

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN HUERTAS DE
AGUACATE EN JALISCO**

POR:

ALAN DE JESÚS LÓPEZ HERNÁNDEZ

TESIS:

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, DICIEMBRE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

TESIS:

DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN HUERTAS DE
AGUACATE EN JALISCO

POR:

ALAN DE JESÚS LÓPEZ HERNÁNDEZ

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Comité particular de asesoría:



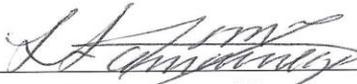
M.C. Gregorio Briones Sánchez
Asesor Principal



M.C. Tomas Reyna Cepeda
Coasesor



M.C. Carlos Rojas Peña
Coasesor
Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la división de ingeniería
de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre 2017

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme salud y la oportunidad de vivir y darme sabiduría para obtener este logro más de mi vida y sobre todo existir en mi corazón.

A mis padres:

Paco López López y Marisol Hernández Santiago

Por ser ejemplo de trabajo y superación, por confiar en mí y darme sus consejos para salir adelante en los momentos difíciles gracias por darme su apoyo incondicional y por el gran esfuerzo que han hecho para mi superación profesional.

A mi hermano:

Cristian Erubey López Hernández

Por estar siempre conmigo y brindarme su apoyo incondicional, a pesar de todo lo que hemos vivido como hermanos.

A mis abuelos:

Ramiro Hernández Pérez

Juan López López

Elida Santiago Alfaro

Alicia López Hernández

Por demostrarme su cariño y su apoyo durante toda mi vida, como también sus sabios consejos para enfrentar la vida.

A mis amigos

Agradezco a mis amigos Yasmin, Saúl, Francisco, Ines con quienes viví y compartí muchas experiencias en la universidad, además por enfrentar juntos todos los obstáculos de la vida siempre los recordare.

AGRADECIMIENTOS

A dios:

Por darme la oportunidad de vivir y de llegar a ser lo que soy y permitirme lograr unos de mis sueños más grandes de ser Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

A mi Alma Terra Mater

Por abrirme sus puertas y ser parte de esta magnífica casa de estudios además por brindarme los conocimientos suficientes para enfrentar la vida. Estoy muy orgulloso de ser Narro.

Al M.C. Gregorio Briones Sánchez, M.C.Tomas Reyna Cepeda, M.C. Carlos Rojas Peña

Por participar en mi formación como profesionista. Y ser parte de mi proyecto de tesis gracias a sus aportaciones supere algunas barreras que se atraviesan durante el proyecto. Sus enseñanzas fueron fundamentales para lograr mis metas y adquirir nuevos conocimientos.

A todos los maestros del Departamento de Riego y Drenaje que me brindaron sus conocimientos y gracias a ello pude lograr mi meta de terminar la carrera como ingeniero agrónomo en irrigación.

A NIT IRRIGACIÓN S. DE R.L. DE C.V, por darme la oportunidad de trabajar en su empresa durante mi estancia como practicante, en especial a la Ing. Carina García Reyes.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN	11
ABSTRAC.....	13
1. INTRODUCCION.....	15
1.1. Objetivos.....	16
1.2. Hipótesis	16
2. REVISION DE LITERATURA	17
2.1. Producción de aguacate en Jalisco	17
2.2. Aspectos generales del aguacate	18
2.3. Requerimientos climáticos	19
2.4. Variedades de aguacate	20
2.5. El riego en aguacate	20
2.6. Sistemas comunes de riego para los aguacates.....	21
2.7. Sistema de riego por microaspersión.....	22
2.7.1. Tipos de microaspersores	24
2.7.2. Microaspersores y microjets.....	25
2.7.3. Partes del microaspersor SuperNet SRD	26
2.7.4. Microaspersores autocompensados Netafim	26
2.7.5. Principio de funcionamiento de los reguladores de flujo.....	29
2.8. Características más Importantes del Sistema de Riego por Microaspersión .30	
2.9. Principales Componentes	31
2.9.1. Fuentes de abastecimiento de agua	32
2.9.2. Cabezal de riego o centro de control.....	32
2.9.2.1. Equipo de bombeo	33
2.9.2.2. Sistema de filtrado	33
2.9.2.3. Unidad de fertilización.....	38
2.9.2.4. Aparatos de control y medición.....	39
2.9.2.5. Contadores o caudalímetros	40
2.9.2.6. Controlador de riego	40
2.9.2.7. Válvulas de control y seguridad	41

2.9.3.	Línea Principal y Subprincipal.	42
2.9.4.	Cruceros Divisores.	42
2.9.5.	Líneas secundarias.	43
2.9.6.	Líneas regantes.....	43
2.9.7.	Colocación de drenes.....	44
2.9.8.	Microaspersores.	44
2.9.9.	Atraques.....	44
2.10.	Ventajas y desventajas del riego por microaspersión.....	45
2.11.	Requisitos para proyectos de riego localizado	47
2.11.1.	Datos generales del proyecto.....	47
2.11.2.	Información de proyecto	47
2.11.3.	Diseño agronómico	47
2.11.4.	Diseño hidráulico.....	48
2.11.5.	Diseño electromecánico	49
2.12.	Evaluación de la Uniformidad de Emisión (Eu%).....	50
2.13.	Gradiente Hidráulico	51
2.14.	Método del Elemento Finito	52
3.	MATERIALES Y METODOS	53
3.1.	Lugar y fecha de establecimiento	53
3.2.	Características de los huertos.....	55
3.2.1.	Marco de plantación y microaspersores utilizados.....	55
3.2.2.	Topografía y fisiografía.....	55
3.2.3.	Clima	56
3.3.	Materiales, equipos y utilizados	56
3.4.	Aforación de los microaspersores.....	57
3.5.	Recopilación de datos para las dos huertas	59
3.5.1.	Datos del cabezal de riego	60
3.6.	Diseño agronómico	61
3.6.1.	Cálculo de las necesidades netas diarias de agua o riego para las plantas de aguacate.....	61
3.6.2.	Determinación de las necesidades diarias de agua por árbol	63
3.6.3.	Tiempo de operación del riego	63
3.7.	Análisis del diseño Hidráulico	64

3.7.1. Simulación del gradiente hidráulico por medio del método del elemento finito.....	64
3.8. Cálculo de la Uniformidad de Emisión (Eu%)	69
3.9. Metodología para Cálculo de Variación de Carga Permisible.....	70
3.10. Determinación de la longitud máxima de la línea regante	71
3.10.1. Plantilla en Excel para el cálculo de la longitud máxima a través de la función objetivo.	73
3.10.2. Pasos para la Ejecución de Función Buscar Objetivo.	73
3.11. Determinación del diámetro teórico de la línea distribuidora	74
3.11.1. Plantilla de Excel para el cálculo del diámetro teórico de la línea distribuidora	75
3.11.2. Pasos para vincular la Función Buscar Objetivo con la Función Coincidir	76
3.12. Método Estadístico para Evaluación de Resultados.....	76
3.12.1. Prueba T-Student.....	77
3.12.2. Empleo de la Prueba t de Student.....	77
3.12.3. T calculada.....	77
3.12.4. Estadístico T_{α}	77
4. RESULTADOS Y DISCUSION	78
4.1. Curva de evapotranspiración del aguacate.....	78
4.2. Curvas gasto presión de los microaspersores utilizados en las huertas de aguacate	79
4.3. Comparación de los gastos calculados sistemáticamente en las dos huertas.....	80
4.4. Distribución de gastos para un bloque de riego sin regulación de flujo de las huertas 1 y 2	82
4.5. Uniformidad de emisión calculada en un bloque de riego del huerto 1 y 2 utilizando el Método del Elemento Finito (MEF)	83
4.6. Longitud máxima de la línea regante	85
4.7. Comparación del diámetro de la línea distribuidora	86
4.8. Comparación de los diseños de las huertas 1 y 2.....	87
5. CONCLUSIONES	91
6. BIBLIOGRAFIA	92
7. ANEXOS.....	95

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ejemplo de microaspersor Netafim.....	23
Figura 2.2. Patrones de pulverización del microaspersor Netafim.....	24
Figura 2.3. Ejemplos de microaspersores a). Clásico b). Autocompensado c). Microaspersor con estaca (Netafim, 2014).....	25
Figura 2.4. Ejemplo de microjets.	25
Figura 2.5. Partes que conforman el microaspersor SuperNet SRD	26
Figura 2.6. Ejemplo de microaspersor Netafim (SR, SRD).....	27
Figura 2.7. Ejemplo de microaspersor Netafim (LR, LRD).	27
Figura 2.8. Ejemplo microaspersor chorro Netafim.	28
Figura 2.9. Posición 1 sin presión.....	29
Figura 2.10. Posición 2 presión normal.	29
Figura 2.11. Posición 3 presión alta.	29
Figura 2.12. Reservorio con geomembrana.	32
Figura 2.13. Conjunto de bombas centrifugas instaladas en paralelo.	33
Figura 2.14. Conjunto de hidrociclones a la salida de un pozo	34
Figura 2.15. Conjunto de filtros de grava.....	35
Figura 2.16. Filtro de grava con retrolavado.....	36
Figura 2.17. Filtros de malla.	36
Figura 2.18. Filtro de anilla armado y desarmado	37
Figura 2.19. Bateria de filtros de anillas en un cabezal de riego.	37
Figura 2.20. Esquema de inyector de fertilizante.....	39
Figura 2.21. Manómetro de glicerina de hasta 60 bar.	40
Figura 2.22. Controlador total de riego.	40
Figura 2.23. Esquema de las partes que conforman un cabezal de riego.....	42
Figura 2.24. Esquema de un maniful para válvulas de control y de aire.	43
Figura 2.25. Colocación de la inicial al tubo.	43
Figura 2.26. Dren de descarga de agua sucia.....	44
Figura 2.27. Formas de colocación de atraques.....	45
Figura 2.28. Distribución de cargas en una subunidad de riego.....	52
Figura 3.1. Polígono de la huerta 1.	53
Figura 3.2. Polígono de la huerta 2.	54
Figura 3.3. Ubicación del jardín hidráulico.....	54
Figura 3.4. Planta de aguacate con dos microaspersores.....	55
Figura 3.5. Microaspersores conectados en la línea lateral.	57
Figura 3.6. Lectura del manómetro al final de la línea.....	57
Figura 3.7. Microaspersor en funcionamiento con deflector.....	58
Figura 3.8. Aforación del microaspersor.....	58
Figura 3.9. Cabezal de riego huerta 1.	60
Figura 3.10. Cabezal de riego huerta 2	60
Figura 3.11. Cálculo de la evapotranspiración de referencia mediante el programa Cropwat.....	62
Figura 4.1. Curva de la evapotranspiración del aguacate para cada mes.....	78

Figura 4.2. Curvas de los cuatro microaspersores SuperNet SRD de Netafim.	79
Figura 4.3. Variación del gasto de los microaspersores Netafim SuperNet SRD boquilla color café a lo largo de la línea regante con y sin reguladores de flujo en la huerta 1.	80
Figura 4.4. Variación del gasto de los microaspersores Netafim SuperNet SRD boquilla morada a lo largo de la línea regante con y sin reguladores de flujo de la huerta 2.	81
Figura 4.5. Distribución de los gastos calculados para los microaspersores en un bloque de la huerta 1.	82
Figura 4.6. Distribución de los gastos calculados para cada uno de los microaspersores en un bloque de riego del huerto 2.	83
Figura 4.7. Distribución de gastos de los emisores muestreados sistemáticamente en las laterales de un bloque del huerto 1.	84
Figura 4.8. Distribución de los gastos muestreados sistemáticamente en las laterales de un bloque del huerto 2.	84
Figura 4.9. Comparación de los diámetros obtenidos de diseño con el diámetro calculado para la huerta 1.	86
Figura 4.10. Comparación de los diámetros obtenidos de diseño con el diámetro calculado para la huerta 2.	86
Figura 4.11. Comparación de diseño de la huerta 1.	87
Figura 4.12. Comparación de diseño para la huerta 2.	88

