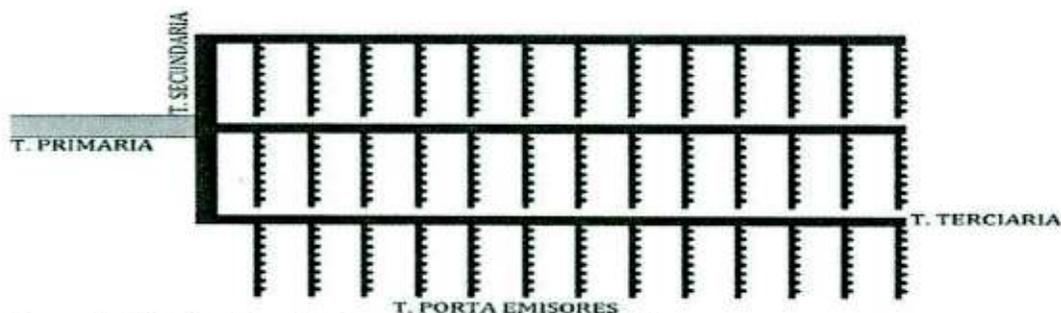


Figura 9. Distribución de tuberías de un sistema de riego
Tomada de: <http://www.novedades-agricolas.com/es/riego/materiales-de-riego/tubos-de-riego>

Líneas laterales

La línea o tubería lateral es aquella que alimenta directamente a los emisores (goteros), generalmente son de polietileno, el cual es un material plástico derivado del etileno que se somete a un proceso de calor y presión que provoca la polimerización. La tubería de polietileno es producida a base de resina de polietileno y de un aditivo de negro de humo que la protege de los rayos ultravioleta. Los diámetros más usados van de 12 a 25 milímetros con presiones nominales de 0.25 megapascuales (MPa); su longitud es determinada de acuerdo al número de emisores que alimenta y su gasto, así como de la pendiente del terreno (Valdez, 2015).

Los laterales de riego se conectan a tuberías terciarias, a través de conectores iniciales que son dispositivos muy prácticos, formados por una espiga (enchufe) para conectar el lateral y la conexión a la tubería con una goma que sella el orificio de salida. La profundidad de la zanja de la terciaria debe ser como mínimo 0.60 m y bien compactado luego del tapado, así mismo se debe tener precaución de no quebrar las salidas de riego y que no queden tirantes para que el conector se desprenda. Una guía práctica en el diseño

de laterales es que las pérdidas de fricción sean menores a 15% de la presión de operación del emisor (Valdez, 2015).

Las laterales pueden ser mangueras o cintas de goteo, con grosores de pared que fluctúan entre las 4 y 20 milésimas de pulgada, generalmente con grosores mayores a 15 milésimas son consideradas como mangueras de goteo (Valdez, 2015).

A continuación, en la Figura 10 se observan las líneas laterales por medio de una cinta y una manguera de riego.

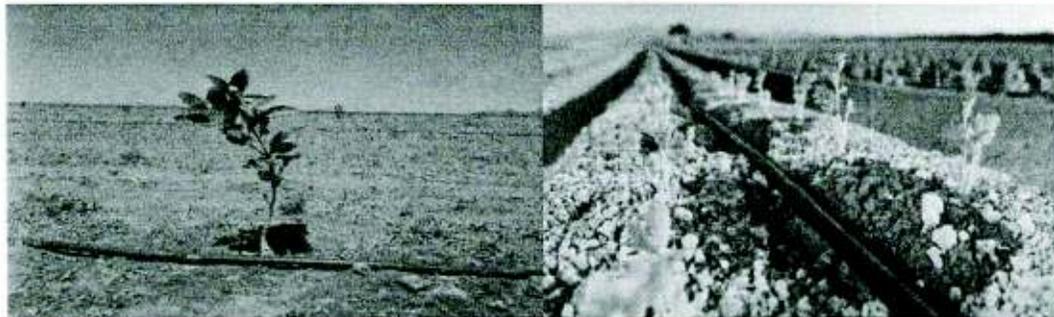


Figura 10. Ejemplo de las líneas laterales
Tomada de: <http://agriculturers.com/tag/riego-por-goteo/>

Emisores

Se denominan emisores a los dispositivos utilizados en el riego localizado con la finalidad de disparar la carga hidráulica y liberar un pequeño gasto de manera constante. Las características hidráulicas de los emisores determinan los caudales descargados. Cuando los emisores están alejados entre sí, dan origen a bulbos mojados individuales, aislados o continuos (Santos *et al.*, 2010).

Existe en el mercado una amplia gama de tubería para laterales, las cuales pueden ser con goteros integrados de gasto y separación acorde a diferentes necesidades de cultivo. En el caso de cultivos perennes se manejan mangueras con goteros de 2 a 6 L h⁻¹ espaciados de 40 a 80 cm, contemplando periodos de duración de la manguera mayor a 10 años. Para la producción de hortalizas se manejan más las cintas de goteo con gastos

que oscilan entre los 1.8 y 3.7 L h⁻¹ m⁻¹, a separaciones promedio de 0.3 m entre emisores. La durabilidad de la cinta depende del grosor seleccionado, buscándose que aquellas de 6 a 8 milésimas de pulgada permanezcan por dos o más ciclos de cultivo (Valdez, 2015).

Clasificación de los emisores

Los emisores se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- a) Gotero o tubería de goteo.
- b) Microaspersor o Microjet.
- c) Cinta.

Gotero. Estos emisores, corresponden al tipo de emisor más antiguo dentro de los sistemas de riego localizado, siendo por ende el más difundido. Existen distintos tipos de goteros; los cuales, se diferencian principalmente por la forma en que se incorporan a los laterales de riego (Ferreya *et al.*, 2000). A continuación, en el Cuadro 2 se muestra la descripción y el funcionamiento de los principales tipos de goteros utilizados en el riego por goteo.

Cuadro 2. Clasificación de goteros de un sistema de riego por goteo

TIPO	DESCRIPCIÓN	FUNCIONAMIENTO
En línea (in-line)	Corresponden a los del tipo de Largo Conducto (microtubo, helicoidal y laberinto) que se insertan en la tubería, cortándola.	La pérdida de carga ocurre en un conducto largo y angosto por donde pasa el agua
De botón (on-line)	Corresponden a goteros que se insertan en una perforación que se realiza en una pared de la tubería de polietileno.	El tipo de funcionamiento puede ser del tipo laberinto o bien de Vortex
Integrados	Corresponden generalmente a goteros de Laberinto (sin cubierta) extruidos en la tubería	La pérdida de carga se produce por la tortuosidad del laberinto

Fuente: (Ferreya *et al.*, 2000).

Una característica general de estos elementos, es que el caudal de emisión varía al variar la presión de trabajo. Esta variación depende del modelo, del caudal para el que fue diseñado y del diámetro de la tubería en la que van incorporados. Sin embargo, actualmente existen en el mercado otras alternativas de estos goteros que son

“autocompensados”, lo que significa que la variación del caudal es mínima al variar la presión de operación (Ferreyra *et al.*, 2000).

Microaspersor y Microjet. La diferencia entre estos emisores, es que los microaspersores están compuestos por un dispositivo que rota aumentando el diámetro de mojado del emisor, en tanto en los microjet no disponen de piezas móviles.

El rango de caudales en este tipo de emisores, fluctúa entre 25 y 120 L h⁻¹, el que está determinado por el diámetro de la boquilla que tenga y por la presión de operación. Este último factor afecta de igual forma al diámetro de mojado, generándose diámetros mayores a mayores presiones (Ferreyra *et al.*, 2000).

A continuación, en la Figura 11 se observa un esquema de emisores tipo microaspersor y microjet.

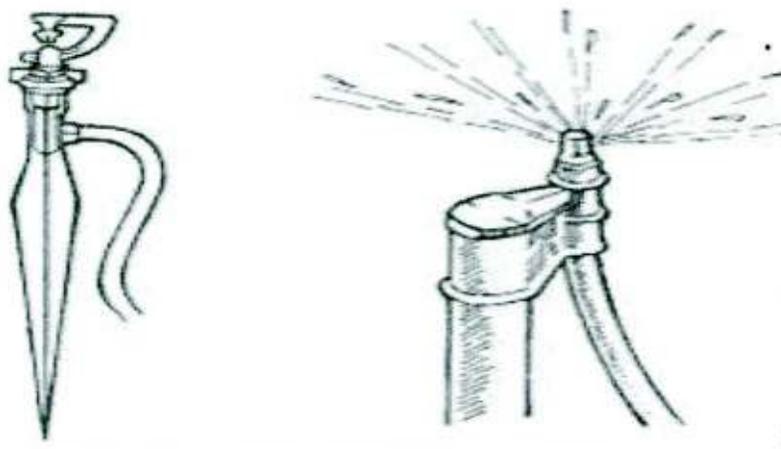


Figura 11. A) Microaspersor, B) Microjet (Ferreyra *et al.*, 2000)

Este último aspecto es de vital importancia al momento de definir un sistema determinado, para evitar así que se produzcan daños por enfermedades, en especial en plantas frutales por mojado del tronco (Ferreyra *et al.*, 2000).

Al igual que en el caso de los goteros, existen microaspersores autocompensados para aquellos proyectos de riego que consideran la instalación en sectores con marcadas

diferencias de pendiente, el caudal que suministran estos emisores, está determinado sólo por la boquilla que tiene incorporada, siendo el rango de entre 20 y 95 L h⁻¹. En tanto, el diámetro de mojado, está determinado por el tipo de rotador que incluye, generando diámetros de entre 3.5 y 8.0 m (Ferreyra *et al.*, 2000).

Cinta de Riego. Este tipo de emisores, se caracteriza por estar compuestos por dos conductos paralelos, uno principal (tubo de transporte) de donde el agua pasa a uno secundario (tubo de reparto) a través de un orificio que provoca una primera pérdida de carga; del conducto secundario el agua sale al exterior por un segundo orificio (Ferreyra *et al.*, 2000).

El orificio que comunica los conductos principal y secundario lleva un pequeño filtro, en tanto que el conducto secundario presenta un canal regulador de flujo turbulento que produce la pérdida de carga final para la emisión del caudal especificado (Ferreyra *et al.*, 2000).

A continuación, en la Figura 12 se observa los componentes internos de una cinta de riego por goteo.

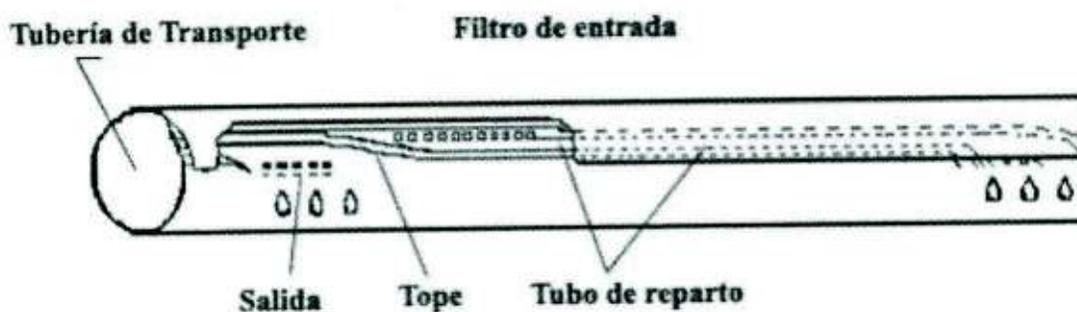


Figura 12. Cinta de riego (Ferreyra *et al.*, 2000)

El espaciamiento entre los orificios de salida varía entre 20 y 60 cm. La presión de trabajo está comprendida entre 5 y 10 m.c.a. (0.5 y 1 bar) y proporcionan caudales entre 0.8 y 9.5 L h⁻¹ m⁻¹, según la presión de operación, espaciamiento y tipo de orificios.