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Datos para diseño de la huerta 1 y 2.	59
Cuadro 3.2. Observaciones meteorológicas por mes del año 2015 registradas en la Estación Meteorológica de Tuxpan Jalisco.	61
Cuadro 3.3. Valores del factor de fricción de Hazen - Williams según el tipo de material.....	64
Cuadro 3.4. Plantilla de Excel para el análisis del gradiente hidráulico de una línea regante.	65
Cuadro 3.5. Plantilla de Excel para el análisis hidráulico de la línea distribuidora telescópica.	67
Cuadro 3.6. Plantilla en Excel para el cálculo de la Lmax.	73
Cuadro 3.7. Plantilla de Excel para el cálculo del diámetro teórico.	75
Cuadro 3.8. Diámetro de tuberías de PVC.	75
Cuadro 3.9. Plantilla para el cálculo del diámetro nominal.	75
Cuadro 4.1. Análisis estadístico de los microaspersores con y sin reguladores de flujo para la huerta 1.....	81
Cuadro 4.2. Análisis estadístico de los microaspersores boquilla color morado con y sin reguladores de flujo para la huerta 2.	82
Cuadro 4.3. Longitud máxima de la línea regante (m) con pendiente para los microaspersores con y sin reguladores de flujo.	85
Cuadro 4.4. Tubería, válvulas y conexiones de PVC para el huerto 1.	89
Cuadro 4.5. Tubería, válvulas y conexiones de PVC para el huerto 2.	90

DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN EN HUERTAS DE AGUACATE EN JALISCO

Por: Alan de Jesús López Hernández

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en base a los diseños de sistemas de riego por microaspersión en aguacate instalado en dos huertas en el municipio de Tuxpan Jalisco, donde los objetivos principales son: a) Justificar el uso de microaspersores con flujo regulado en sistemas de microirrigación en relación con la pendiente topográfica para las huertas de aguacate. b) Crear una rutina en Excel para determinar la longitud máxima de la línea regante en base a los marcos de plantación, desnivel topográfico, diámetro de manguera y tipo de microaspersor. c) Comparación del diseño en base a la utilización de diferentes microaspersores en huertas con desnivel topográfico.

Para justificar el uso de los microaspersores con flujo regulado en comparación con los que no tienen regulador de flujo para las dos huertas, basándose en el resultado que se obtuvo del cálculo de la descarga de los microaspersores, por el Método Elemento Finito y de la prueba t Student utilizando un 95% de nivel de confianza y una significancia de 5%, encontrando una $t_c = 7.36^*$ para los microaspersores de la huerta 1 con gasto de 30 lph, lo que indica que hay diferencia significativa por lo que se acepta H_a : Promedio del flujo regulado es diferente al promedio del flujo sin regular, de igual manera para los microaspersores de 20 lph utilizados en la huerta 2 se obtuvo una $t_c = 3.48^*$ indicando nuevamente que hay diferencia significativa y se acepta H_a . Resultando una uniformidad de emisión para los microaspersores sin reguladores de flujo de 96.1% con un gasto de 30 lph y con 20 lph un 95.5% ambos estimados de acuerdo a la metodología propuesta por Karmeli-Keller (1975).

La determinación de la longitud máxima de la línea regante con la función objetivo condicionándola con la variación de carga permisible, de $\Delta H_{lr} = 2.85$ mca para microaspersores sin regulador de flujo y $\Delta H_{lr} = 12.4$ mca para los microaspersores con regulador de flujo a diferentes pendientes, resultando mayores longitudes de regante al utilizar reguladores de flujo en los microaspersores SuperNet SRD de Netafim.

El diseño con menos bloques para los microaspersores con reguladores de flujo, permite que se alcancen mayores longitudes de la lateral de riego, por lo tanto se obtiene un ahorro en materiales como tuberías distribuidoras, válvulas y conexiones.

Los gastos de los microaspersores aforados en una prueba de calibración demostraron no ser completamente autocompensados, debido a que presentan una diferencia de ± 1 lph debido al coeficiente de variación de manufactura característico.

Palabras clave: Flujo regulado, Método Elemento Finito, Uniformidad de Emisión, Pendiente, carga permisible, Longitud máxima, Función objetivo.

Clave del proyecto: 38111-425401001-601

e-mail: alanger8@hotmail.com

ABSTRAC

The present investigation was carried out based on the designs of irrigation systems by micro-sprinkling in avocado installed in two orchards in the municipality of Tuxpan Jalisco, where the main objectives are: a) Justify the use of micro-sprinklers with regulated flow in irrigation systems. microirrigation in relation to the topographic slope for avocado orchards. b) Create a routine in Excel to determine the maximum length of the irrigation line based on the plantation frames, topographic difference, hose diameter and micro-sprinkler type. c) Comparison of the design based on the use of different micro-sprinklers in orchards with topographic differences.

To justify the use of the micro-sprinklers with regulated flow compared to those that do not have flow regulators for the two orchards, based on the result obtained from the calculation of the micro-sprinkler discharge, by the Finite Element Method and the test t Student using a 95% level of confidence and a significance of 5%, finding a $t_c = 7.36^*$ for the micro-sprinklers of the garden 1 with an expenditure of 30 lph, which indicates that there is a significant difference, so H_a : Regulated flow average is different to the average of the unregulated flow, in the same way for the 20 lph micro-sprinklers used in garden 2 a $t_c = 3.48^*$ was obtained indicating again that there is significant difference and H_a is accepted. Resulting uniformity of emission for micro sprinklers without flow regulators of 96.1% with an expenditure of 30 lph and with 20 lph 95.5% both estimated according to the methodology proposed by Karmeli-Keller (1975).

The determination of the maximum length of the irrigating line with the objective function conditioning it with the permissible load variation, of $\Delta H_{lr} = 2.85$ mca for micro-sprinklers without flow regulator and $\Delta H_{lr} = 12.4$ mca for the micro-sprinklers with flow regulator to different slopes , resulting in greater irrigator lengths when using flow regulators in the Netafim SuperNet SRD micro-sprinklers.

The design with fewer blocks for the micro-sprinklers with flow regulators, allows to achieve greater lengths of the irrigation side, therefore savings in materials such as distribution pipes, valves and connections are obtained.

The expenses of the micro-sprinklers evaluated in a calibration test proved not to be completely self-compensating, because they present a difference of +/- 1 lph due to the characteristic variation coefficient of manufacture

Key words: Regulated Flow, Finite Element Method, Emit Uniformity, Slope, Permissible Load, Maximum Length, Target Function

Project code: 38111-425401001-601

e-mail: alanger8@hotmail.com

1. INTRODUCCION

Los sistemas de riego presurizados tienen como objetivo satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, en el momento adecuado y en la cantidad necesaria, aplicando el agua de manera eficiente y uniforme, para que la mayor parte de esta quede disponible en la zona radicular del cultivo.

Los sistemas de riego presurizados, sean por aspersión o por goteo, deben ser bien diseñados para asegurar un incremento significativo de los beneficios de la inversión tan alta del capital necesario para la instalación de estos tipos de sistemas de aplicación de agua. Los países en desarrollo y, especialmente, los agricultores comunes y corrientes no pueden tolerar el gasto de sus recursos preciosos y limitados de capital en sistemas de riego presurizados mal diseñados, los cuales pueden reducir drásticamente sus rendimientos de cultivos por debajo de lo esperado del método tradicional de riego (Burt, 1995).

Los sistemas de riego localizado permiten distribuir el agua de manera localizada, manteniendo un nivel adecuado y constante de humedad en el suelo, de tal forma que esta quede disponible en la zona radicular de la planta. Son una opción para disminuir las pérdidas de agua en los sistemas agrícolas, ya que al implementar este tipo de sistemas se puede tener una eficiencia en el uso del agua hasta del 90%.

En el presente trabajo se determinó la ETc para el aguacate en la región de Tuxpan Jalisco, así como también la simulación del gradiente hidráulico para los microaspersores con y sin reguladores de flujo para conocer si hay diferencia significativa en la descarga del flujo. Conocer como es la distribución de los caudales, para los microaspersores sin reguladores de flujo en el bloque 1 de ambas huertas para saber cuál es la uniformidad de emisión. Obtener la longitud máxima de la línea regante de acuerdo al gasto y tipo de microaspersor, diámetro interno de la manguera, pendiente del terreno y la separación entre emisores en la línea. Se hace la comparación de la configuración de bloques de diseños con microaspersores con y sin reguladores de flujo. Todo esto con el fin de realizar el dimensionamiento más económico de la infraestructura hidráulica, para conducir y distribuir el agua.

1.1. Objetivos

- Justificar el uso de microaspersores con flujo regulado en sistemas de microirrigación, en relación con la pendiente topográfica para las huertas de aguacate.
- Crear una rutina en Excel para determinar la longitud máxima de la línea regante, en base a los marcos de plantación, desnivel topográfico, diámetro de manguera y tipo de microaspersor.
- Comparación del diseño en base a la utilización de diferentes microaspersores en huertas con desnivel topográfico.

1.2. Hipótesis

La hipótesis se planteó para conocer la significancia estadística de la descarga de los microaspersores con reguladores de flujo, con los que no tienen reguladores de flujo por el Método Elemento Finito (MEF).

H₀: El promedio del flujo con regulador es igual al promedio del flujo sin regulador.

H_a: Promedio del flujo regulado es diferente al promedio del flujo sin regular.

Si $T_c \leq \tau_\alpha$; Acepto H₀

Si $T_c > \tau_\alpha$; Acepto H_a

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Producción de aguacate en Jalisco

Jalisco ocupa el segundo lugar a nivel nacional en la producción de aguacate Hass, alimento del campo que abona a la oferta exportable debido a que se lleva a la mesa de muchos países del mundo.

De esta forma, en la lista de productos jaliscienses exportables el aguacate Hass es uno de los principales al enviarse a 23 naciones, ya que ocupa el quinto lugar a nivel mundial en exportaciones, esto abre grandes posibilidades de seguir explorando nuevos mercados extranjeros gracias a su calidad y certificación.

Cifras de producción

- Jalisco contaba con 1000 hectáreas de aguacate en el año 2000 y para el año 2016 contaba con 22,000 hectáreas.
- Condiciones climatológicas óptimas para la producción propiciaron el crecimiento exponencial de plantaciones.
- Segundo lugar a nivel nacional
- Michoacán es el principal productor de aguacate a nivel mundial.
- Actualmente en Jalisco 60% de las huertas está en producción (más de 5 años de establecidas), el resto está aún en desarrollo.
- 15 toneladas por hectárea es la producción promedio en Jalisco en huertas con 5 años o más.
- El 85% de las huertas cuentan con sistemas de riego tecnificado.
- Se cuenta con 10 municipios certificados libres de plagas cuarentenarias.
- En el año 2016 se produjeron en Jalisco 120 mil toneladas de aguacate de las cuales poco más de la mitad se exportó a Canadá, Europa, Japón y Medio Oriente.

2.2. Aspectos generales del aguacate

El aguacate es un árbol originario de Mesoamérica, su origen tuvo lugar en la parte centro de México y en algunas partes altas de Guatemala, donde ya se cultivaba con anterioridad a la llegada de los españoles. El nombre del aguacate proviene del náhuatl (Ahuacatl), palabra que significa “testículos del árbol”. Su nombre científico es *Persea Americana* y proviene de la familia laurácea.

Árbol

Regularmente, el árbol de aguacate puede alcanzar una altura de hasta 20 metros, sin embargo, cuando se cultiva no se deja crecer más de 5 metros, para facilitar las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar. Es de tronco grueso y con hojas alargadas que terminan en punta en la parte alta del tronco. Tiene varias ramificaciones, que generan un follaje denso. El aguacate es considerado un cultivo perenne debido a que se cultiva durante todo el año.

Fruto

El fruto es una drupa, en forma de pera, de color verde claro a verde oscuro y de violeta a negro, cáscara rugosa con una pulpa verde amarillenta y un hueso central muy grande. Existen aproximadamente unas 400 variedades, por lo que podemos encontrar frutos de formas y pesos diferentes, que pueden llegar a pesar de 150 a 350gr.

Cultivo

La distancia de entre las plantas está determinado en función de factores como: variedad de aguacate, tipo de suelo, topografía y condiciones meteorológicas. En general, los árboles son plantados con una distancia entre ellos que va desde los 4 metros hasta los 12 metros de distancia entre sí. De esta manera se obtiene en una hectárea destinada a la plantación del aguacate, de 115 a 180 árboles.

2.3. Requerimientos climáticos

Temperatura

La temperatura para el cultivo del aguacate, va de los 17 a 24 °C, siendo la temperatura ideal en alrededor de 20°C, temperatura en la cual alcanza su óptimo desarrollo.

Humedad

El aguacate requiere regímenes pluviales de 1,000 a 2,000 milímetros de lluvia. Además, durante la época productiva, el riego localizado prolonga el periodo productivo, incrementando los rendimientos en alrededor del 30% y mejorando las cualidades organolépticas de los frutos.

Suelo

Para plantar el aguacate, el suelo más recomendado son los de texturas ligeras y profundas bien drenadas con un pH neutro o ligeramente ácidos de 5.5 a 7. También, se pueden cultivar en suelos arcillosos o franco arcillosos, siempre que exista un buen drenaje. El exceso de humedad es un medio que provoca enfermedades de la raíz, fisiológicas y fúngicas.

Terreno

El terreno destinado al cultivo, debe contar con buena protección natural contra el viento, porque este puede producir daños como: rotura de ramas, raíz y caída del fruto, especialmente cuando están pequeños, además, el viento reduce la humedad, las flores se deshidratan e interfiere con la polinización.

2.4. Variedades de aguacate

Hass

El más popular en el mercado internacional. Cuando está maduro, su cascara adquiere un tono oscuro, casi negro. Su piel pasa de verde oscuro a verde purpurino. Tiene un gran sabor a nuez y avellana, con textura suave-cremosa y una semilla de pequeña a mediana. Disponible durante todo el año. El aguacate Hass proviene de injerto, mezcla de diferentes variedades de aguacate, desarrollado por Rudolph Hass.

Fuerte

Su cáscara es gruesa, comparada con otras especies y no se oscurece con la maduración. Su piel es ligeramente áspera, con muchos pequeños puntos amarillos. Lo podemos encontrar desde finales de otoño hasta primavera. Tienen la forma de una pera, de gran sabor y pulpa cremosa.

Pinkerton

Tiene cosecha temprana, redondo, con cuello en forma de pera, de tamaño medio. Se trata de una fruta de apariencia larga, pulpa cremosa con excelente sabor. Tiene una cascara más gruesa que las diferentes clases de aguacate, además es muy fácil de pelar. Lo encontramos de invierno hasta primavera.

2.5. El riego en aguacate

La disponibilidad de agua es factor determinante que influencia el crecimiento del árbol, producción y calidad del fruto. La época comprendida entre el cuajado del fruto y su madurez fisiológica, es el periodo más crítico, en el que el cultivo debe disponer de agua suficiente, más no encharcamiento, pues se genera el ambiente propicio para el establecimiento y desarrollo de hongos patógenos. Así mismo, durante el establecimiento del cultivo se recomienda establecer los requerimientos por árbol. El riego constituye una estrategia en el manejo riesgos climáticos, como lo son las temperaturas extremas. Se recomienda instalar sistemas de riego localizado que son más eficientes. Para determinar la cantidad de agua a aplicar, es necesario establecer el valor de la evapotranspiración del cultivo, estado fenológico del cultivo, clima, características físicas del suelo, topografía del terreno. Es importante ubicar

acertadamente los equipos de riego, calibrarlos y realizar el mantenimiento oportunamente y evitar errores en el manejo y frecuencia del riego.

La aplicación de sistemas de riego nuevos y mejorados han permitido a nivel mundial ahorrar agua, disminuir costos y aumentar la producción de cultivos. El propósito del riego es el de suministrar agua en el momento que la planta lo necesite.

La meta con cada tipo de sistema de riego es tener alta uniformidad de distribución alta y alta eficiencia de la aplicación. Cuando se cumplan estos objetivos, las plantas recibirán la misma cantidad de agua, fertilizantes y químicos que son necesarios para el crecimiento de las plantas. Una alta uniformidad indica que el agua se aplica uniformemente en todo el sistema, mientras que una baja uniformidad podría ser demasiado o muy poca agua en diferentes áreas de la huerta. La eficiencia de aplicación es un porcentaje de la proporción de la profundidad media del agua infiltrada a la profundidad media del agua aplicada. "El requisito de agua para un cultivo es directamente relacionados con el agua perdida por evapotranspiración (ET). Evapotranspiración de un cultivo depende de la radiación solar, la humedad, la temperatura, el viento y la etapa de crecimiento "(Burt, 2013). Conocer la ET y las tasas de infiltración del suelo pueden ayudar a la uniformidad y eficiencia del sistema. La evapotranspiración se refiere a la cantidad de agua utilizada por el cultivo más la cantidad de agua evaporada de la superficie del suelo.

2.6. Sistemas comunes de riego para los aguacates

Los sistemas de riego por microaspersión tienen la capacidad de distribuir agua donde se necesita. Los dos sistemas de riego localizado más comunes que se utilizan en los aguacates son goteo y microaspersión. El goteo no es tan común con los aguacates en comparación con los microaspersores que son excelentes para ese cultivo debido a su baja tasa de aplicación y 2.5 m a 5 m de diámetro de humectación en la superficie de la tierra.

El riego por goteo es un excelente método para ahorrar agua ya que permite que el agua gotee lentamente ya sea sobre la superficie del suelo o directamente en la zona de la raíz. Las mangueras llamadas laterales corren por las filas con emisores de baja presión cerca de las bases de cada árbol aplicando de 2 a 6 litros de agua por hora. Según Koch, a medida que el árbol crece, se añadirán emisores adicionales a la superficie de la manguera de 6-8 emisores para regar a cada árbol. Aunque los fertilizantes y los productos químicos pueden ser inyectados directamente en el sistema de goteo, es necesario tener una filtración fiable que filtre todas las partículas que podrían obstruir los emisores de goteo.

2.7. Sistema de riego por 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 o híbrido de cruzar el sistema de riego por goteo con el sistema de riego por aspersión. Este sistema nace a causa de los problemas que presenta el riego por goteo en terrenos con textura arenosa, ya que en este tipo de suelos no se forma bien el bulbo de mojado característico de éste sistema de riego. (Pizarro 1996).

El microaspersor pulverizan el agua sobre la superficie del suelo, como en aspersión, pero produciendo áreas regadas pequeñas y localizadas, de 1 a 5 m de diámetro, siendo los emisores, en general, de caudales de 50 a 150 L/h. (Santos, 2010). Los microaspersores deben seleccionarse con gastos adecuados para evitar encharcamientos y escurrimientos de agua. Deben de utilizarse láminas precipitadas horarias que no excedan la velocidad de infiltración de agua en el suelo. El microaspersor y/o microjet riega un espacio más amplio y más uniforme dentro de la zona radicular de los árboles frutales. (Tovar, 1993).

Los microaspersores distribuyen eficientemente agua y fertilizante a la superficie del suelo y a la base de los árboles. Los microaspersores pueden tener una buena eficiencia de aplicación, permitiendo a los agricultores ahorrar agua y sólo aplicar agua en la zona radicular de la planta. Similar al riego por goteo, las mangueras laterales corren por cada fila con microaspersores que se ramifican fuera de una manguera de espagueti adjunta. Cuando están bien espaciados, los microaspersores pueden dar una aplicación muy uniforme de agua sobre el área irrigada. Existen muchos tipos de microaspersores con diferentes tamaños de orificios que se pueden usar dependiendo patrones, flujos, presiones y espaciamiento de los árboles. Los agricultores suelen comenzar con los rociadores más pequeños mientras que los árboles son jóvenes y luego intercambiarlos por los más grandes, con el fin de mantener el riego al ritmo del crecimiento del sistema radicular. Un ejemplo de microaspersores se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1. Ejemplo de microaspersor Netafim.

Los microaspersores se clasifican en sistemas de riego de bajo volumen que pueden aumentar la eficiencia de aplicación, permitiendo a los productores ahorrar agua aplicándola solamente a zona radicular de las plantas. Estos sistemas requieren mantenimiento para reducir el taponamiento, incluyendo el lavado frecuente de mangueras y adición de químicos para matar bacterias y otros crecimientos biológicos (Burt, 2013).

2.7.1. Tipos de microaspersores

Hay diferentes tipos de microaspersores, todos adecuados para cultivos de huerta como limones, naranjas y aguacates. Los sistemas de riego por microaspersión utilizan pequeños aspersores de plástico o chorros que rocían el agua sobre la superficie del suelo, creando un área mojada de 2 m o más de diámetro (Burt, 2013). A diferencia del goteo, los microaspersores tienen pasajes más grandes que ayudan a evitar el taponamiento. Estos rociadores aplican agua a la superficie del suelo mediante un pequeño rociado o niebla a una velocidad de descarga de 15 a 80 litros por hora. Los materiales plásticos simples y reemplazables son resistentes a todos los agroquímicos y al clima. El diseño único asegura cantidades iguales de agua por árbol, buena uniformidad de distribución y diámetro de humectación asumiendo que la presión de entrada está equilibrada. Hay muchas marcas y modelos diferentes de microaspersores, pero casi todos están disponibles como compensación de presión o sin presión compensada con una variedad de radios de cobertura y patrones de pulverización.

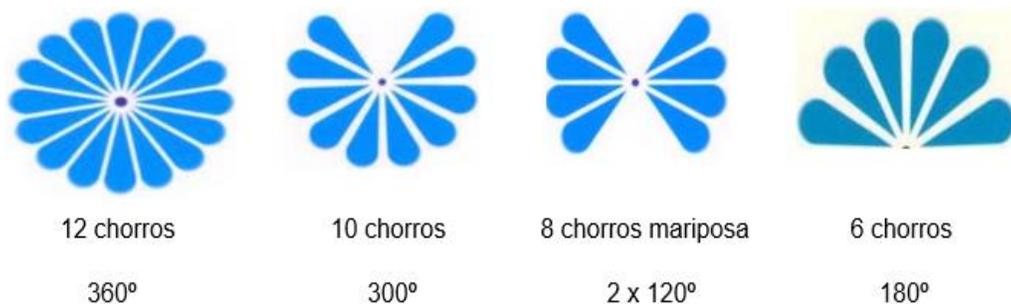


Figura 2.2. Patrones de pulverización del microaspersor Netafim.