Las cintas más utilizadas actualmente tienen orificios cada 20 cm y descargan un caudal de aproximadamente $5 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ a una presión de trabajo de 7 m.c.a. (Ferreyra *et al.*, 2000).

Válvulas y accesorios

Existe gran variedad de válvulas y accesorios que ayudan a mejorar el funcionamiento de un sistema de riego por goteo. Cuando se quiere estrangular el caudal o reducir la presión se usan válvulas de compuerta o de mariposa. Cuando se desea abrir o cerrar el paso del agua se usan válvulas de esfera (Valdez, 2015).

Las válvulas hidráulicas son mecanismos que abren o cierran el paso de agua en respuesta a una orden hidráulica. Se utilizan para abrir y cerrar el paso de agua en las distintas zonas de la instalación de riego. Los accesorios y piezas para la tubería del sistema son los elementos de unión entre tramos de tubería (Plana, 2008).

Las válvulas de aire (ventosas) permiten salir o entrar el aire en las tuberías según el desequilibrio existente entre la presión interior y la atmosférica. Existen las válvulas de retención (check) que tienen una compuerta giratoria que se abre con el movimiento del líquido y se cierra por gravedad o por efecto del mismo líquido, impidiendo el retroceso del mismo (Valdez, 2015).

La válvula de seguridad permite automáticamente el escape de un caudal de líquido, para evitar el aumento de la presión interna en la tubería, sobre un valor prefijado. Diferentes accesorios ayudan a eficientar el control operativo de los sistemas de riego como son: Manómetros de medición de presión, medidores volumétricos, reguladores de presión y sistemas de automatización, los cuales pueden o no estar considerados por el fabricante al momento de establecer un sistema de riego por goteo (Valdez, 2015).

En la Figura 13, se observan algunos de los diferentes accesorios de un sistema de riego presurizado.



Figura 13. Accesorios para un sistema de riego (Valdez, 2015)

Determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU)

A pesar de las ventajas tecnológicas que ofrecen los sistemas de riego presurizados, estos normalmente requieren de un mantenimiento adecuado para su correcto funcionamiento tanto desde el punto de vista agronómico como hidráulico. De esta manera se asegura, en términos económicos, un óptimo aprovechamiento energético y su amortización en el tiempo de la inversión. En consecuencia, en toda instalación de riego presurizado es fundamental, entre otras cosas, determinar la uniformidad de riego con que opera el sistema (Liotta, 2006).

Es importante conocer la uniformidad de aplicación del agua a través del tiempo, donde el valor inicial de uniformidad al instalarse un sistema servirá de base para tomar medidas preventivas en años subsecuentes (Zazueta, 1992; Martínez, 1999; Valdez y Zarate, 2014).

Qué tan bien o mal funciona un sistema en la aplicación del agua, puede ser indicado en términos de un Coeficiente de Uniformidad (CU) el cuál, mostrará el grado de variación de los gastos que salen de los goteros. Un CU bajo, indica que las cantidades de agua aplicadas por los goteros en distintas partes del sistema son muy diferentes y un CU alto, indica que las cantidades aplicadas por los goteros son similares (Valdez y Zarate, 2014).

A continuación, el Cuadro 3 se observan los parámetros utilizados para la interpretación del CU.

Cuadro 3. Índices de Coeficiente de Uniformidad

Coeficiente de Uniformidad (CU) en %	Interpretación
Más de 90	Excelente
80 a 90	Bueno
70 a 80	Regular
60 a 70	Pobre
Menos de 60	Inaceptable

Fuente: (Valdez y Zarate, 2014).

Factores que intervienen en la desuniformidad

De tipo constructivo. En el mercado existen diferentes tipos y calidades de emisores cuyo funcionamiento en el tiempo es muy variable.

Deficiencia en el diseño. Un mal diseño en el sistema, en particular el de filtrado, incide directamente en la obstrucción de emisores.

Obstrucciones. Estas pueden ser físicas (arenas, limos y arcillas), químicas (fertilizantes) y biológicas (algas, microorganismos y bacterias).

(Liotta, 2006).

Aforo de los emisores

La determinación del gasto de goteros, microaspersores y microjets es rápida y sencilla. Se puede medir de dos formas, tomar el tiempo en un volumen conocido o bien fijando un tiempo y determinando el volumen recibido en ese tiempo. Para el aforo de goteros, cualquiera sea su tipo, la forma más práctica es medir en un tiempo de 36 segundos los mililitros en una probeta graduada de 50 o 100 mL dividiendo en 10 el volumen medido nos dará el gasto en litros por hora. También se puede realizar con microaspersores y microjets, pero son necesarias probetas de 500 o 1000 mL (Liotta, 2006).

Evaluación del Coeficiente de Uniformidad

Las instalaciones poseen elementos que permiten determinar y verificar fácilmente el volumen aplicado. La presión se mide en el cabezal principal y especialmente al final de las laterales de riego (Liotta, 2000).

Para la toma de datos, se deberá poner a funcionar el sistema de riego esperando 30 minutos para normalizar las presiones dentro de las secciones de riego y se medirán los gastos de al menos 16 goteros distribuidos en forma sistemática. Es importante mencionar que, para que las evaluaciones hidráulicas sean más representativas se recomienda que se realicen en dos secciones de riego, una localizada cerca del cabezal de control y la otra lo más alejada al cabezal de control (Valdez y Zarate, 2014).

A continuación, en la Figura 14 se observa un esquema de como se recomienda la selección de goteros y líneas regantes antes de realizar la evaluación del CU.

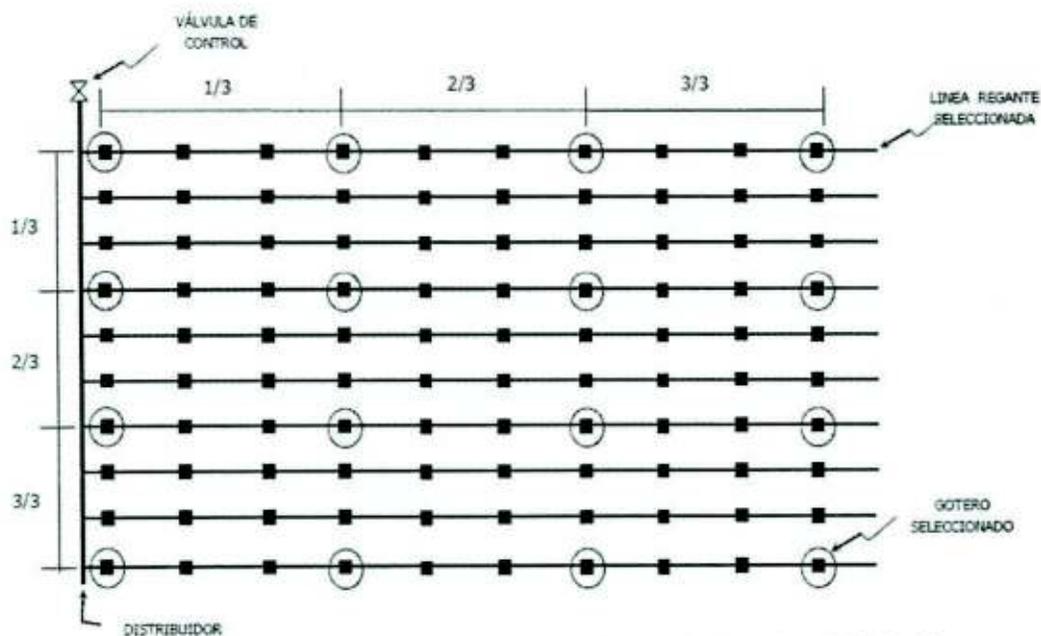


Figura 14. Selección de goteros y líneas regantes dentro de la Subunidad de riego (Valdez y Zarate, 2014).

Los cuatro goteros seleccionados por cada regante, están distribuidos al inicio, final y dos intermedios, equidistantes entre sí, de igual manera se seleccionarán las líneas regantes dentro de la sección de riego. Para la evaluación de un sistema de riego por goteo, se usa el coeficiente que compara la media del 25% de observaciones de valor más bajo con la media total (López *et al.*, 1992).

Por lo tanto:

$$CU = \frac{100 q 25\%}{qt}$$

Dónde:

CU = Coeficiente de Uniformidad en %

q 25% = Es la media del 25% de observaciones de valor más bajo.

qt = Es la media de todos los valores.

La citricultura en México

México se consolidó como 5to productor mundial de naranja, con un volumen promedio de 4.2 millones de toneladas, las cuales se comercializan tanto en mercado interno como en destinos internacionales. Las principales entidades productoras de este cítrico son Veracruz, quien aporta un 44.5% de volumen nacional; Tamaulipas 14.6% y San Luis Potosí 8.8%, estados que conjuntan el 67.9% del total cosechado en el país. Asimismo, el cítrico también se produce en los estados de Nuevo León, Puebla, Yucatán, Sonora, Tabasco, Hidalgo y Oaxaca, entre otros (SIAP, SAGARPA, 2017). El valor de producción de naranja en México se estima en más de seis mil millones de pesos, con un consumo anual per cápita de 37.1 kg y aporta el 22.5% del volumen de frutas que son producidas en el país.

Situación actual de la citricultura en Sonora

En Sonora, para el año 2009 cerca de 175 mil toneladas de naranja fueron cosechadas en el año. Los productores de naranja en el Estado han cosechado desde los últimos 2 años un volumen de 175 mil toneladas del cítrico en las 11,271 has distribuidas

en las regiones de Caborca, Hermosillo, Guaymas y Cajeme. La producción de naranja de Sonora equivale al 6.3% de la producción en el país, donde se cultivan unas 350 mil hectáreas y se obtienen 3.6 millones de toneladas al año, que representa el seis por ciento de la producción mundial (Inforural 2012).

Para el año 2016, en Sonora se cosecharon 5,793 ha y se obtuvo una producción de 153,514 toneladas, con un valor de la producción de 496 millones 631 mil pesos y este cultivo se tiene establecido en 4 de los 12 Distritos de Desarrollo Rural y el distrito líder es el DDR 144 Hermosillo con 3037 ha, lo cual representa el 52% de la superficie establecida en el estado, seguido por el DDR 041 Valle del Yaqui con 2441 hectáreas establecidas (SAGARHPA, 2017).

Requerimientos agroecológicos para cítricos

La selección del sitio de plantación deberá hacerse en base a las necesidades del cultivo en cuanto a clima, suelo y agua. Al ser un cultivo perenne, los errores en este aspecto impactarán en toda la vida de la huerta. Los factores climáticos más importantes para el desarrollo y producción de los árboles son la temperatura y la humedad ambiental. Las especies de cítricos tienen diferentes exigencias de temperaturas, pero en forma general se desarrollan y producen bien en un rango de 10 a 40°C, siendo el óptimo de 24 a 32°C, aunque toleran temperaturas extremas desde 0° hasta 50°C, siendo la naranja y mandarina las especies que más toleran el frío, el limón y la lima son los más sensibles (Valdez *et al.*, 2010).

Principales variedades de cítricos utilizadas en Sonora

Dadas las expectativas de vida productiva de las huertas de 40 a 50 años o más, la selección de la especie y variedad a plantar es uno de los aspectos más importantes, ya que representa el tipo de producto final que se va a comercializar. En la Costa de Hermosillo se explotan la naranja tardía Valencia (80%), naranja temprana Regional (15%) y naranja de ombligo Washington navel (5%). Existen también pequeñas áreas de toronja roja Río red y árboles aislados de mandarina y limón (Valdez *et al.*, 2010).

Para el caso del Valle del Yaqui las principales variedades utilizadas son:

- Naranja: Variedad Valencia, Regional y Navel.
- Toronja: Variedades Flame, Star Rubby, Río Red, Cocktail y Oro Blanco.
- Mandarina: Variedades Fair Child y Murcott.
- Minneolas: Variedad Minneola Tangelos.
- Limón: Variedad Persa.
(Luna, 2010)

A continuación, en el Cuadro 4 se muestran las características de las principales variedades de cítricos recomendadas para el Estado de Sonora.

Cuadro 4. Principales variedades de cítricos recomendadas para Sonora

Variedad	Peso del fruto (gr)	Semillas por fruto	Época de cosecha
NARANJAS			
Hamlin	180	6	Nov - Ene
Marrs	208	0	Nov - Ene
Pineapple	185	19	Nov - Ene
Tarocco	287	4	Dic - Feb
Salustiana	273	4	Nov - Feb
Fisher Navel	383	0	Nov - Dic
Washington Navel	332	0	Nov - Dic
Valencia Olinda	237	5	Mar - Jun
Valencia Campbell	230	5	Mar - Jun
TORONJAS			
Kelly Marsh	484	3	Dic - Mar
Shambar	472	4	Dic - Mar
Duncan	473	76	Dic - Mar
Marsh	462	2	Dic - Mar
Redblush	325	3	Nov - Mar
Rio Red	408	3	Dic - May
MANDARINAS			
Orlando	130	7	Dic - Ene
Ponkan	172	16	Dic - Ene
Lee	170	31	Nov - Dic
Fairchild	130	14	Nov - Dic
Nova	136	9	Nov - Dic
LIMONES			
Lisbon	142	16	Sep - Dic
Ross Eureka	137	17	Sep - Dic
Eureka	126	9	Sep - Dic

Fuente: (Valdez *et al.*, 2010).

Época de plantación

Este aspecto está determinado por el clima y se busca evitar temperaturas extremas. Para el Estado de Sonora se consideran fechas adecuadas desde finales de febrero hasta mayo, cuando no hay riesgo de heladas y previo a las altas temperaturas del verano. Con esto se logra un mayor porcentaje de prendimiento de los árboles y un arranque adecuado de su crecimiento. Cuando es preciso plantar en invierno, es necesario proteger los arbolitos de las bajas temperaturas, sobre todo en el caso de limones que son más sensibles al frío (Valdez *et al.*, 2010).

Sistema y densidad de plantación

El arreglo o acomodo de los árboles en el terreno puede ser en forma de cuadrado, rectángulo o triángulo (tresbolillo). El más utilizado es el rectangular por facilitar su establecimiento, manejo y permitir mayores densidades que en cuadrado permitiendo en edad adulta manejar la huerta en seto en una sola dirección.

Debido a la distribución de luz durante el día, es conveniente orientar las hileras de árboles de norte a sur. En cuanto a la distancia entre hileras y entre árboles, la densidad cambia entre especies por el tamaño que alcanzan los árboles en edad adulta. Los limones y toronjas alcanzan mayores portes que las naranjas (Valdez *et al.*, 2010).

A continuación, en el Cuadro 5 se muestran los diferentes marcos de plantación para cítricos sugeridos para el Estado de Sonora.

Cuadro 5. Distanciamientos sugeridos para cítricos en Sonora

Especie	Distanciamientos (m)	Densidad (árboles ha⁻¹)
Limones	8 x 8 y 7 x 7	156 y 204
Toronjas	8 x 8 y 7 x 7	156 y 204
Naranjas	8 x 4 y 7 x 4	312 y 357
Mandarinas	7 x 4 y 7 x 3	357 y 475

Fuente: (Valdez *et al.*, 2010).

Fertilización

En el noroeste de México, en las regiones áridas y semiáridas, los tipos de suelo que

predominan son medianamente alcalinos, pobres en materia orgánica, altos en bases intercambiables y bajos en micro elementos. Lo anterior, trae como consecuencia que los principales problemas nutricionales estén relacionados con nitrógeno y los micro elementos fierro, zinc y manganeso (Durón *et al.*, 1999).

El nitrógeno es un componente de la clorofila, y es asociado con importantes funciones de los árboles tales como crecimiento, producción de hojas, iniciación floral, amarre de fruta y desarrollo y calidad de frutos (Weir y Sorooshi, 1981). El programa de fertilización nitrogenada se inicia con 80 g de Nitrógeno por árbol el primer año, 120 g el segundo año; al tercer, cuarto, quinto y sexto año se aplica 140, 200, 300 y 400 g árbol⁻¹, respectivamente, fraccionando la dosis en tres aplicaciones previas a las brotaciones en primavera, verano y otoño. A partir del séptimo año aplicar 640 g árbol⁻¹. Para huertos adultos la dosis anual requerida de Nitrógeno oscila de 140 a 180 kg ha⁻¹ (Valdez *et al.*, 2010).

En el caso de naranjas tempranas que presentan problemas de tamaño pequeño de fruta, se sugiere aplicar nitrato de Potasio al 1% en forma foliar en dos aplicaciones durante junio y julio espaciadas dos semanas. Se recomienda evitar la fertilización potásica en huertas de toronja para evitar engrosamiento excesivo de la cáscara (Valdez *et al.*, 2010).

El Potasio es importante para la formación y funcionamiento de proteínas, grasas, carbohidratos y clorofila, y en el mantenimiento del balance entre sales y agua dentro de las células de la planta (Mengel y Kirkby, 1987). La deficiencia de Fierro es la más difícil de corregir, es factible utilizar sulfato ferroso u otra formulación comercial asperjada al follaje en dosis de 100 g por cada 100 L de agua y neutralizar con cal hidratada, adicionando 300 g por cada 100 L de solución (Valdez *et al.*, 2010).

Requerimientos hídricos de los cítricos

El riego de las plantaciones de naranja tiende a buscar una mayor eficiencia en la aplicación del agua utilizando sistemas de riego presurizado, principalmente

microaspersión y a últimas fechas despertándose el interés por el riego por goteo. El riego de las plantaciones de naranja es importante para la producción y calidad de la fruta ya que promueve el desarrollo de los árboles, incrementa el rendimiento y tamaño de la fruta. Los requerimientos de agua de plantaciones de naranja dependen de factores como edad del árbol, portainjertos, variedad, etapa de crecimiento, tipo de suelo, densidad de plantación, clima, entre otros (Valdez *et al.*, 2010).

Los cítricos son plantas perennes y por tanto transpiran durante todo el año. La cantidad de agua que las plantas necesitan para su adecuado crecimiento y producción es la suma de la evaporación de agua del suelo y de la transpiración por las hojas, o evapotranspiración del cultivo (ETc). La evapotranspiración depende fundamentalmente de dos grupos de factores: Los climáticos (temperatura y humedad del aire, radiación solar y viento) y los derivados de la planta (área foliar o fracción de suelo sombreado por el cultivo y características aerodinámicas y de regulación estomática de dicha área foliar). Las necesidades reales del cultivo, ETc están relacionadas con la demanda climática o evapotranspiración de referencia (ETo) mediante un factor corrector denominado coeficiente de cultivo, Kc, de tal forma que $ETc = Kc \times ETo$ (Ferreira y Sélles, 2011).

En general las demandas son mayores en climas desérticos como el norte de Sonora, llegando a consumir hasta 127 cm por año en árboles adultos; sin embargo, la reducción del agua en etapas no críticas permite buena producción y calidad de fruta, con láminas anuales de solo 100 cm. Las demandas durante el año son menores en invierno con consumo de 2 mm por día, mientras que en un verano puede alcanzar 5.8 mm por día (Valdez *et al.*, 2010).

A continuación, en el Cuadro 6 se muestran las demandas hídricas de cítricos para la zona de la Costa de Hermosillo en base a la edad del árbol.

Cuadro 6. Demanda hídrica de cítricos en la Costa de Hermosillo ($L\ día^{-1}\ árbol^{-1}$)

Mes	Edad de los árboles (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ene	4	6	14	20	25	28	30	35	40	45
Feb	6	9	20	26	35	40	50	55	60	65
Mar	8	11	29	35	50	55	70	75	80	85
Abr	10	14	43	50	70	77	80	90	100	105
May	73	20	57	60	80	88	100	110	115	120
Jun	17	26	70	75	95	105	120	130	140	150
Jul	20	30	75	85	100	110	130	150	170	180
Ago	20	30	75	85	100	110	130	150	170	180
Sep	20	30	75	85	100	110	130	150	170	180
Oct	10	15	40	55	75	83	90	100	110	115
Nov	6	9	23	30	40	44	60	70	75	80
Dic	4	6	14	20	25	28	30	35	40	45

Fuente: (Valdez *et al.*, 2010).

Efecto del estrés hídrico en los diferentes períodos de desarrollo del cultivo

Los cítricos son altamente sensibles al déficit hídrico, ya que cualquier falta de agua durante el desarrollo del fruto disminuye los rendimientos, el calibre de la fruta y el jugo de la fruta. Por otra parte, cuando las plantas son sometidas a un déficit hídrico aumenta los sólidos solubles, la acidez del jugo, el grosor de la cascara, etc. En la mayoría de los cultivares de cítricos el período de máxima sensibilidad a la falta de agua es el de floración y cuajado de los frutos, seguido del que comprende las fases de crecimiento inicial de los frutos hasta la caída de diciembre. El período de maduración de los frutos suele ser el menos sensible (Ferreira y Sélles, 2011).

El crecimiento del fruto sigue una curva sigmoidea y se caracteriza por tres fases bien diferenciadas:

- Fase I. El fruto presenta un crecimiento exponencial, hay una máxima división celular que le da un crecimiento en el grosor del pericarpio. Se forma los sacos de zumo.
- Fase II. Dura varios meses, presenta un crecimiento lineal en el tiempo con un aumento del tamaño de las células, hay diferenciación de las células, el fruto absorbe gran cantidad de agua y alcanza su tamaño definitivo. Termina con el cambio de color de la capa superficial de la cáscara.

- Fase III. Hay una reducida tasa de crecimiento, ocurren todos los cambios asociados a su maduración, el contenido de sólidos solubles aumenta (Ferreyra y Sélles, 2011).

Sistema radicular y manejo del riego

De acuerdo al hábito radicular de los cítricos el agua de riego debe mojar en profundidad aproximadamente 100 cm, si el suelo no presenta impedimentos para su desarrollo. Al reducir la cantidad de agua aplicada o aumentando el intervalo entre riego, generalmente se puede inducir un sistema radicular más profundo. El desarrollo radicular de las plantas está definido genéticamente, por lo cual varía de acuerdo a la especie y las características del portainjerto.

El desarrollo óptimo para los cítricos se presenta en suelos francos y en los arenosos profundos. Los suelos impermeables y muy arcillosos dificultan su crecimiento, sobre todo cuando la proporción de arcilla es superior al 50%, viéndose seriamente restringido el crecimiento de las raíces (Osorio y Burgos, 2012).

En cítricos para tener un adecuado volumen de suelo mojado es necesario utilizar riego por goteo con doble línea. Con estos se logra un porcentaje de suelo mojado entre 40 y 55%, lo que es adecuado en suelo con baja capacidad de aire (arcillosos o franco limoso) o en suelos con baja retención de humedad (arenoso o franco arenoso) (Ferreyra y Sélles, 2011).

Programación del riego

La programación del riego localizado se realiza a partir del cálculo de la demanda bruta de agua del cultivo (Db). Para calcular la Db se debe considerar la evapotranspiración potencial (Eto), el estado de desarrollo en que se encuentre el cultivo (Kc) y la eficiencia del método de riego (Efa). El hecho de aplicar un programa de riego, en base a los registros de evapotranspiración no asegura el éxito productivo del cultivo, ya que existe una serie de factores que podrían estar subestimando o sobrestimando los requerimientos de la planta. El control de la humedad del suelo permite observar el

comportamiento de los bulbos de riego, estimar la distribución de la humedad y determinar si el riego es excesivo o deficitario (Valdez *et al.*, 2010).

Para que este control sea más efectivo y permita una mejor toma de decisiones es necesario que se tenga un claro conocimiento de la variabilidad espacial de los suelos de cada sector de riego, de tal manera que el monitoreo de humedad se realice en áreas representativas o dominantes del sector de riego, o bien se realicen monitoreos en diferentes partes del sector de riego, asociados a la variabilidad espacial del suelo. Es aconsejable monitorear los perfiles de suelo que están siendo humedecidos; para esto, en sistemas de microaspersión y goteo se pueden utilizar los tensiómetros y otros sensores como los de resistencia eléctrica (Valdez *et al.*, 2010).