2.7.2. Microaspersores y microjets

El riego por microaspersión está clasificado en los emisores llamados microaspersores y microdifusores de acuerdo con Liotta (2000):

- Microaspersores: Son aspersores de baja presión y caudal, que contienen piezas móviles.



Figura 2.3. Ejemplos de microaspersores a). Clásico b). Autocompensado c). Microaspersor con estaca (Netafim, 2014).

- Microjets: Como se muestra a continuación el agua sale por un orificio y choca contra un deflector fijo que distribuye el agua, no contiene piezas móviles.



Figura 2.4. Ejemplo de microjets.

2.7.3. Partes del microaspersor SuperNet SRD

Microaspersor SuperNet SDR030, Netafim con una boquilla café 1.4 mm de diámetro nominal, 30 lph, rotor con deflector color azul y compensación de presión en un rango de 15 a 40 mca.

1. Puente modulador.
2. Rotor con deflector.
3. Cuerpo conductor del flujo.
4. Diafragma de compensación de presión.
5. Boquilla.



Figura 2.5. Partes que conforman el microaspersor SuperNet SRD

2.7.4. Microaspersores autocompensados Netafim

Las principales formas de diferenciar entre los microaspersores es si son de corto alcance, de largo alcance, con compensación de presión o sin compensación de presión. Algunos de los microaspersores comunes diseñados exclusivamente para huertos y cultivos arbóreos se muestran abajo. Radio corto (SR, SRD). Estos microaspersores fueron diseñados para riego de árboles plantaciones y huertos que requieren una distribución eficiente. El SR significa que tiene un rotor giratorio que riega un área de tamaño mediano. El SRD significa que tiene un flujo deflector, que crea un área de pulverización más pequeña y se utiliza durante el período de crecimiento inicial.

Una vez que el sistema radicular se extiende, el deflector puede romperse para generar una área de mojado más grande. El microaspersor viene en 10 tamaños que emiten flujos de 20 a 110 litros por hora. Un microaspersor de radio corto fabricado por Netafim se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6. Ejemplo de microaspersor Netafim (SR, SRD).

Radio largo (LR, LRD). Estos microaspersores fueron diseñados para riego de árboles plantaciones con grandes volúmenes de raíces. El LR significa rotor rotatorio que riega un área grande y el LRD significa que tiene el deflector de flujo similar pero para un área más grande. El emisor también viene en 10 tamaños diferentes que emiten flujos de 30 a 150 litros por hora. Un ejemplo de un microaspersor de radio largo hecho por Netafim se muestra en la figura 2.7. (Micoaspersores, 2014).



Figura 2.7. Ejemplo de microaspersor Netafim (LR, LRD).

Jet Micro-Rociador. Este microaspersor fue diseñado para plantaciones de árboles y huertos de irrigación con agua dura que contiene grandes cantidades de arena. Está diseñado con un cojinete superior especial que mantiene el rotor de hilado. A diferencia de los eslabones giratorios normales, el emisor estático ayuda a prevenir el desgaste de la arena y otras partículas en el agua. El emisor viene en 7 tamaños que emiten los flujos de 30 a 90 litros por hora. Un ejemplo de un chorro microaspersor hecho por Netafim se muestra en la figura 2.8. (Microaspersores, 2014).



Figura 2.8. Ejemplo microaspersor chorro Netafim.

Presión Compensada. Estos microaspersores entregan una amplia gama de regulación con una alta uniformidad de distribución y gran paso de agua. Están disponibles en los cuatro patrones de roció, así como las opciones de boquillas giratorias largas y cortas. La presión característica de compensación ayudará al aspersor entregar una cantidad precisa de agua, independientemente de los cambios en la presión debido a largas filas o cambios de elevación (microaspersores, 2014).

Presión no compensada. Estos microaspersores ofrecen un diámetro máximo de cobertura junto con una alta uniformidad de distribución. Estos microaspersores son más baratos que los de presión compensada y son ideales para huertos con cambios mínimos de elevación. No se deben de instalar en huertos que contienen grandes cambios de elevación.

2.7.5. Principio de funcionamiento de los reguladores de flujo

La ranura entre la junta tórica y las puntas de la estrella reguladora es el orificio de paso por el que fluye el agua. Según el modelo, los orificios de paso se encuentran dentro o fuera de la junta tórica.

Posición 1: estado estático (sin caudal, sin presión o con presión reducida). La junta tórica no está tensada.



Figura 2.9. Posición 1 sin presión.

Posición 2: estado dinámico (caudal), tan pronto como el agua fluye a través del regulador de caudal, la junta tórica de precisión se deforma y es presionada entre las puntas de la estrella reguladora. De esta forma se reducen los orificios de paso del agua.



Figura 2.10. Posición 2 presión normal.

Posición 3: alta presión, cuanto más se incrementa la presión de caudal, mayor es la deformación de la junta tórica.

Cuando la presión baja, los orificios de paso de agua se hacen de nuevo mayores, y la junta tórica de precisión recupera poco a poco su forma originaria.



Figura 2.11. Posición 3 presión alta.

2.8. Características más Importantes del Sistema de Riego por Microaspersión

Las características más sobresalientes de los sistemas de riego por microaspersión son:

- Aplica el agua en forma de rocío.
- Un mismo microaspersor tiene accesorios necesarios que pueden ir cambiando y adaptando las distintas etapas de desarrollo de cada especie de frutal en particular. De esta manera puede irse controlando el diámetro de rociado del microaspersor desde 2 m hasta 6 m.
- Instalación más sencilla que el riego por goteo.
- Fácil de identificarse, porque cada diámetro de boquilla tiene un color específico y determina el gasto en litros por hora en los microaspersores regulados o compensados.
- Es el único sistema de riego en el mundo que cuenta con regulador integrado, que hace la función de obtener un flujo constante a diferentes presiones y/o diferentes cotas de terreno.
- Pueden ser usados para moderar microclimas:
 - En días cálidos y secos se pueden producir un rociado por encima del árbol, las gotas de rocío absorben el calor del aire circulante, enfriándolo y aumentando la humedad del ambiente.
 - En una noche fría y helada el agua, al aplicarse por encima del follaje, “calienta” el ambiente, esto es debido a que el agua aplicada pierde calorías al enfriarse.
- La microaspersión se utiliza más en árboles frutales, donde en riego por goteo, para cumplir los requerimientos de agua se tiene que utilizar doble manguera o doble línea por surco de árboles.
- El movimiento de las sales en el suelo es más apropiado en el riego por microaspersión.

- Cuenta con un amplio rango de precipitación horaria (PPH) ya que se puede aplicar hasta 25 mm de aquí la gran aplicación a toda clase de precipitación y toda clase de texturas de suelos.
- Tiene bastante uso en riego de invernaderos donde la humedad y temperatura de los mismos debe estar bien controlada.
- Se pueden aplicar fertilizantes a través del sistema. (Gurovích, 1999).

2.9. Principales Componentes

Los principales componentes que integran un sistema de riego por microaspersión se enlistan a continuación:

- Fuente de abastecimiento de agua.
- Cabezal de riego o centro de control.
- Línea principal y subprincipal.
- Cruceros divisores.
- Líneas secundarias.
- Líneas regantes.
- Microaspersores.
- Válvulas de seguridad.

2.9.1. Fuentes de abastecimiento de agua

El abastecimiento para el equipo puede provenir del turno de la red de riego en aquellas zonas con derecho o de extracción de agua subterránea a través de perforaciones. Estas últimas también pueden encontrarse dentro de la zona con derecho, cuando el recurso es insuficiente para regar la superficie cultivada. En las zonas con derechos de riego, el turno se almacena en reservorios, cuyas dimensiones dependen de la superficie a regar. Su función es la de abastecer de agua en forma permanente al sistema. Por lo general, se construyen en los sectores más altos cerca de la toma de riego o perforación o en un punto medio de distribución del riego. La excavación se hace con retroexcavadora y se le da el talud necesario en función del tipo de suelo. Existen varios tipos de reservorios siendo los más comunes aquellos recubiertos con una membrana impermeable (Fig. 2.12). Se utiliza membrana de polietileno resistente a la acción de los rayos ultravioleta y de un espesor que varía entre 500 micrones y 3 mm.



Figura 2.12. Reservorio con geomembrana.

2.9.2. Cabezal de riego o centro de control.

Es el conjunto de elementos que dominan toda la instalación y sirve para proveer presión y caudal al sistema, filtrar el agua, inyectar fertilizantes, medir volúmenes, etc. Los componentes principales son:

2.9.2.1. Equipo de bombeo

Está constituido por una o más bombas cuyo tamaño y potencia depende de la superficie a regar. El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea suficiente para vencer las diferencias de cota y las pérdidas de carga de todo el sistema. Las más usadas son de acción centrífuga abastecidas por energía eléctrica y en menor grado las de motor de combustión interna (Fig. 2.13).



Figura 2.13. Conjunto de bombas centrífugas instaladas en paralelo.

2.9.2.2. Sistema de filtrado

Es la sección del cabezal de riego que se encarga de eliminar las impurezas que se encuentran en el agua que utilizan los microaspersores. Dentro de la filtración se encuentra: Un manómetro antes de la entrada y otro después de la salida del agua filtrada, que indican la pérdida de la carga del filtrado y cuando es necesario lavar los filtros y los más usados son los siguientes.

Hidrociclones

Se utilizan para separar gravillas y arenas. Tiene la forma de un cono invertido donde el agua ingresa por un costado en forma inclinada y sale por la tapa superior como se aprecia en la figura. Las arenas decantan y se depositan en un recipiente inferior que es necesario limpiarlo frecuentemente (Fig. 2.14). Se usan en aguas provenientes de perforaciones. Se consigue separar hasta un 98 % de partículas superiores a 100 micrones. La pérdida de carga es 1-2 m, según caudal y diámetro del filtro.



Figura 2.14. Conjunto de hidrociclones a la salida de un pozo

Filtros de grava

Son tanques metálicos o de plástico reforzado que contienen arena o grava tamizadas de un determinado tamaño (Fig. 2.15). El agua se filtra al pasar por el estrato de arena/grava. El espesor de este no debe ser inferior a 50 cm y la velocidad del agua debe ser inferior a 60 m/hora lo que equivale a un caudal de 60 m³ /hora por m² de superficie filtrante. Son muy efectivos para retener sustancias orgánicas y partículas, porque se emplea todo el espesor de la arena. Retienen partículas siete veces más pequeñas que el diámetro efectivo de la grava.



Figura 2.15. Conjunto de filtros de grava.