Otra forma de evaluar si los riegos se están realizando en forma adecuada, es medir el estado hídrico de las plantas, realizando la medición del potencial hídrico xilemático o tensión xilemática y la variación de diámetro de troncos o dendrometría. Una vez ya obtenidos los valores de humedad del suelo y planta, un buen programa de riego por microirrigación se inicia con la aplicación de un volumen de agua suficiente para humedecer al “bulbo” ocupado por las raíces, el cual se limita por la zona de mojado del tipo de emisor del sistema (Durón *et al.*, 1999).

El cálculo para determinar ese volumen se realiza con la siguiente formula:

$$VAB = Am \times Pr \times Ca$$

Dónde:

VAB = Volumen de agua para el bulbo (L)

Am = Área de mojado del emisor (m²)

Pr = Profundidad de raíces (m)

Ca = Capacidad del suelo para almacenar agua (L m⁻³)

Una vez humedecido el bulbo de suelo ocupado por las raíces, se continúan con los riegos para reponer al suelo el abatimiento de agua por el consumo diario del árbol (Durón

et al., 1999). El cálculo para determinar el volumen de agua para reponer el abatimiento en el suelo es el siguiente:

$$VAR = VAB \times PA$$

Dónde:

VAR = Volumen de agua para reponer

VAB = Volumen de agua para el bulbo

PA = Porcentaje de abatimiento permitido

Un programa de riego por microirrigación debe responder las preguntas del cuánto y cuándo regar, en términos de horas y frecuencias diarias o semanales (Durón *et al.*, 1999). El cálculo del tiempo de riego para bulbo de humedad o para reponer abatimiento se realiza de la siguiente forma:

A) Formación del bulbo

$$TRB = \frac{VAB}{Qe}$$

• Dónde

TRB = Tiempo de riego para formar el bulbo (hr)

Qe = Gasto del emisor (L h⁻¹)

B) Reposición del Abatimiento

$$TRR = \frac{VAR}{Qe}$$

Dónde:

TRR = Tiempo de riego para la reposición del abatimiento (hr)

La respuesta al cuándo regar está dada en base a la fenología del cultivo, considerando las demandas de agua durante el ciclo de desarrollo. La aplicación de los riegos cada mes se realizará siguiendo la frecuencia marcada por la demanda evapotranspirativa del cultivo (Durón *et al.*, 1999). El cálculo de la frecuencia de riego en base a la demanda de agua se realiza de la siguiente forma:

$$FR = \frac{VAR}{ET}$$

Dónde:

FR = Frecuencia de riegos (d)

ET = Consumo de agua diario por el mes que corresponde

A continuación, en el Cuadro 7 se muestra un ejemplo de un programa de riego recomendado para el cultivo de cítricos de edad adulta bajo riego por microaspersión.

Cuadro 7. Programa de riego por microaspersión en huertas adultas de cítricos

Mes	Horas de riego	Frecuencia de riego
Enero	24 – 48	Formación de bulbo
Febrero	12	Uno por semana
Marzo	8	Dos por semana
Abril	9	Dos por semana
Mayo	7	Tres por semana
Junio	9	Tres por semana
Julio	11	Tres por semana
Agosto	11	Tres por semana
Septiembre	11	Tres por semana
Octubre	10	Dos por semana
Noviembre	14	Uno por semana
Diciembre	17	Uno cada dos semanas

Fuente: (Durón *et al.*, 1999)

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en ocho huertas de cítricos en el Estado de Sonora, de las cuales cuatro fueron en la región del Valle del Yaqui, el cual se ubica a los 27° 29' 21'' N y 109° 56' 06'' O, a una altura de 36 msnm y las otras cuatro huertas en la región de la Costa de Hermosillo, con coordenadas de 29° 05' 56'' N y 110° 57' 15'' O, a una altura de 216 msnm, durante el ciclo agrícola 2017 (INEGI, 2016).

Descripción del área de estudio en la región Valle del Yaqui, Sonora

En el Valle del Yaqui, se realizaron cuatro evaluaciones del Coeficiente de Uniformidad, una en cada huerta de cítricos, la primera (huerta 1) ubicada en el block 1706 consta de una superficie de 25 ha de naranja variedad "Valencia" bajo el sistema de riego por goteo, el suelo es de textura media, con un espaciamiento de los árboles de 8 x 4 (32 m²), con dos mangueras por cada hilera de árboles y los emisores a 70 cm de separación y un gasto de 2.3 litros por hora (L h⁻¹), según el diseño. La segunda huerta (huerta 2), ubicada en el block 1603, tiene una superficie de 30 ha de naranja variedad "Valencia" bajo un sistema de riego por microaspersión, el suelo es de textura media, con un espaciamiento de 4 x 7 (28 m²), con una manguera por cada hilera y los emisores a 4 m de separación colocados en medio de cada árbol y un gasto de 40 L h⁻¹.

En la tercera huerta (huerta 3), ubicada en el cuadrilátero III comprende una superficie total de 40 ha, de las cuales 20 ha son de naranja "Valencia" y 20 ha de toronja "Rio Red" bajo un sistema de riego por goteo, el suelo es de textura liviana con un espaciamiento de árboles de naranja de 8 x 5 (40 m²) y de toronja de 8 x 4 (32 m²), con

dos mangueras por cada hilera de árboles y los emisores a 65 cm de separación y un gasto de 2.3 L h⁻¹. La cuarta huerta (huerta 4), ubicada en el block 1520 con una superficie de 65 ha de naranja “Valencia” bajo un sistema de riego por microaspersión, el suelo es de textura media con un espaciamiento de 8 x 4 (32 m²), con una manguera por cada hilera y los emisores con 4 m de separación colocados en medio de cada árbol y un gasto de 45 L h⁻¹.

Descripción del área de estudio en la región Costa de Hermosillo, Sonora

Igualmente, en la Costa de Hermosillo, la primera huerta evaluada (huerta 1) ubicada por la calle 12 Sur con una superficie de 57 ha de naranja variedad “Valencia” bajo el sistema de riego por microaspersión, el suelo es de textura media con un espaciamiento de los árboles de 8 x 8 (64 m²), con una manguera por cada hilera de árboles y los emisores a 8 m de separación colocados en medio de cada árbol y un gasto de 70 L h⁻¹, según el diseño. La segunda huerta (huerta 2), está ubicada por el cerro “El Águila” con una superficie de 23 ha de naranja variedad “Valencia” bajo un sistema de riego por goteo, el suelo es de textura media, con un espaciamiento de 8 x 4 (32 m²), con dos mangueras por cada hilera de árboles y los emisores a 40 cm de separación y un gasto de 2.3 L h⁻¹.

La tercera huerta (huerta 3), ubicada por la calle 12 Norte con una superficie de 250 ha de naranja variedad “Valencia” bajo el sistema de riego por microaspersión, el suelo es de textura liviana con un espaciamiento de árboles de naranja de 8 x 5 (40 m²), con una manguera por cada hilera de árboles y los emisores a 5 m de separación colocados en medio de cada árbol y un gasto de 35 L h⁻¹. La cuarta huerta (huerta 4), ubicada por la Calle 12 Sur con una superficie de 38 ha de naranja “Mars” bajo un sistema de riego por goteo, el suelo es de textura media, con un espaciamiento de 6 x 7 (42 m²), con dos mangueras por cada hilera de árboles y los emisores a 80 cm de separación y un gasto de 2.3 L h⁻¹.

Metodología de la evaluación

Para la evaluación hidráulica se utilizó la metodología descrita por López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). Donde usa el Coeficiente de Uniformidad (CU) que compara la media del 25% de observaciones (gastos de los emisores) del valor más bajo con la media total de los gastos de los emisores, utilizando la ecuación:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt}$$

Donde:

CU = Coeficiente de Uniformidad en %

q 25% = Media del 25% de observaciones de valor más bajo (gasto)

qt = Media de todos los valores (gasto)

A continuación, el Cuadro 8 se observan los parámetros utilizados para la interpretación del CU.

Cuadro 8. Interpretación de los índices del Coeficiente de Uniformidad

Coeficiente de Uniformidad (CU) en %	Interpretación
Más de 90	Excelente
80 a 90	Bueno
70 a 80	Regular
60 a 70	Pobre
Menos de 60	Inaceptable

Fuente: (López *et al.*, 1992).

Metodología aplicada en el estudio

En el Valle del Yaqui en las huertas 1 y 3 y en las huertas 2 y 4 de la Costa de Hermosillo, las cuales son irrigadas bajo el sistema de riego por goteo utilizando dos

mangueras de manera superficial, antes de iniciar las evaluaciones primero se encendió el sistema de riego dejando presurizar en las unidades de riego asegurándose de tener un funcionamiento normal y de no encender el retrolavado, se tomaron las presiones en el cabezal antes y después del sistema de filtrado, además del gasto de entrada al sistema.

Se seleccionaron dos unidades de riego del sistema, eligiendo la más cercana y la más alejada del cabezal de riego tomando de cada unidad 4 hileras de árboles, seleccionando la primera pegada a la válvula y la última más alejada de la válvula y las otras 2 hileras equidistantes de la primera y la última antes mencionada. El aforo del agua de los goteros se realizó en una de las 2 mangueras de cada hilera de árboles antes seleccionada, seleccionando 4 goteros de toda la manguera tomando el primero asegurándose de ser el más pegado al elevador y el último gotero de la manguera y los otros 2 goteros equidistantes del primero y el último gotero ya descritos.

Para conocer el gasto del emisor se recogió el volumen en una probeta graduada de 50 mL en un tiempo de 36 segundos tomado con un cronómetro y dividiendo la lectura entre 10, lo cual proporcionó el gasto del gotero en $L h^{-1}$, además de medir las presiones de cada una de las puntas de las mangueras con un manómetro. En las huertas 2 y 4 del Valle del Yaqui y en las huertas 1 y 3 de la Costa de Hermosillo, las cuales son irrigadas bajo el sistema de riego por microaspersión, se utilizó el mismo criterio a excepción del aforo, ya que se utilizó una probeta graduada de 1000 mL debido al gasto más alto que se maneja en estos emisores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Huertas del Valle del Yaqui, Sonora

En el Cuadro 9 se muestra el resultado de la huerta 1 del Valle del Yaqui y las Subunidades de riego 1 y 2 del sistema de riego resultando con un Coeficiente de Uniformidad (CU) del 87.69 y 94.31% respectivamente, clasificándolo como bueno y excelente respectivamente, de acuerdo con López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). El gasto con el que opera el sistema de riego fue de 28 litros por segundo ($L s^{-1}$) para regar 2 secciones de 12.5 ha y un gasto por gotero de 2.3 litros por hora ($L h^{-1}$), según el diseño de la compañía. En el cabezal se tuvo un diferencial de presión de 1 PSI, la presión antes de los filtros de arena de fue 51 Libras por Pulgada Cuadrada (PSI) y después de filtros de 50 PSI, indicando que el sistema opera excelentemente.

En la Subunidad de riego 1 los gastos de los 16 goteros aforados variaron de 1.6 a $2.4 L h^{-1}$ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 33.33% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los $2.3 L h^{-1}$ por gotero que se diseñó. Al analizar los gastos por gotero por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 2.0, 2.1, 2.2 y $2.4 L h^{-1}$ con una variación del 8.04% con respecto a la hilera 1 que tuvo los gastos más bajos de 2.0, 2.0, 2.4 y $1.6 L h^{-1}$.

El gasto promedio de los 4 goteros más bajo del total de los 16 goteros aforados fue de $1.825 L h^{-1}$. El gasto promedio de los 16 goteros aforados fue de $2.081 L h^{-1}$ quedando por debajo de los $2.3 L h^{-1}$ del diseño en un 9.52%, aunque se observa una buena distribución. Las presiones se observaron de una manera muy uniforme existiendo una diferencia de solo 4 PSI entre la hilera 1 (29 PSI) que es la pegada a la válvula y la hilera 4 (25 PSI) siendo la más alejada de la válvula.