Las pérdidas de carga son de 1 a 3 m cuando están limpios y de 5 a 6 m cuando están sucios. Para conocer el momento en que la limpieza es necesaria, se debe medir la presión antes y después del filtro, para ello se utiliza un manómetro interconectado. Si la diferencia de presión es alrededor del 30 %, se debe proceder al retrolavado. Esto consiste en invertir el flujo del agua dentro del filtro y darle salida al exterior como puede verse en la figura 2.16. . El retrolavado limpia aceptablemente el filtro, sin embargo una vez por temporada, deben abrirse para la remoción manual de sedimentos que el retrolavado no pudo extraer. Asimismo se debe inspeccionar que la grava no haya perdido las características originales

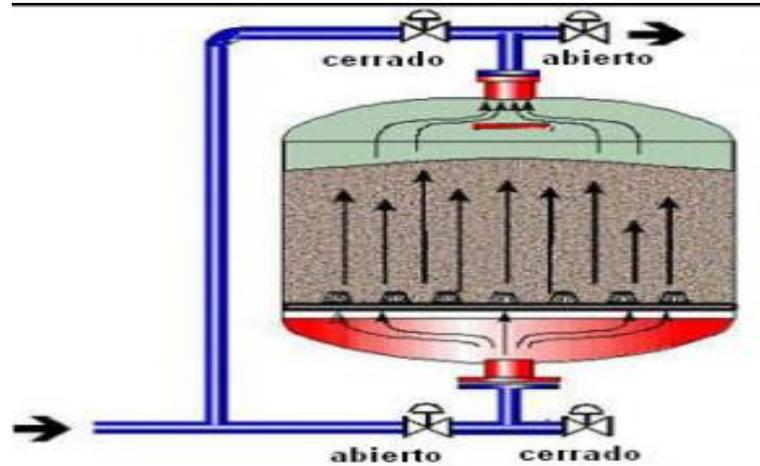


Figura 2.16. Filtro de grava con retrolavado.

Filtros de malla y anillas

El filtro de malla es una carcasa que aloja en su interior un cartucho con malla de diferentes diámetros u orificios. La malla puede ser metálica o plástica. El tamaño del orificio se define por el número de aberturas por pulgada lineal (25,4 mm) lo cual se denomina mesh. Para riego por goteo se recomienda una malla de 140-150 mesh (110-106 micrones) y para microaspersión 100-120 mesh (150-120 micrones).



Figura 2.17. Filtros de malla.

Los filtros de anillas son similares a los de malla, pero el conjunto filtrante está constituido por una serie de discos o anillas con ranuras en ambas caras, que superpuestos forman los conductos de paso del agua. (Fig. 2.18 y 2.19). Su efecto en gran medida es la de limpieza en profundidad como las de grava. Pueden retener gran cantidad de sedimentos antes de obstruirse.

Ambos tipos de filtros tiene una pérdida de carga de 1 a 3 m cuando están limpios y debe procederse a su limpieza con valores de 5 m. La limpieza puede hacerse en forma manual o por retrolavado. Existen también filtros automáticos autolimpiantes.



Figura 2.18. Filtro de anilla armado y desarmado



Figura 2.19. Bateria de filtros de anillas en un cabezal de riego.

2.9.2.3. Unidad de fertilización

Se emplea para inyectar al sistema fertilizantes, ácido clorhídrico, fosfórico, etc. Consiste en dos partes:

El depósito de almacenamiento: Son tanques resistentes a la corrosión, de polietileno, fibra de vidrio o fibrocemento. El tamaño depende de las necesidades del sistema. Por lo general son de 200 a 1000 litros.

La inyección o fertilización: Es realizada por distintos dispositivos para inyectar las soluciones al sistema (Fig. 2.20). Los más usados son:

- Tanque de fertilización.
- Venturi.
- Bombas de inyección.

Tanque de fertilización

Estos tanques van conectados a la tubería con una entrada que se extiende hasta el fondo para mezclar el fertilizante y una salida superior por donde sale la solución fertilizante preparada y que se inyecta a la tubería. Son simples, pero presentan el inconveniente de que la concentración de este disminuye a medida que circula el agua. Se instala en paralelo a la tubería que posee una válvula (tipo exclusiva) entre las conexiones, para producir una diferencia de presión induciendo a la circulación del agua. Producen una pérdida de carga mínima de 3 m.

Inyector Venturi

Es una pieza en forma de T con un estrechamiento que acelera la velocidad del agua provocando una depresión que succiona la solución fertilizante, inyectándola a la tubería. Requiere de una presión mínima de 15 m y representa una pérdida de carga de alrededor del 20 % de la presión del sistema. Por eso, en muchos casos, se requiere de una bomba adicional para que no pierda presión el sistema. Son simples y de costo reducido y de larga duración. El caudal inyectado está en el orden de los 50 a 110 l/hora para un diámetro de $\frac{3}{4}$ ".

Inyección utilizando la bomba del equipo

Es la forma más simple de inyectar fertilizante. Para ello se conecta al tubo de succión (Antes del ingreso a la bomba), otro tubo proveniente de un tanque fertilizador. Con una válvula esférica común se regula la velocidad de inyección de la solución

Bombas hidráulicas.

Estas bombas usan la energía hidráulica para mover sus mecanismos, sin que se produzcan pérdidas de carga. Una de las marcas más conocidas tiene un motor hidráulico que acciona un émbolo y este a su vez succiona e inyecta la solución. En cada embolada inyecta un volumen igual a la cámara receptora. Tiene como inconveniente el cuidado de mantenimiento y un costo elevado.

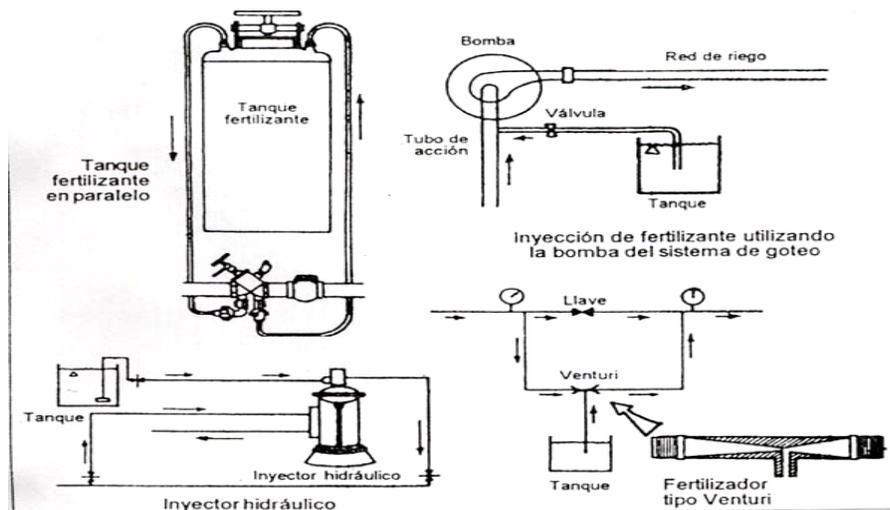


Figura 2.20. Esquema de inyectores de fertilizante.

2.9.2.4. Aparatos de control y medición

Manómetros

El manómetro es un componente importante del sistema ya que permite determinar la presión en los puntos que se desee, tanto en el cabezal como en el campo. En el cabezal es útil poseer un manómetro en forma permanente conectado a una llave de tres vías para seleccionar manualmente el punto de presión que se desee conocer. Por ejemplo a la entrada y salida de los filtros.



Figura 2.21. Manometro de glicerina de hasta 60 bar.

2.9.2.5. Contadores o caudalímetros

Cumplen la función de medir el caudal instantáneo y totalizado y se instala en el cabezal a la salida de los filtros.

2.9.2.6. Controlador de riego

No es absolutamente necesaria la automatización del equipo de riego. Sin embargo presenta ventajas principalmente en instalaciones grandes

- Mejor control de la frecuencia y láminas de riego
- Programación del retrolavado y fertirrigación
- Control de fallas y averías.
- Almacenamiento de datos de riego
- Ahorro de tareas manuales



Figura 2.22. Controlador total de riego.

Los controladores se instalan en el cabezal de riego y manejan las operaciones de riego en forma secuencial. Funcionan con válvulas solenoides conectadas al controlador y a cada válvula de campo por medio de mandos hidráulicos. De esta manera cada válvula inicia y finaliza el riego en función de la orden enviada por el ordenador.

2.9.2.7. Válvulas de control y seguridad

- Válvulas de control: entre éstas podemos encontrar: válvulas check o unidireccionales y válvulas de compuerta.
- Válvulas de seguridad: entre estas se encuentran principalmente una válvula reguladora de presión.

Los dispositivos de seguridad más utilizados son:

- Válvula aliviadora de aire y vacío: Son colocadas en las partes altas del terreno en la tuberías principales subterráneas para desalojar el aire que queda atrapado dentro de ellas y también su función es romper el vacío permitiendo la entrada de aire cuando se para el sistema, también se coloca en la parte terminal de la línea principal, antes de pasar al último cruce divisor.
- Válvula aliviadora de presión: Su función es proteger la línea de conducción principal, de repentinos excesos de presión causados por cierres rápidos de a válvulas. Por lo general siempre se coloca una en cada extremo de la tubería. (Granados, 1990)

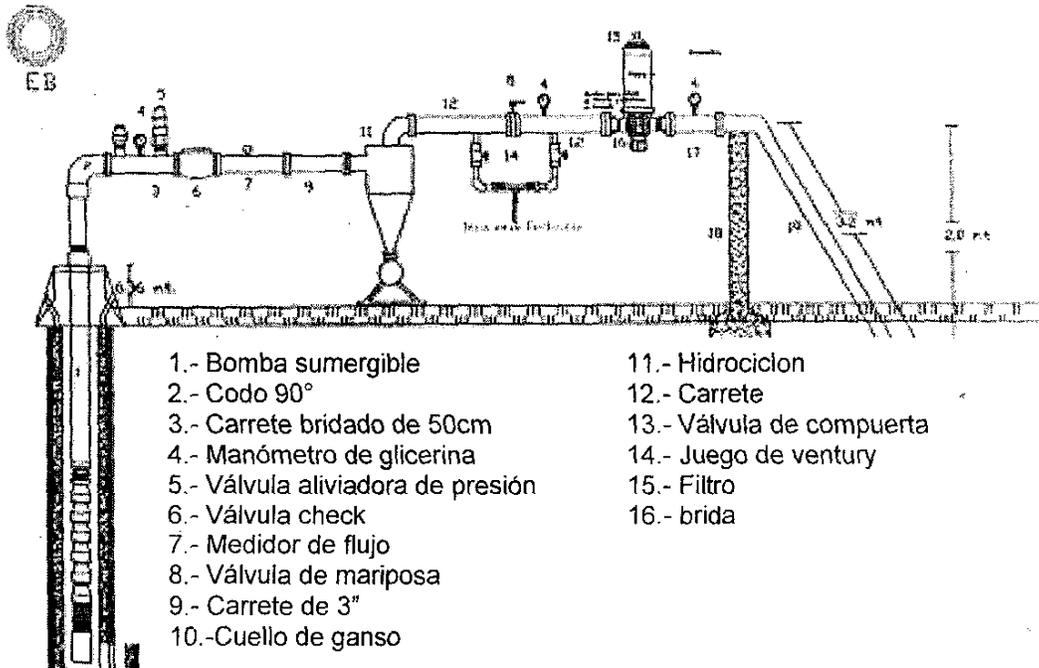


Figura 2.23. Esquema de las partes que conforman un cabezal de riego.

2.9.3. Línea Principal y Subprincipal.

Estas líneas son las tuberías de abastecimiento de agua. La línea principal comienza en la descarga del cabezal de riego y tiene su terminación ya sea en el crucero divisor o en el lugar donde se bifurca dando lugar a dos líneas sub principales.