En la Subunidad de riego 2 los gastos de los 16 goteros aforados variaron de 2.0 a

2.4 L h⁻¹ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 16.66% entre sí, esto no es tan bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 2.3 L h⁻¹ por gotero que se diseñó, aunque se acerca mucho. Al analizar los gastos por gotero por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 2.1, 2.3, 2.4 y 2.4 L h⁻¹ con una variación del 7.60% con respecto a la hilera 1 que tuvo los gastos más bajos de 2.1, 2.0, 2.2 y 2.2 L h⁻¹.

El gasto promedio de los 4 goteros más bajo del total de los 16 goteros aforados fue de 2.075 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 goteros aforados fue de 2.200 L h⁻¹ quedando con una diferencia de 4.34% muy similar a los 2.3 L h⁻¹ del diseño, observándose una excelente distribución. Las presiones se observaron de una manera muy uniforme existiendo una diferencia de solo 4 PSI entre la hilera 1 (30 PSI) que es la pegada a la válvula y la hilera 4 (26 PSI) la más alejada de la válvula. A continuación, en el Cuadro 9 se muestran los valores obtenidos en campo.

Cuadro 9. Gasto en L h⁻¹ y presiones en la huerta 1 (Subunidades de riego 1 y 2) del block 1706. Ciclo 2017

NÚMERO DE HILERA	GASTO DEL GOTERO (L h ⁻¹)				PRESIÓN FINAL (PSI)
	Subunidad de riego 1 (Cercana al cabezal)				
	1	2	3	4	
1	2.0	2.0	2.4	1.6	29
2	2.0	2.1	2.2	2.4	27
3	1.8	2.1	2.3	2.1	25
4	2.0	1.9	2.2	2.2	25
Subunidad de riego 2 (Lejana al Cabezal)					
1	2.1	2.0	2.2	2.2	30
2	2.1	2.3	2.4	2.4	26.5
3	2.1	2.1	2.2	2.2	26.5
4	2.3	2.3	2.1	2.2	26

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 1:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 1.825}{2.081} = 87.69\%$$

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 2:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 2.075}{2.200} = 94.31\%$$

En la Figura 15 se muestran las Subunidades de riego seleccionadas durante la evaluación.

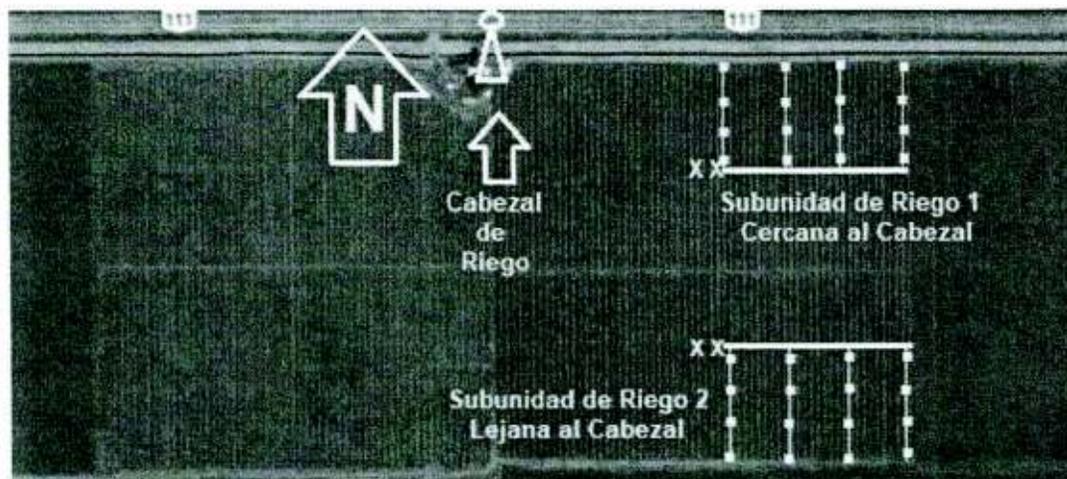


Figura 15. Croquis de la huerta 1 (Valle del Yaqui) del block 1706. Ciclo 2017

En el Cuadro 10 se muestra el resultado de la huerta 2 del Valle del Yaqui y las Subunidades de riego 1 y 2 resultando con un CU del 80.17 y 88.78%, respectivamente, clasificando a ambos como bueno de acuerdo con López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). El gasto con el que opera el sistema de riego fue de 38 L s^{-1} para regar 4 secciones de 7.5 ha y un gasto por microaspersor de 40 L h^{-1} según el diseño de la compañía. En el cabezal se tuvo un diferencial de presión de 30 PSI, la presión antes de los filtros de arena fue 58 PSI y después de filtros de 28 PSI, indicando que el sistema opera deficientemente debido a que probablemente los filtros están tapados.

En la Subunidad de riego 1 los gastos de los 16 microaspersores aforados variaron de 18 a 36 L h^{-1} en toda la unidad de riego, con una diferencia del 50.00% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 40 L h^{-1} por microaspersor que se diseñó. Al analizar los gastos por micro por número de hileras, se observó que en la hilera 4 se tuvo los gastos más altos con 36, 28, 30 y 32 L h^{-1} con una variación del 19.04% con respecto a la hilera 1 que tuvo los gastos más bajos de 32, 28, 18 y 24 L h^{-1} .

El gasto promedio de los 4 micros más bajo del total de los 16 micros aforados fue de 22.500 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 micros aforados fue de 28.065 L h⁻¹ quedando en un 29.83% por debajo de los 40 L h⁻¹ del diseño. Las presiones se observaron de una manera uniforme, aunque bajas existiendo una diferencia de solo 3 PSI entre la hilera 1 (8 PSI) que es la pegada a la válvula y la hilera 4 (11 PSI) siendo la más alejada de la válvula.

En la Subunidad de riego 2 los gastos de los 16 microaspersores aforados variaron de 24 a 34 L h⁻¹ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 29.41% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 40 L h⁻¹ por microaspersor que se diseñó. Al analizar los gastos por micro por número de hileras, se observó que en la hilera 1 se tuvo los gastos más altos con 34, 28, 25 y 25 L h⁻¹ con una variación del 7.14% con respecto a la hilera 3 que tuvo los gastos más bajos de 30, 26, 24 y 24 L h⁻¹.

El gasto promedio de los 4 micros más bajo del total de los 16 micros aforados fue de 24.250 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 micros aforados fue de 27.312 L h⁻¹ quedando por debajo en un 31.72% de los 40 L h⁻¹ del diseño. Las presiones se observaron de una manera uniforme, aunque demasiado bajas existiendo una diferencia de solo 2.5 PSI entre la hilera 2 (9.5 PSI) y la hilera 3 (7 PSI). A continuación, en el Cuadro 10 se muestran los valores obtenidos en durante el trabajo de campo.

Cuadro 10. Gasto en L h⁻¹ y presiones en la huerta 2 (Subunidades de riego 1 y 2) del block 1603. Ciclo 2017

NÚMERO DE HILERA	GASTO DEL MICROASPERSOR (L h ⁻¹)				PRESIÓN FINAL (PSI)
	Subunidad de riego 1 (Cercana al cabezal)				
	1	2	3	4	
1	32	28	18	24	8
2	32	26	24	24	9
3	36	26	28	25	9
4	36	28	30	32	11
Subunidad de riego 2 (Lejana al Cabezal)					
1	34	28	25	25	8
2	32	30	24	26	9.5
3	30	26	24	24	7
4	31	27	26	25	9

Coeficiente de uniformidad Subunidad de riego 1:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 22.500}{28.065} = 80.17\%$$

Coeficiente de uniformidad Subunidad de riego 2:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 24.250}{27.312} = 88.78\%$$

En la Figura 16 se muestran las Subunidades de riego seleccionadas durante la evaluación.

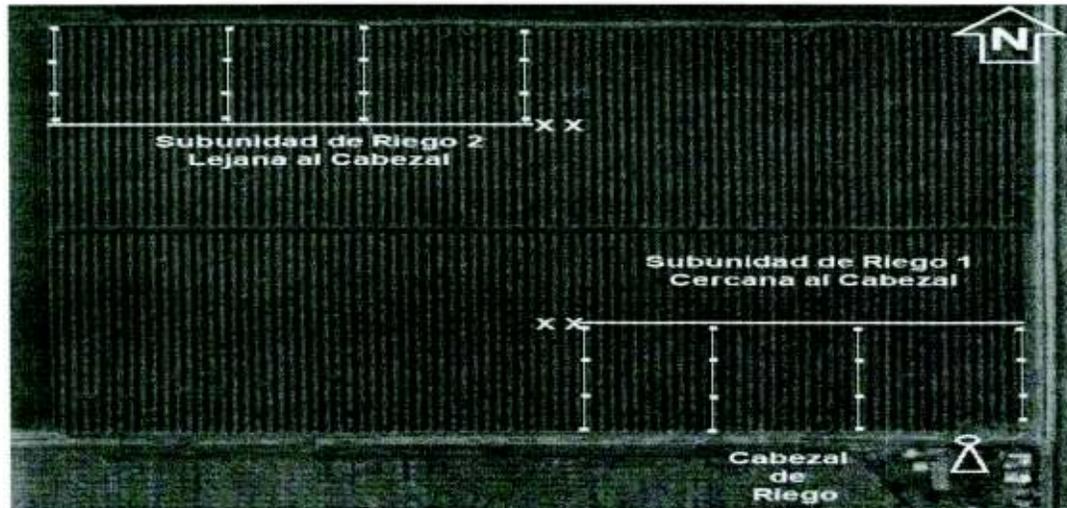


Figura 16. Croquis de la huerta 2 (Valle del Yaqui) del block 1603. Ciclo 2017

En el Cuadro 11 se muestra el resultado de la huerta 3 del Valle del Yaqui y las Subunidades de riego 1 y 2 resultando con un CU del 80.58% y 91.66% respectivamente, clasificándolos como bueno y excelente respectivamente, de acuerdo con López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). El gasto con el que opera el sistema de riego es de 50 L s^{-1} para regar 2 secciones de 20 ha y un gasto por gotero de 2.3 L h^{-1} según el diseño de la compañía. En el cabezal se tuvo un diferencial de presión de 2 PSI, la presión antes de los filtros de arena fue de 52 PSI y después de filtros de 50 PSI, indicando que el sistema opera excelentemente.

En la Subunidad de riego 1 los gastos de los 16 goteros aforados variaron de 2.1 a 3.0 L h⁻¹ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 30.00% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 2.3 L h⁻¹ por gotero que se diseñó, aunque se acerca mucho. Al analizar los gastos por gotero por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 3.0, 2.8, 2.9 y 2.5 L h⁻¹ con una variación del 11.60% con respecto a la hilera 4 que tuvo los gastos más bajos de 2.6, 2.9, 2.3 y 2.1 L h⁻¹.

El gasto promedio de los 4 goteros más bajo del total de los 16 goteros aforados fue de 2.150 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 goteros aforados fue de 2.668 L h⁻¹ quedando por arriba de los 2.3 L h⁻¹ del diseño, un 16.00% de diferencia, aunque se observa una buena distribución. Las presiones se observaron de una manera muy uniforme existiendo una diferencia de solo 4 PSI entre la hilera 1 (32 PSI) que es la pegada a la válvula y la hilera 4 (28 PSI) siendo la más alejada de la válvula.

En la Subunidad de riego 2 los gastos de los 16 goteros aforados variaron de 2.1 a 2.9 L h⁻¹ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 27.58% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 2.3 L h⁻¹ por gotero que se diseñó, aunque se acerca mucho. Al analizar los gastos por gotero por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 2.8, 2.9, 2.8 y 2.7 L h⁻¹ con una variación del 7.14% con respecto a la hilera 3 que tuvo los gastos más bajos de 2.7, 2.8, 2.8 y 2.1 L h⁻¹. El gasto promedio de los 4 goteros más bajo del total de los 16 goteros aforados fue de 2.475 L h⁻¹.

El gasto promedio de los 16 goteros aforados fue de 2.700 L h⁻¹ quedando por arriba de los 2.3 L h⁻¹ del diseño, aunque se observa una excelente distribución. Las presiones se observaron de una manera muy uniforme existiendo una diferencia de solo 4 PSI entre la hilera 3 (25 PSI) y la hilera 4 (21 PSI) siendo la más alejada de la válvula. A continuación, en el Cuadro 11 se muestran los valores obtenidos en durante el trabajo de campo.

Cuadro 11. Gasto en L h⁻¹ y presiones en la huerta 3 (Subunidades de riego 1 y 2) del Cuadrilátero III. Ciclo 2017

NÚMERO DE HILERA	GASTO DEL GOTERO (L h ⁻¹)				PRESIÓN FINAL (PSI)
	Subunidad de riego 1 (Cercana al cabezal)				
	1	2	3	4	
1	2.8	2.8	2.8	2.1	32
2	3.0	2.8	2.9	2.5	30
3	3.0	3.0	3.0	2.1	30
4	2.6	2.9	2.3	2.1	28
Subunidad de riego 2 (Lejana al Cabezal)					
	1	2	3	4	
1	2.8	2.7	2.6	2.6	23
2	2.8	2.9	2.8	2.7	21
3	2.7	2.8	2.8	2.1	25
4	2.8	2.9	2.6	2.6	21

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 1:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 2.150}{2.668} = 80.58\%$$

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 2:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 2.475}{2.700} = 91.66\%$$

En la Figura 17 se muestran las Subunidades de riego seleccionadas durante la evaluación.



Figura 17. Croquis de la huerta 3 (Valle del Yaqui) del Cuadrilátero III. Ciclo 2017

En el Cuadro 12 se muestra el resultado de la huerta 4 del Valle del Yaqui y las Subunidades de riego 1 y 2 resultando con un CU del 75.56 y 77.10%, clasificando a ambos como regular de acuerdo con López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). El gasto con el que opera el sistema de riego es de 75 L s^{-1} para regar 4 secciones de 16.25 ha y un gasto por microaspersor de 45 L h^{-1} según el diseño de la compañía. En el cabezal se tuvo un diferencial de presión de 10 PSI, la presión antes de los filtros de arena fue de 47 PSI y después de filtros de 37 PSI, indicando que el sistema opera regular, debido probablemente a que los filtros están sucios.

En la Subunidad de riego 1 los gastos de los 16 microaspersores aforados variaron de 17 a 58 L h^{-1} en toda la unidad de riego, con una diferencia del 70.68% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 45 L h^{-1} por microaspersor que se diseñó. Al analizar los gastos por microaspersor por número de hileras, se observó que en la hilera 4 se tuvo los gastos más altos con 58, 38, 40 y 39 L h^{-1} con una variación del 11.42% con respecto a la hilera 3 que tuvo los gastos más bajos de 46, 33, 38 y 38 L h^{-1} .

El gasto promedio de los 4 microaspersores más bajo del total de los 16 aforados fue de 31.500 L h^{-1} . El gasto promedio de los 16 micros aforados fue de 41.687 L h^{-1} quedando por debajo en un 7.36% de los 45 L h^{-1} del diseño. Las presiones se observaron de una manera uniforme, aunque bajas existiendo una diferencia de solo 4 PSI entre la hilera 1 (10 PSI) que es la pegada a la válvula y la hilera 4 (6 PSI) siendo la más alejada de la válvula.

En la Subunidad de riego 2 los gastos de los 16 microaspersores aforados variaron de 23 a 56 L h^{-1} en toda la unidad de riego, con una diferencia del 58.92% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 45 L h^{-1} por microaspersor que se diseñó. Al analizar los gastos por microaspersor por número de hileras, se observó que en la hilera 1 se tuvo los gastos más altos con 45, 39, 37 y 47 L h^{-1} con una variación del 14.88% con respecto a la hilera 4 que tuvo los gastos más bajos de 56, 36, 28 y 23 L h^{-1} .

El gasto promedio de los 4 microaspersores más bajo del total de los 16 aforados fue de 29.250 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 micros aforados fue de 37.937 L h⁻¹ quedando muy por debajo de los 45 L h⁻¹ del diseño con un 15.69% menos. Las presiones se observaron de una manera uniforme, aunque bajas existiendo una diferencia de solo 5 PSI entre la hilera 1 (14 PSI) que es la pegada a la válvula y la hilera 4 (9 PSI) siendo la más alejada de la válvula. A continuación, en el Cuadro 12 se muestran los valores obtenidos en durante el trabajo de campo.

Cuadro 12. Gasto en L h⁻¹ y presiones en la huerta 4 (Subunidades de riego 1 y 2) del block 1520. Ciclo 2017

NÚMERO DE HILERA	GASTO DEL MICROASERSOR (L h ⁻¹)				PRESIÓN FINAL (PSI)
	Subunidad de riego 1 (Cercana al cabezal)				
	1	2	3	4	
1	40	39	41	44	10
2	52	56	48	17	16
3	46	33	38	38	8
4	58	38	40	39	6
Subunidad de riego 2 (Lejana al Cabezal)					
1	45	39	37	47	14
2	44	38	36	34	11
3	44	34	34	32	10
4	56	36	28	23	9

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 1:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 31.500}{41.687} = 75.56\%$$

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 2:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 29.250}{37.937} = 77.10\%$$

En la Figura 18 se muestran las Subunidades de riego seleccionadas durante la evaluación.



Figura 18. Croquis de la huerta 4 (Valle del Yaqui) del block 1520. Ciclo 2017

Huertas de la Costa de Hermosillo, Sonora

En el Cuadro 13 se muestra el resultado de la huerta 1 de la Costa de Hermosillo y las Subunidades de riego 1 y 2 resultando con un CU del 87.80 y 86.02% respectivamente, clasificando a ambos como bueno de acuerdo con López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). El gasto con el que opera el sistema de riego fue de 125 L s^{-1} para regar 4 secciones de 14.25 ha y un gasto por microaspersor de 75 L h^{-1} según el diseño de la compañía. En el cabezal se tuvo un diferencial de presión de 14 PSI, la presión antes de los filtros de arena fue de 72 PSI y después de filtros de 58 PSI, indicando que el sistema opera regular, debido a que los filtros probablemente están sucios.

En la Subunidad de riego 1 los gastos de los 16 microaspersores aforados variaron de 52.4 a 76.3 L h^{-1} en toda la unidad de riego, con una diferencia del 31.32% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 75 L h^{-1} por microaspersor que se diseñó. Al analizar los gastos por microaspersor por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 76.3, 73.5, 70.6 y 75.0 L h^{-1} con una variación del 12.38% con respecto a la hilera 4 que tuvo los gastos más bajos de 71.4, 75.0, 60.0 y 52.4 L h^{-1} .

El gasto promedio de los 4 microaspersores más bajo del total de los 16 aforados fue de 61.600 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 micros aforados fue de 70.156 L h⁻¹ quedando por debajo de los 75 L h⁻¹ del diseño en un 6.45%. Las presiones se observaron de una manera muy desuniforme, existiendo una diferencia de 13 PSI entre la hilera 1 (31 PSI) que es la pegada a la válvula y la hilera 4 (18 PSI) siendo la más alejada de la válvula.

En la Subunidad de riego 2 los gastos de los 16 microaspersores aforados variaron de 60 a 98 L h⁻¹ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 38.77% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 75 L h⁻¹ por microaspersor que se diseñó. Al analizar los gastos por microaspersor por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 80.7, 91.0, 85.0 y 75.0 L h⁻¹ con una variación del 8.65% con respecto a la hilera 1 que tuvo los gastos más bajos de 75, 98, 60 y 70 L h⁻¹.

El gasto promedio de los 4 microaspersores más bajo del total de los 16 aforados fue de 68.750 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 micros aforados fue de 79.918 L h⁻¹ quedando por arriba de los 75 L h⁻¹ del diseño con un 6.55%. Las presiones se observaron de una manera uniforme, existiendo una diferencia de 10 PSI entre la hilera 2 (20 PSI) y la hilera 1 (10 PSI). A continuación, en el Cuadro 13 se muestran los valores obtenidos en campo.

Cuadro 13. Gasto en L h⁻¹ y presiones en la huerta 1 (Subunidades de riego 1 y 2) Calle 12 Sur. Ciclo 2017

NÚMERO DE HILERA	GASTO DEL MICROASPERSON (L h ⁻¹)				PRESIÓN FINAL (PSI)
	Subunidad de riego 1 (Cercana al cabezal)				
	1	2	3	4	
1	71.4	73.9	70	70.5	31
2	76.3	73.5	70.6	75	25
3	75	73.5	70	64	17
4	71.4	75	60	52.4	18
Subunidad de riego 2 (Lejana al Cabezal)					
1	75	98	60	70	10
2	80.7	91	85	75	20
3	98	80	70	75	18
4	80	76	85	80	17

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 1:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 61.600}{70.156} = 87.80\%$$

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 2:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 68.750}{79.918} = 86.02\%$$

En la Figura 19 se muestran las Subunidades de riego seleccionadas durante la evaluación.

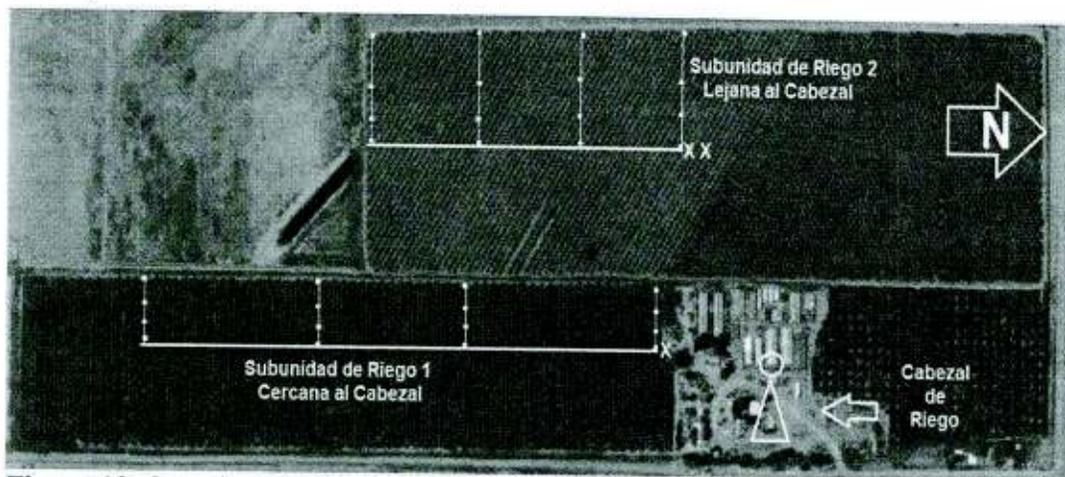


Figura 19. Croquis de la huerta 1 (Costa de Hermosillo) Calle 12 Sur. Ciclo 2017

En el Cuadro 14 se muestra el resultado de la huerta 2 de la Costa de Hermosillo y las Subunidades de riego 1 y 2 resultando con un CU del 74.44 y 76.28% respectivamente, clasificando a ambos como regular de acuerdo con López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). El gasto con el que opera el sistema de riego no se sabe debido a que no funcionaba el medidor, el sistema riega 2 secciones de 11.5 ha y un gasto por gotero de 2.3 L h^{-1} según el diseño de la compañía. En el cabezal se tuvo un diferencial de presión de 5 PSI, la presión antes de los filtros de arena de fue 34 PSI y después de filtros de 29 PSI, indicando que el sistema opera bien.