2.9.4. Cruceros Divisores.

El crucero divisor es el punto de unión entre la tubería principal o subprincipal) y la línea divisoria. Estos cruceros cuentan por lo general con una válvula de paso cuando son sistemas con microaspersores regulados, y de una a tres y/o uno a dos reguladores de la presión en un mismo crucero cuando son microaspersores no regulados en secciones homogéneas continuas. Pueden contar con válvulas volumétricas automatizadas para regular el paso del agua en las cantidades deseadas, una vez aplicada la cantidad de agua deseada, la válvula impide el paso de más líquido y envía una señal al siguiente crucero divisor para que inicie la misma operación; aquí se programa la secuencia del riego.

2.9.5. Líneas secundarias.

Aquí es donde prácticamente se inicia el riego ya que éstas distribuyen el agua a cada una de las líneas regantes esta tubería es de PVC y se colocan en forma subterránea. Se encuentran instaladas perpendiculares a las laterales de riego.

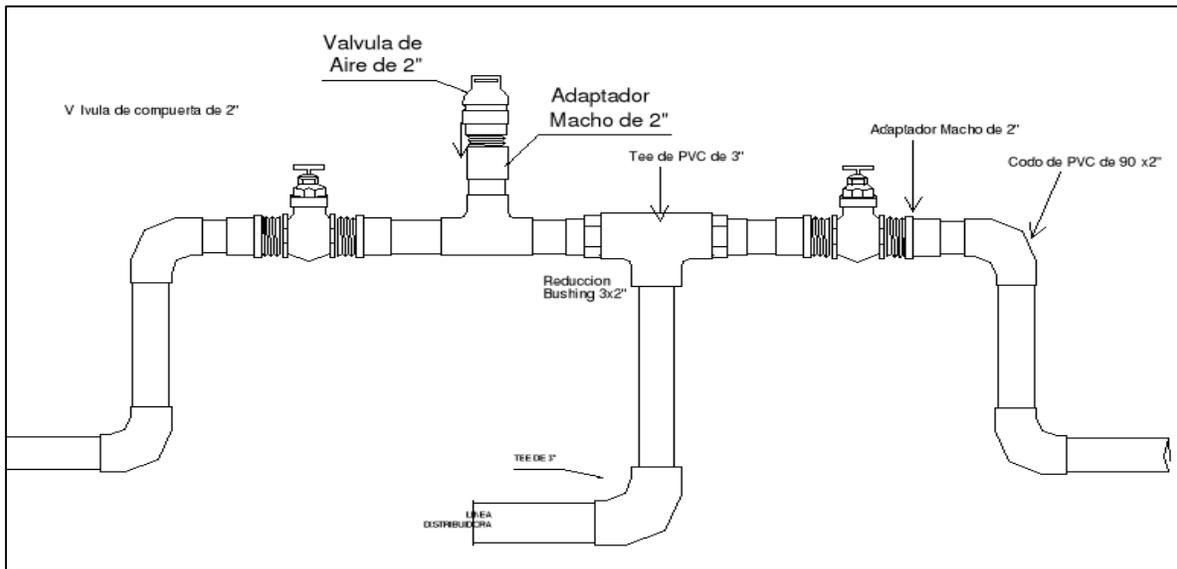


Figura 2.24. Esquema de un manifiesto para válvulas de control y de aire.

2.9.6. Líneas regantes.

Son las líneas que alimentan a los microaspersores, mangueras de polietileno, diámetro más usual es de 16 y 20 mm, debido a la facilidad de manejo y a la instalación de la misma. Se conectan directamente de la línea divisoria y se instalan paralelas a hileras de árboles a irrigar, aproximadamente a unos 30 cm. Del tronco del árbol.

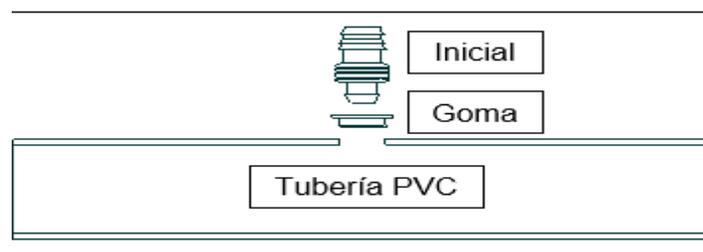


Figura 2.25. Colocación de la inicial al tubo.

2.9.7. Colocación de drenes.

Estos tienen la función de desagüe del agua que está sucia al salir de la tubería y esto es para evitar el tapado de los microaspersores.

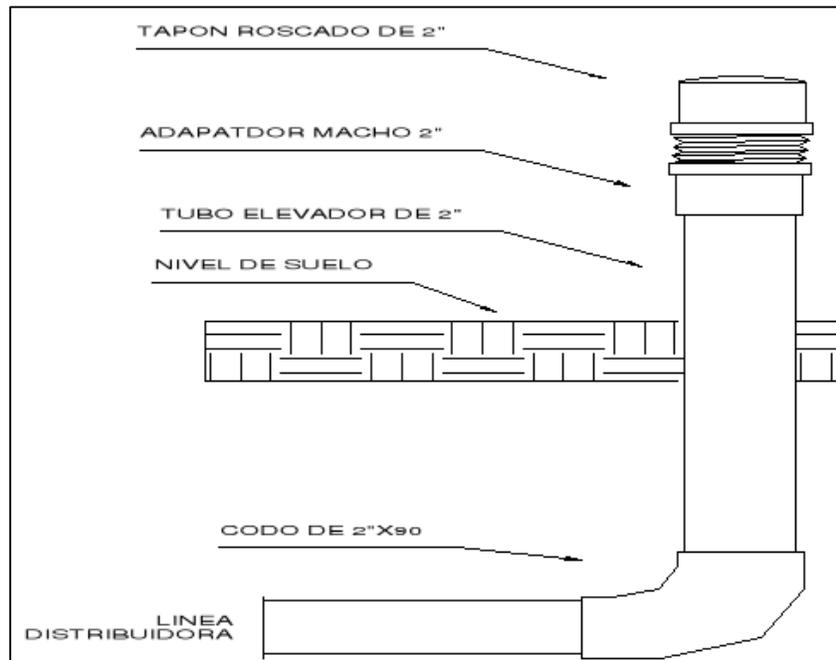


Figura 2.26. Dren de descarga de agua sucia.

2.9.8. Microaspersores.

Los microaspersores son los emisores encargados de distribuir el agua cerca de la base del tronco del árbol, los microaspersores aplican el agua en forma de rocío, ya sea en forma seccional con microjet o en forma circular según se requiera.

2.9.9. Atraques.

Los atraques forman parte de la conducción del sistema de riego, su función principal es de mantener (codos de 25°, 45°, 90°, la Tee, la cruz y el tapón final) en forma estática de modo que cuando el agua esté circulando no se lleguen a desunir, todos los atraques están hechos de cemento y arena.

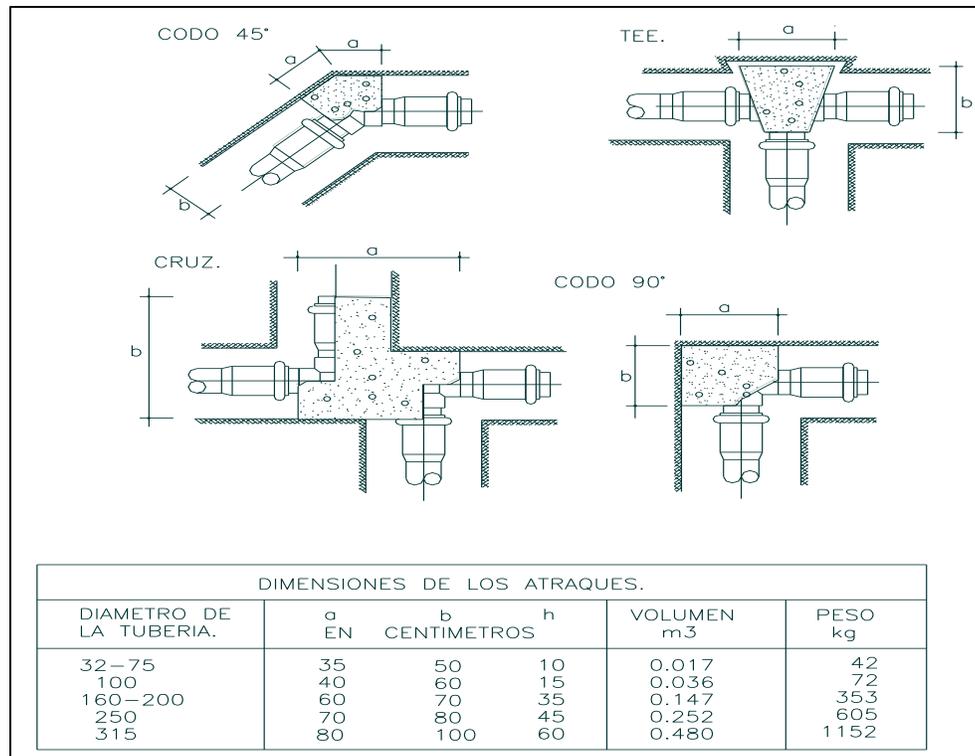


Figura 2.27. Formas de colocación de atraques.

2.10. Ventajas y desventajas del riego por microaspersión

Ventajas

Dentro de las ventajas que presenta este sistema en comparación con los sistemas de aspersión, goteo y gravedad se encuentran las siguientes:

- Es un sistema muy versátil, se adapta a todas las etapas de desarrollo de los frutales.
- Ahorro de agua, fertilizantes, mano de obra y energía.
- Aumento de la producción, mejora de la calidad, uniformidad de los tamaños y adelantamiento de las cosechas.
- Reduce la contaminación de ríos y mares por el uso irracional de los fertilizantes y agroquímicos en general.
- Permite el cultivo en terrenos arenosos y con gran capacidad de filtración.

- Ayuda a una mejor lixiviación y alejamiento de las sales fuera de la zona radicular de la planta.
- Se puede usar para mejorar microclimas dentro de la misma huerta.
- Tiene un amplio uso en riego de invernaderos y en viveros.
- Tiene un control más estricto de malezas, estas malas hierbas sólo crece donde se aplica el agua.
- Tiene uso pecuario (se usa para disminuir la temperatura de porquerizas).
- Ahorro de nivelación de tierras.
- Elimina costes de formación de melgas y cajetes en el terreno.

Desventajas

Entre los principales inconvenientes del sistema de riego por microaspersión se encuentran las siguientes.

- Alto costo inicial.
- Está limitado a determinado número de cultivos y a un determinado número de frutales, ya que en separaciones como de plantaciones de 4x4 y en vid se adapta mejor y es más barato usar riego por goteo.
- Interfiere las labores de cultivo y preparación del terreno una vez establecido el riego.
- Un sistema fijo que está expuesto a averías y a ser destrozadas las mangueras y microaspersores por los animales y aún por el mismo hombre.
- Cuando el sistema se deja de trabajar las boquillas y reguladores de presión se tapan debido a que se llenan de insectos principalmente hormigas.