En la Subunidad de riego 1 los gastos de los 16 goteros aforados variaron de 1.0 a 2.1 L h⁻¹ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 52.38% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 2.3 L h⁻¹ por gotero que se diseñó. Al analizar los gastos por gotero por número de hileras, se observó que en la hilera 3 se tuvo los gastos más altos con 2.0, 2.0, 1.5 y 1.6 L h⁻¹ con una variación del 18.30% con respecto a la hilera 2 que tuvo los gastos más bajos de 1.8, 1.5, 1.5 y 1.0 L h⁻¹.

El gasto promedio de los 4 goteros más bajo del total de los 16 goteros aforados fue de 1.200 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 goteros aforados fue de 1.612 L h⁻¹ quedando muy por debajo de los 2.3 L h⁻¹ del diseño, en un 29.91%, aunque se observa una buena distribución. Las presiones se observaron de una manera muy uniforme existiendo una diferencia de solo 4 PSI entre la hilera 3 (7 PSI) y la hilera 2 (3 PSI).

En la Subunidad de riego 2 los gastos de los 16 goteros aforados variaron de 1.3 a 2.4 L h⁻¹ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 45.83% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 2.3 L h⁻¹ por gotero que se diseñó, aunque se acerca mucho. Al analizar los gastos por gotero por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 2.3, 2.2, 1.9 y 2.1 L h⁻¹ con una variación del 25.88% con respecto a la hilera 3 que tuvo los gastos más bajos de 2.1, 1.6, 1.3 y 1.3 L h⁻¹.

El gasto promedio de los 4 goteros más bajo del total de los 16 goteros aforados fue de 1.425 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 goteros aforados fue de 1.868 L h⁻¹ quedando por debajo de los 2.3 L h⁻¹ del diseño en un 18.78%, aunque se observa una excelente distribución. Las presiones se observaron de una manera muy uniforme existiendo una diferencia de solo 2 PSI entre la hilera 1 (5 PSI) siendo la más cercana a la válvula y la hilera 3 (3 PSI) alejada de la válvula. A continuación, en el Cuadro 14 se muestran los valores obtenidos en durante el trabajo de campo.

Cuadro 14. Gasto en $L h^{-1}$ y presiones en la huerta 2 (Subunidades de riego 1 y 2) Cerro El Águila. Ciclo 2017

NÚMERO DE HILERA	GASTO DEL GOTERO ($L h^{-1}$)				PRESIÓN FINAL (PSI)
	Subunidad de riego 1 (Cercana al cabezal)				
	1	2	3	4	
1	2.1	1.3	1.0	1.5	5
2	1.8	1.5	1.5	1.0	3
3	2.0	2.0	1.5	1.6	7
4	2.1	1.7	1.6	1.6	5
Subunidad de riego 2 (Lejana al Cabezal)					
	1	2	3	4	
1	2.4	2.0	1.7	1.7	5
2	2.3	2.2	1.9	2.1	4
3	2.1	1.6	1.3	1.3	3
4	2.1	2.0	1.5	1.7	5

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 1:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 1.200}{1.612} = 74.44\%$$

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 2:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 1.425}{1.868} = 76.28\%$$

En la Figura 20 se muestran las Subunidades de riego seleccionadas durante la evaluación.



Figura 20. Croquis de la huerta 2 (Costa de Hermosillo) Cerro El Águila. Ciclo 2017

En el Cuadro 15 se muestra el resultado de la huerta 3 de la Costa de Hermosillo y las Subunidades de riego 1 y 2 resultando con un CU del 79.28 y 73.78% respectivamente, clasificando a ambos como bueno de acuerdo con López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). El gasto con el que opera el sistema de riego es de 125 L s^{-1} para regar 4 secciones de 14.25 ha y un gasto por microaspersor de 35 L h^{-1} según el diseño de la compañía. En el cabezal se tuvo un diferencial de presión de 17 PSI, la presión antes de los filtros de arena fue de 69 PSI y después de filtros de 52 PSI, indicando que el sistema opera un poco deficiente, debido a que los filtros probablemente están sucios.

En la Subunidad de riego 1, los gastos de los 16 microaspersores aforados variaron de 32 a 54.7 L h^{-1} en toda la unidad de riego, con una diferencia del 41.49% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 35 L h^{-1} por microaspersor que se diseñó. Al analizar los gastos por microaspersor por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 54.7, 49, 46 y 43 L h^{-1} con una variación del 16.96% con respecto a la hilera 4 que tuvo los gastos más bajos de 47, 32, 35 y 46 L h^{-1} .

El gasto promedio de los 4 micros más bajo del total de los 16 microaspersores aforados fue de 35.000 L h^{-1} . El gasto promedio de los 16 micros aforados fue de 44.143 L h^{-1} quedando por arriba de los 35 L h^{-1} del diseño en un 26.12%. Las presiones se observaron de una manera muy desuniforme, existiendo una diferencia de 11 PSI entre la hilera 1 (21 PSI) que es la pegada a la válvula y la hilera 4 (10 PSI) siendo la más alejada de la válvula.

En la Subunidad de riego 2 los gastos de los 16 microaspersores aforados variaron de 24 a 63 L h^{-1} en toda la unidad de riego, con una diferencia del 61.90% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 35 L h^{-1} por microaspersor que se diseñó. Al analizar los gastos por microaspersor por número de hileras, se observó que en la hilera 2 se tuvo los gastos más altos con 63, 50, 34 y 40 L h^{-1} con una variación del 38.50% con respecto a la hilera 4 que tuvo los gastos más bajos de 33, 33, 25 y 24 L h^{-1} .

El gasto promedio de los 4 microaspersores más bajo del total de los 16 aforados fue de 28.750 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 microaspersores aforados fue de 38.962 L h⁻¹ quedando por arriba de los 35 L h⁻¹ del diseño en un 11.32%. Las presiones se observaron de una manera desuniforme, existiendo una diferencia de 9 PSI entre la hilera 1 (14 PSI) que es la más pegada a la válvula y la hilera 4 (5 PSI) que es la más alejada a la válvula. A continuación, en el Cuadro 15 se muestran los valores obtenidos en durante el trabajo de campo.

Cuadro 15. Gasto en L h⁻¹ y presiones en la huerta 3 (Subunidades de riego 1 y 2) calle 12 Norte. Ciclo 2017

NÚMERO DE HILERA	GASTO DEL MICROASPELOR (L h ⁻¹)				PRESIÓN FINAL (PSI)
	Subunidad de riego 1 (Cercana al cabezal)				
	1	2	3	4	
1	54	48	43	45	21
2	54.7	49	46	43	15
3	40	35	38	50.6	13
4	47	32	35	46	10
Subunidad de riego 2 (Lejana al Cabezal)					
	1	2	3	4	
1	33	47	35	36	14
2	63	50	34	40	13
3	55.4	41	34	40	11
4	33	33	25	24	5

Coficiente de uniformidad Subunidad de riego 1:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 35.000}{44.143} = 79.28\%$$

Coficiente de uniformidad Subunidad de riego 2:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 28.750}{38.962} = 73.78\%$$

En la Figura 21 se muestran las Subunidades de riego seleccionadas durante la evaluación.

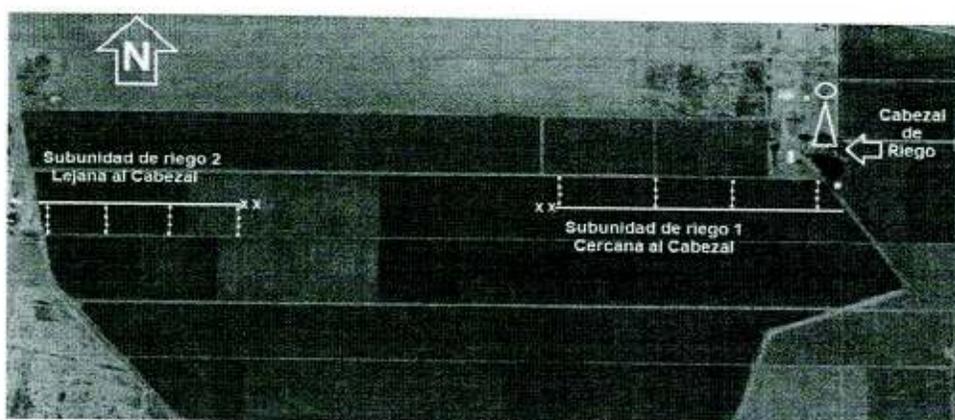


Figura 21. Croquis de la huerta 3 (Costa de Hermosillo) Calle 12 Norte. Ciclo 2017

En el Cuadro 16 se muestra el resultado de la huerta 4 de la Costa de Hermosillo y las Subunidades de riego 1 y 2 resultando con un CU del 91.64 y 74.05% respectivamente, clasificando a ambos como regular de acuerdo a López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016). El gasto con el que opera el sistema de riego es de 103 L s^{-1} para regar toda la huerta en 1 sección de 38 hectáreas y un gasto por gotero de 2.3 L h^{-1} según el diseño de la compañía. En el cabezal se tuvo un diferencial de presión de 8 PSI, la presión antes de los filtros de arena de fue 74 PSI y después de filtros de 66 PSI, indicando que el sistema opera bien.

En la Subunidad de riego 1 los gastos de los 16 goteros aforados variaron de 2.0 a 2.5 L h^{-1} en toda la unidad de riego, con una diferencia del 20.00% entre sí, esto es bueno, aunque que los árboles no están recibiendo los 2.3 L h^{-1} por gotero que se diseñó. Al analizar los gastos por gotero por número de hileras, se observó que en la hilera 1 se tuvo los gastos más altos con $2.4, 2.4, 2.0$ y 2.3 L h^{-1} con una variación del 4.39% con respecto a la hilera 3 que tuvo los gastos más bajos de $2.0, 2.2, 2.2$ y 2.3 L h^{-1} .

El gasto promedio de los 4 goteros más bajos del total de los 16 goteros aforados fue de 2.050 L h^{-1} . El gasto promedio de los 16 goteros aforados fue de 2.237 L h^{-1} quedando muy cercano de los 2.3 L h^{-1} del diseño, además se observa una buena distribución. Las presiones se observaron de una manera muy desuniforme existiendo una diferencia de 21 PSI entre la hilera 1 (32 PSI) y la hilera 2 (11 PSI).

En la Subunidad de riego 2 los gastos de los 16 goteros aforados variaron de 1.0 a 2.6 L h⁻¹ en toda la unidad de riego, con una diferencia del 61.53% entre sí, esto no es bueno debido a que los árboles no están recibiendo los 2.3 L h⁻¹ por gotero que se diseñó. Al analizar los gastos por gotero por número de hileras, se observó que en la hilera 1 se tuvo los gastos más altos con 2.2, 2.3, 2.2 y 2.6 L h⁻¹ con una variación del 33.33% con respecto a la hilera 2 que tuvo los gastos más bajos de 2.2, 1.9, 1.1 y 1.0 L h⁻¹.

El gasto promedio de los 4 goteros más bajo del total de los 16 goteros aforados fue de 1.55 L h⁻¹. El gasto promedio de los 16 goteros aforados fue de 2.093 L h⁻¹ quedando por debajo de los 2.3 L h⁻¹ del diseño con una diferencia del 9.00%, aunque se observó una distribución regular. Las presiones se observaron de una manera muy uniforme existiendo una diferencia de 5 PSI entre la hilera 1 (38 PSI) siendo la más cercana a la válvula y la hilera 4 (33 PSI) la más alejada, aunque hay que resaltar que en la hilera 2 la presión fue de 0 PSI debido a que en la línea regante existieron demasiadas fugas, lo cual provocó la pérdida de presión. A continuación, en el Cuadro 16 se muestran los valores obtenidos en durante el trabajo de campo.