2.11. Requisitos para proyectos de riego localizado

2.11.1. Datos generales del proyecto

- El proyecto debe incluir la siguiente información:
- Fecha de elaboración del proyecto.
- Nombre del predio.
- Localización (Estado, Municipio, Localidad, Ejido, etc.).
- Nombre o Razón Social de la persona física o moral que requiere el proyecto.
- Nombre o Razón Social de la persona física o moral que realizó el proyecto.
- Firmas y fechas de los responsables de diseño, revisión y autorización.
- Padrón de cultivos (Ciclo(s) de cultivo(s) considerados en el proyecto).
- Fuente(s) de abastecimiento de agua (Superficial o subterránea).
- Superficie proyectada para el sistema de riego.
- Características de operación del sistema propuesto en el proyecto.
- Georeferenciación de la poligonal envolvente y puntos característicos (fuente de abastecimiento, punto pivote, sistema de bombeo, etc.) del sistema de riego proyectado especificando el sistema de coordenadas empleadas.

2.11.2. Información de proyecto

Presentar un resumen ejecutivo que describa la capacidad y operación de los componentes del sistema de riego.

La información necesaria del proyecto debe contener aspectos culturales, del cultivo, del suelo, del clima, de la topografía, de la fuente de abastecimiento, de la calidad del agua.

2.11.3. Diseño agronómico

Arreglo del cultivo en campo.

En el proyecto debe describir y contar con:

- Espaciamiento entre plantas e hileras.
- Tipo de siembra o Marco de plantación (marco real, tresbolillo, voleo, etc.).
- Evapotranspiración real.

El proyecto debe considerar la evapotranspiración diaria máxima.

- Indicando método o referencia.
- Características de operación.
- Periodicidad de riego, horas y días disponibles.
- Intensidad de riego o lámina precipitada horaria en aspersión.
- Tiempo de operación.
- Intervalo de riego.
- Lámina neta o lámina de reposición (para el intervalo crítico).
- Lámina bruta.
- Eficiencia global del sistema.
- Coeficiente unitario de riego.
- Presión y gasto del sistema.
- El tiempo de operación diario considerado en el diseño no debe exceder de 22 hrs o del 90 % del tiempo disponible de suministro de agua.
- Volumen requerido de proyecto por ciclo de cultivo.

En sistemas de riego localizado y en aspersión fija:

- Espaciamiento entre emisores y laterales.
- Número de secciones.
- Presión y gasto por sección.
- Disposición de las secciones (como se distribuyen en la zona de riego).

2.11.4. Diseño hidráulico

Los resultados del diseño del proyecto deben presentar las características hidráulicas de lo siguiente.

- Las variaciones del gasto del aspersor o emisor deben cumplir con la norma mexicana NMX-O-167-SCFI-2001.
- El proyecto debe considerar necesariamente un sistema de medición de flujo, el cual debe cumplir con la norma oficial mexicana NOM-012-SCFI-1994.

- El proyecto debe considerar manómetros o tomas manométricas en puntos que permitan controlar la operación adecuada del sistema.
- Tubería de conducción (identificación del tramo, longitud, diámetro interno, gasto o velocidad, pérdida de carga, nivel piezométrico).
- Componentes del cabezal de riego.
- Datos de los componentes de la carga del sistema.
- Carga hidráulica y gasto del sistema de riego.

En sistemas de riego localizados:

- Laterales y portlaterales (número de salidas, diámetro interno, presión requerida aguas abajo de la válvula de seccionamiento).
- Presión requerida aguas abajo de las válvulas de seccionamiento o unidad de control.
- Emisores (presión y gasto de trabajo).
- Los emisores seleccionados deben tener un coeficiente de variación de acuerdo a lo indicado en la norma mexicana NMX-E-225-CNCP-2009.
- Accesorios y válvulas de seccionamiento.

2.11.5. Diseño electromecánico

- Cálculo del equipo de bombeo.
- Presentar la carga dinámica total desglosada.
- Carga neta de succión positiva en bombas centrífugas (CNSP o NPSH).
- Gasto utilizado en la selección del equipo de bombeo.
- Tipo de bomba.
- Curva de selección.
- Caudal y presión en la descarga.
- Eficiencia electromecánica del sistema de bombeo.

- Diámetros de succión y de descarga (cuando aplica);
- Potencia y velocidad del motor, y
- Capacidad del transformador, cuando aplica.
- Instalaciones eléctricas y mecánicas:
- Las características eléctricas y mecánicas para la selección e instalación del sistema y equipo de bombeo, con sus cálculos en su caso, deben estar de acuerdo con las normas oficiales mexicanas NOM-001-ENER-2000 y NOM-006-ENER-1995.
- Deben considerarse las características de las instalaciones eléctricas relacionadas con el suministro de energía eléctrica y las protecciones necesarias para la operación segura del equipo de bombeo, atendiendo la seguridad de los usuarios y se debe describir la selección y cálculos de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-001 SEDE-2005.

2.12. Evaluación de la Uniformidad de Emisión (Eu%)

Keller y Karmeli (1975), definen la uniformidad de emisión como la razón de la descarga mínima del emisor entre la descarga promedio, expresada en porcentaje. Para alcanzar una mejor uniformidad los emisores deben cumplir los siguientes requisitos, proporcionar un gasto constante y uniforme, el cual no debe variar significativamente con diferencias menores de presión; Presentar una sección transversal suficientemente amplia para reducir los problemas de obstrucción; Ser compacto y fabricado con una baja variabilidad de manufactura.

Tarjuelo *et al.* (2010), exponen que la Uniformidad de Emisión (Eu%) es útil como indicador de la previsión de la variación de los caudales a lo largo de una línea regante o de un bloque de riego. Esta expresada por la siguiente ecuación:

$$\%UE = 100 \left(\frac{1.27 * CV}{\sqrt{n}} \right) \left(\frac{q_{min}}{q_{med}} \right)$$

% UE = Uniformidad de la emisión para el diseño en por ciento.

CV = Coeficiente de variación tecnológica (3.5).

n = número de emisores por planta, se asume dos microaspersores por planta.

q min =Caudal mínimo (lph).

q med =Caudal medio (lph).

2.13. Gradiente Hidráulico

Muñoz, (2004), comenta que es la pérdida de carga o energía experimentada por unidad lineal de longitud recorrida por el agua. Es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico, por unidad de longitud media en el sentido del flujo del agua.

$$G.H. = \frac{H}{R}$$

Donde:

G.H: Gradiente Hidráulico (adimensional).

H: Carga (m).

R: Recorrido (m).

En un sistema de riego los caudales del bloque no son los mismos en todos los emisores, debido a que existen diferencias de presiones a las que se encuentran sometidos, que dependen de los desniveles topográficos y las pérdidas de carga en la red de riego. En una subunidad de riego rectangular y sin pendientes, el esquema de presiones se describe como la Figura 2.28, que expresa el gradiente hidráulico de una subunidad de riego, donde: $H_o = H_{max}$ es la presión al inicio del campo en la distribuidora; q_{max} es el máximo caudal de un emisor en el campo de riego; h_o es la presión al inicio del lateral situado en el punto de presión media de la distribuidora; h_m es la presión media de todo los emisores del campo; q_m caudal medio; h_{min} es la presión mínima de un emisor; q_{min} caudal mínimo de un emisor.

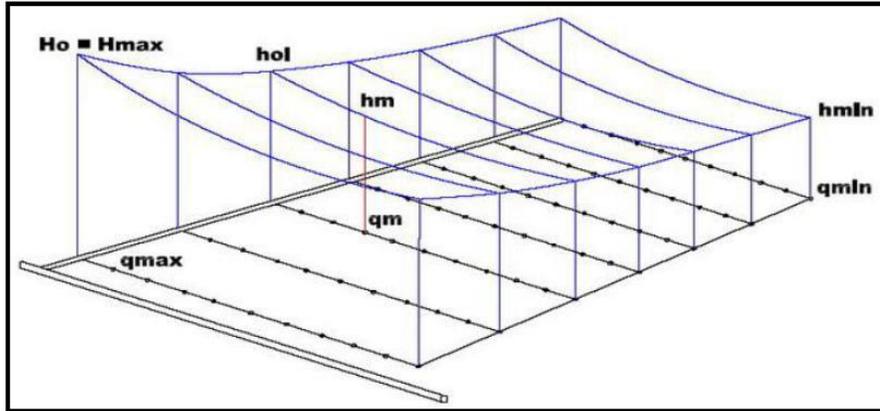


Figura 2.28. Distribución de cargas en una subunidad de riego.

2.14. Método del Elemento Finito

Según Celigüeta (2011), el Método de los Elemento Finito (MEF) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas. El MEF se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. La variedad de problemas a los que puede aplicarse ha crecido enormemente, siendo el requisito básico que las ecuaciones constitutivas y ecuaciones de evolución temporal del problema a considerar sean conocidas de antemano. Hasta la llegada del MEF, los sistemas continuos se abordaban analíticamente, pero por esa vía sólo es posible obtener solución para sistemas con geometría muy sencilla, y/o con condiciones de contorno simples. También se han utilizado técnicas de diferencias finitas, pero éstas plantean problemas cuando los contornos son complicados.

El MEF es una poderosa herramienta de cálculo que se aplica en ingeniería para emboquillar una tubería pivote, por ejemplo o para predecir las curvas de avance y recesión en riego por superficie, también se aplica en el cálculo del tiempo de estabilización de residuos arrastrados por una corriente de agua y para estimar los gastos escurridos.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar y fecha de establecimiento

El levantamiento de datos se realizó en huertas aledañas al municipio de Tuxpan Jalisco México. Dicha localidad se localiza en la parte sureste de Jalisco. Las coordenadas geográficas son Latitud: 19° 34' 36" N, Longitud: 103° 27' 18" W y una altitud de 1023 msnm. Y la prueba de los microaspersores se llevó a cabo en el jardín hidráulico que se ubica en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

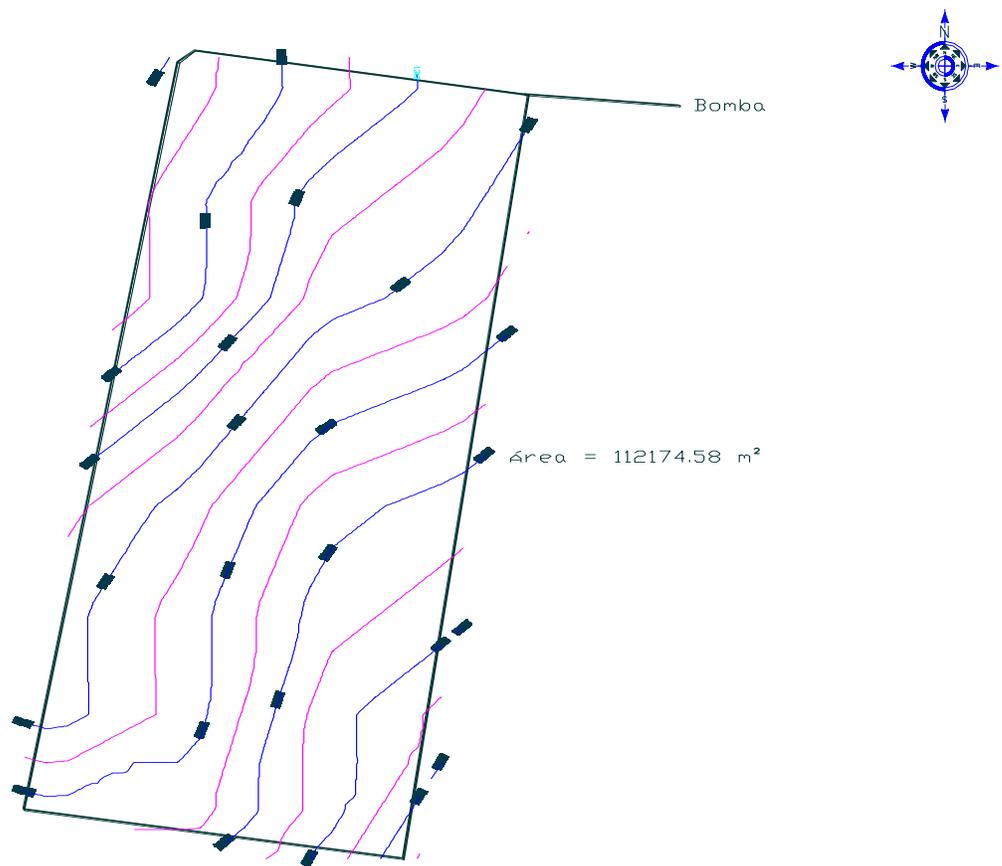


Figura 3.1. Polígono de la huerta 1.