Cuadro 16. Gasto en L h⁻¹ y presiones en la huerta 4 (Subunidades de riego 1 y 2) Calle 12 Sur. Ciclo 2017

NÚMERO DE HILERA	GASTO DEL GOTERO (L h ⁻¹)				PRESIÓN FINAL (PSI)
	Subunidad de riego 1 (cercana al cabezal)				
	1	2	3	4	
1	2.4	2.4	2.0	2.3	32
2	2.4	2.3	2.1	2.2	11
3	2.0	2.2	2.2	2.3	23
4	2.2	2.1	2.2	2.5	16
Subunidad de riego 2 (Lejana al Cabezal)					
1	2.2	2.3	2.2	2.6	38
2	2.2	1.9	1.1	1.0	0
3	2.2	2.3	2.3	2.4	35
4	2.2	2.2	2.2	2.2	33

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 1:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 2.050}{2.237} = 91.64\%$$

Coefficiente de uniformidad Subunidad de riego 2:

$$CU = \frac{100 q_{25\%}}{qt} \quad CU = \frac{100 * 1.550}{2.093} = 74.05\%$$

En la Figura 22 se muestran las Subunidades de riego seleccionadas durante la evaluación.

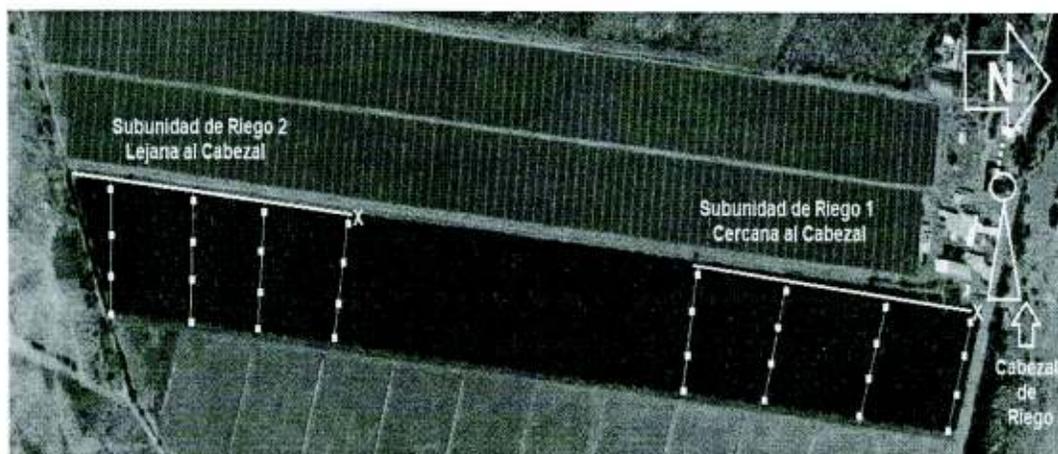


Figura 22. Croquis de la huerta 4 (Costa de Hermosillo) Calle 12 Sur. Ciclo 2017

De acuerdo con (Liotta *et al.*, 2015), una de las grandes ventajas de un sistema de riego por goteo es la uniformidad de aplicación del agua, esto debido a que la aplicación se realiza con emisores de igual gasto y ubicados a distancias regulares, inclusive este sistema hace posible la entrega del agua en terrenos con topografías irregulares, sobre todo si se utilizan goteros autocompensados, así mismo (Martínez, 2001), menciona que uno de los principales factores que afectan a la uniformidad de aplicación del agua es la presión de trabajo con la que opera el sistema, señalando que si se tiene menor presión por consecuencia el gasto de los emisores se verá afectada, debido a esto López *et al.* (1992), Valdez (2015) y Ortiz *et al.* (2016) mencionan la importancia de realizar evaluaciones para determinar el CU, para así asegurar si se hace o no una buena aplicación del agua de riego.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados, las huertas irrigadas con el sistema de riego por goteo del Valle del Yaqui, Sonora tuvieron un Coeficiente de Uniformidad (CU) mayor que las huertas evaluadas en la Costa de Hermosillo, Sonora con una diferencia de 2.83% en el CU más alto y 8.10% en el CU más bajo.

En las huertas del Valle del Yaqui donde se irriga con el sistema de riego por goteo se obtuvo un CU del 80.58 al 94.31%, clasificado de bueno a excelente, en comparación con las huertas de la Costa de Hermosillo irrigadas con el sistema de riego por goteo se obtuvo un Coeficiente de Uniformidad del 74.05 al 91.64% clasificado de regular a excelente.

Por otro parte, las huertas irrigadas con el sistema de riego por microaspersión del Valle del Yaqui, el CU fue mayor que las huertas evaluadas en la Costa de Hermosillo con una diferencia de 1.10% en el CU más alto y 2.35% en el CU más bajo.

En las huertas del Valle del Yaqui irrigadas con el sistema de riego por microaspersión se obtuvo un CU del 75.56 al 88.78% clasificado de regular a bueno, mientras que en las huertas de la Costa de Hermosillo irrigadas con el sistema de riego por microaspersión se obtuvo un CU del 73.78 al 87.80% clasificado de regular a bueno.

RECOMENDACIONES

Para que un sistema de riego funcione eficientemente es muy importante el mantenimiento y revisión de manera periódica empezando desde el diseño del sistema, así como el gasto de operación del cabezal, limpieza y presiones antes y después de los filtros, fugas que se presenten y presiones en las puntas de las líneas regantes, así como proporcionar un tratamiento para evitar taponamientos en los emisores ya sea goteo o microaspersión.

LITERATURA CITADA

- Agromatic. 2017. Filtros en sistemas de riego. Tipos e importancia de los filtros en el sistema de riego. Disponible en: <http://www.agromatic.es/los-filtros-en-sistemas-de-riego/>
- Blass, S. 1973. Riego en acción. Trad. por Massada. Israel, Editorial Reverte, S.A. 246 p.
- Briceño, M.; F. Álvarez y U. Barahona. 2012. Manual de Riego y Drenaje. Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 115 pp.
- Burt, C.M. y S.W. Styles. 1999. Riego por goteo y por microaspersión para árboles, vides y cultivos transitorios. ITRC. Cal. Poly. San Luis Obispo, CA. 93407. 15-30p.
- Cálculo de una instalación de riego por goteo. Tutorial N°207. Consultada el 03 de agosto de 2017 en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>
- Chávez, P.L.; H. Saucedo y F. Zataráin. 2010. Riego por aspersión y localizado. Nayarit. SAGARPA. IMTA.
- CONAGUA. 2014. Estadísticas del agua en México. 23 pp.
- CONAGUA. 2015a. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Costa de Hermosillo (2619). Estado de Sonora. 3-15p.
- CONAGUA. 2015b. Estadísticas agrícolas de los Distritos de Riego año agrícola 2013-2014. 70-71p.
- De la Cruz P.Y. 2013. Simulación del funcionamiento de un bloque de riego por goteo para evaluar uniformidad de emisión. División de Ingeniería. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. 12-13p.
- Durón, N. L.J.; B. Valdez G.; J.H. Núñez M. y G. Martínez D. 1999. Cítricos para el Noroeste de México. INIFAP.

- Ferreya, S.R. y G. Sellés Van. 2011. Algunas consideraciones manejo de riego en cítricos, INIA, N°94. 66-74p.
- Ferreya, S.R.; G. Sellés Van; R. Ahumada; P. Maldonado y P. Gil. 2005. Manejo del riego localizado y fertirrigación. INIA. N° 126. 30-32p.
- Ferreya, S.R.; S.G. Sellés Van y A.A. Pimstein, 2000. Diseño, manejo y mantención de equipos de riego localizado de alta frecuencia, INIA, N° 35.
- Herrera, J.C.; P. Pacheco y J.A. Castillo. 2013. Manual para capacitación de operadores con base en el estándar de competencia EC 0348 riego presurizado en parcelas. Jiutepec, Mor. IMTA.
- INEGI. 2016. Anuario estadístico y geográfico de Sonora 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, México. 1ra ed. 681 pp.
- Inforural. 2012. Bioagricultura. Producen en Sonora naranja de calidad. Disponible en: <https://bioagricultura.wordpress.com/2012/03/13/producen-en-sonora-naranja-de-calidad/>
- Keller, J. and R.D. Bliesner. 1990. Sprinckle and Trickle Irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Liotta, M. 2006. Evaluación del coeficiente de uniformidad en equipos de riego presurizado. 1ra ed. INTA. San Juan, Argentina. 1-7p.
- Liotta, M.; R. Carrión.; N. Ciancaglini y A. Olguín. 2015. Manual de capacitación: riego por goteo. 1ra ed. INTA. San Juan, Argentina. 22 pp.
- López, J.R.; J.M. Hernández; A. Pérez y J.F. González. 1992. Riego Localizado. Ediciones Mundi- Prensa. España. 217-230p.
- Luna, C.H. 2010. Cítricos: Potencial productivo e innovación en pro del rendimiento. Citrícola del Yaqui, SA de CV. Vol. 1.
- Martínez De la C.J. 2005. Riego en hortalizas. Cap. 5. Facultad de Agronomía UANL. 15-16p.
- Martínez, L. 2001. Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado. Gobierno Regional de Atacama, Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena), Centro Experimental Huasco (Vallenar). Boletín INIA N°. 65-76p.

- Martínez, R.E. 1999. Evaluación de un Sistema de Riego Localizado (Microirrigación). Memorias del IX Congreso Nacional de Irrigación. Culiacán, Sinaloa. p-199-206.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th. Ed. International potash institute. Suiza. 685 pp.
- Ortiz, E. J.E.; J.A. Márquez.; J.M. Ramírez.; B. Valdez y F. Beltrán. 2016. Evaluación del sistema de riego por goteo en dos huertas de naranja en el Valle del Yaqui, Sonora. XIX Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. Celebrado en Mexicali, Baja California, pp.
- Osorio, A. y M. Burgos. 2012. Riego en Mandarinos y Paltos: Resultados de Investigaciones en el Valle del Río Limarí. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile. Boletín N°. 240-100p.
- Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia: Goteo, microaspersión, exudación. Madrid. Mundi-Prensa. pp
- Plana, A.V. 2008. Manejo y mantenimiento de instalaciones de riego localizado. 1 ed. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Agricultura y Agua. 5-18p.
- Santos, P.L.; M.R. Picornell y J.M. Tarjuelo. 2010. El riego y sus tecnologías. 1ra ed. CREA-UCLM. Albacete, España. 229-230p.
- SIAP, SAGARPA, 2017. Se consolida México como quinto productor mundial de naranja. Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0015-10.aspx
- Smajstrla, A.G.; B.J. Boman; D.Z. Haman; D.J. Pitts and F.S. Zazueta. 1998. Field Evaluation of Microirrigation Water Application Uniformity. University of Florida. 13 pp.
- Solórzano, H. L. 2008. Beneficios de un sistema de riego por goteo en las parcelas de cultivo de hortalizas de la asociación de desarrollo integral de la aldea lo de Ramírez, Villa Nueva Guatemala. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis de licenciatura. 1-3p.
- Uribe, C.H. 1998. Riego localizado de alta frecuencia o microirrigación. INIA. N°109. 1 pp.

- Valdez, G.B. 2015. Agenda técnica agrícola de Sonora. 2da. ed. SAGARPA. México D.F. 317-321p.
- Valdez, G.B.; F. Vieira; A.A. Fontes; J.E. Ortiz y B. Zarate. 2014. Manejo del agua en huertas de naranja. XVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California. 6 pp.
- Valdez, G.B.; J.H. Núñez; G. Martínez; A. Fu Castillo y L.J. Durón. 2010. *En*: Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Costa de Hermosillo. 1ra ed. México D.F. 40-56p.
- Valdez, G.B. y B. Zarate. 2014. Evaluación hidráulica de los sistemas de riego presurizado en huertas de cítricos. XVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, Baja California. 1-4p.
- Weir, R.G. y R. Sarooshi. 1981. Micronutrient deficiencies of citrus. Leaflet 2115. Division of Agricultural Sciences. University of California. USA.
- Zazueta, F.S. 1992. Microirrigación. ICFA. International Inc. Gainesville, Fl. 32606. USA. 26-31p.