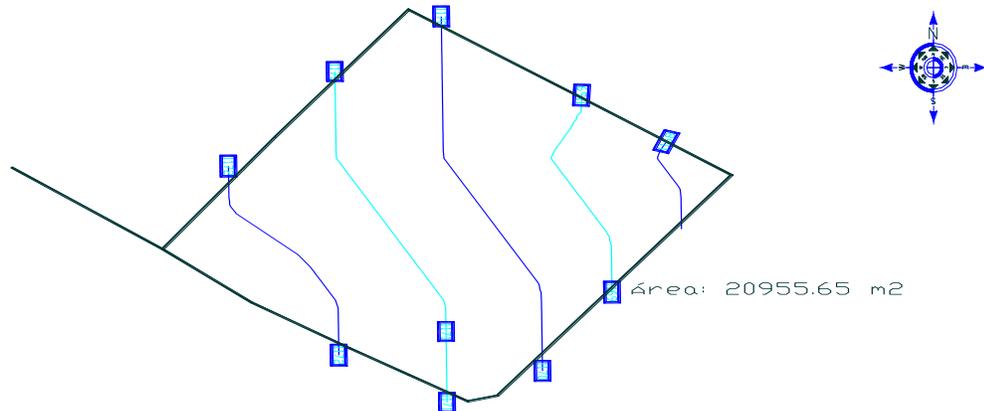


Figura 3.2. Polígono de la huerta 2.

El polígono de la huerta 1 tiene un área de 112174.58 m² y el polígono de la huerta 2 tiene un área de 20955.65 m² ambos dibujos fueron realizados mediante un levantamiento de puntos en campo con GPS, donde se tomaron las coordenadas geográficas en UTM (Universal Transversal de Mercator) para su descarga en el software AutoCAD para la realización del área de dibujo y el diseño del sistema de riego por microaspersión.



Figura 3.3. Ubicación del jardín hidráulico.

En la figura 3.3 se muestra donde se realizó la prueba de los microaspersores Netafim SuperNet SRD con deflector.

3.2. Características de los huertos

3.2.1. Marco de plantación y microaspersores utilizados

Se estableció en ambas huertas plantas de aguacate de la variedad Hass espaciados entre plantas de 4 m y entre hileras de 6 m, con una textura de suelo franco arcilloso. Los arboles de la huerta 1 se regaron con un sistema de riego por microaspersión con dos emisores por planta con un gasto de 30 l/h. Mientras que en la huerta 2 se establecieron dos emisores por planta con un gasto de 20 l/h, como se muestra en la figura 3.4. Colocando un microaspersor cuando la planta está en crecimiento y agregar posteriormente el otro cuando dicha planta ya este grande. En ambos huertos se establecieron los microaspersores Netafim SuperNet SRD con deflector.



Figura 3.4. Planta de aguacate con dos microaspersores.

3.2.2. Topografía y fisiografía

La huerta 1 tiene pendientes de N-S de 1.58% y de E-O 3.20% y la huerta 2 tiene pendientes de NO-SE de 1.49% y de SO-NE de 0.66% esto de acuerdo a las curvas de nivel obtenidas en el plano.

3.2.3. Clima

El clima es semiseco con primavera e invierno secos, semicálidos sin estación invernal definida. La temperatura media anual es de 21.5°C, y tiene una precipitación media anual de 785.4 milímetros, con régimen de lluvia en los meses de julio a octubre. Los vientos dominantes son de dirección noreste y oeste. El promedio de días con heladas al año es de 1.3.

3.3. Materiales, equipos y utilizados

- GPS se utilizó para obtener las coordenadas de todo el perímetro de las huertas.
- Polígono de las huertas de estudio.
- Software de diseño regacad.
- Formato de registro de campo.
- Microaspersores completos para la prueba de la descarga a diferentes presiones en campo.
- Manguera ciega de 20 mm para la prueba en campo.
- Perforadora para manguera.
- Manómetro utilizado para medir el rango de presiones en la parte final de la línea lateral.
- Una probeta graduada de 1000 ml.
- Válvula de paso se utilizó para la regulación del gasto y la presión en la línea lateral.
- Cronómetros: se usó para tomar el tiempo del aforo en minutos.

3.4. Aforación de los microaspersores



Figura 3.5. Microaspersores conectados en la línea lateral.



Figura 3.6. Lectura del manómetro al final de la línea.

En la figura 3.5 se aprecia la línea lateral tendida con los microaspersores que fueron aforados a diferentes presiones tal y como lo marcaba el manómetro en pies al final de la línea figura 3.6.



Figura 3.7. Microaspersor en funcionamiento con deflector.



Figura 3.8. Aforación del microaspersor.

En la figura 3.7 se observa el microaspersor Netafim SuperNet SRD con deflector boquilla color café en funcionamiento y en la figura 3.8 se llevó a cabo el proceso de aforación que se hizo en cada microaspersor con tres repeticiones, registrándose en la bitácora el tiempo en el que se obtenía el volumen de 1000 ml de la probeta graduada.

3.5. Recopilación de datos para las dos huertas

El desarrollo de la presente investigación, se basó en un análisis detallado de información, procediendo a caracterizar todos los aspectos de agua, suelo, clima y cultivo, necesarios para realizar las fases del proyecto de riego en ambas huertas como lo marcan los cuadros.

Cuadro 3.1. Datos para diseño de la huerta 1 y 2.

I. Proyecto	Microaspersión	Microaspersión
II. Agua y Tierra		
Superficie de campo, A	11.22 ha	2.09 ha
Caudal disponible, Q	26 lps	10 lps
III. Suelo y cultivo		
Textura del suelo	Franco arcilloso	Franco arcilloso
Capacidad de agua disponible, HA	170 cm/m	170 cm/m
Profundidad de suelo	0.80 a 1.50 metros	0.80 a 1.50 metros
Limitaciones del suelo		
Deflexión permitida de humedad, α en %	30%	30%
Cultivo y variedad	Aguacate Hass	Aguacate Hass
Espaciado entre árboles y entre hileras	4 x 6	4 x 6
Profundidad de las raíces	1.3 m	1.3 m
Porcentaje de área sombreada	60 %	60 %
Evapotranspiración pico, etc. mm/día	5 mm/día	5 mm/día
IV. características del emisor		
Tipo de emisor seleccionado	Microaspersor SuperNet SRD boquilla color cafe	Microaspersor SuperNet SRD boquilla color morada
Salidas por emisor	1	1
Carga de presión de referencia	15 a 40 mca	15 a 40 mca
Descarga nominal	30 LPH	20 LPH
Exponente de descarga, x	Compensado	Compensado
Coefficiente de variación de manufactura, v	3.5 %	3.5 %
Coefficiente de descarga, K	30	20
Pérdida de carga equivalente del conector		
Tamaño de apertura del emisor		
Ancho del bulbo o diámetro de mojado	2 m	2 m
Filtración requerida del agua	120 mesh	120 mesh
V. Características de la manguera regante		
Diámetro interno	18 mm	18 mm
Separación entre los emisores	2 m	2 m
Longitud máxima recomendada		
Uniformidad de la emisión, UE de diseño	90 %	90 %
Variación permitida de carga, AHs	22 mca	22 mca
Gradiente hidráulico en las laterales		
Gradiente hidráulico en los manifoles		

3.5.1. Datos del cabezal de riego

Para ambas huertas estaba el cabezal de riego existente describiéndolo de la siguiente manera, para la huerta 1 se contaba con una bomba sumergible de 26 lps y una presión de 6 kg/cm², un sistema de filtrado con tanques de arena e inyector tipo Venturi como se muestra en la figura 3.9.

Para la huerta 2 se contaba con una bomba centrífuga de 10 lps y 5 kg/cm², un sistema de filtro de discos e inyector tipo Venturi, para agregar el fertilizante al sistema como se aprecia en la figura 3.10.

Contando en los dos cabezales de riego con válvulas aliviadoras de presión, con la intención de regular la presión en el sistema.



Figura 3.9. Cabezal de riego huerta 1.



Figura 3.10. Cabezal de riego huerta 2



3.6. Diseño agronómico

En esta parte se procedió a desarrollar los siguientes pasos:

3.6.1. Cálculo de las necesidades netas diarias de agua o riego para las plantas de aguacate.

Se consideraron los datos del clima registrados por la Estación meteorológica de Tuxpan Jalisco, así como a las características agronómicas del aguacate, determinando el requerimiento hídrico o necesidades netas de agua diarias que se deben aplicar.

Cuadro 3.2. Observaciones meteorológicas por mes del año 2015 registradas en la Estación Meteorológica de Tuxpan Jalisco.

Meses	Temperatura		Precipitación	HR	Insolación	Vel. Viento
	Máxima	Mínima				
	(°C)	(°C)	(mm)	(%)	(Hr)	(m/s)
Enero	27.38	8.94	2.4	58.38	7.79	5.0
Febrero	28.64	8.7	0	56.09	7.28	6.6
Marzo	29.22	10.6	0	56.68	8.41	5.6
Abril	31.44	11.77	0.2	52.84	8.51	8.8
Mayo	31.12	14.38	9	55.77	9.11	9.4
Junio	29.12	17.46	186	75.24	8.97	9.7
Julio	27.83	16.96	174.4	80.18	9.2	8.4
Agosto	27.12	16.79	194.8	81.19	8.92	9.1
Septiembre	27.1	16.46	98.6	83.37	8.28	7.0
Octubre	27.31	16.32	144	79.94	8.19	5.9
Noviembre	26.87	12.98	26.6	73.39	7.63	5.2
Diciembre	25.42	8.87	4	64.45	7.71	8.2
Total	338.57	160.23	840	817.52	100	88.86
Promedio	28.21	13.35	70	68.13	8.33	7.41

Utilizando el software Cropwat (crop = cultivo; wat = agua) un programa creado por la FAO que utiliza el método de Penman-Monteith, se procedió a determinar la evapotranspiración referencial para la región de Tuxpan, donde se introdujeron datos del clima así como: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad de viento y horas sol. Los valores del coeficiente de cultivo (Kc) para el aguacate han sido obtenidos de tablas propuestas por la FAO y escogidas tomando criterios específicos para cada caso.

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith Mensual' software interface. The input fields are: País: Mexico, Estación: Tuxpan Jalisco, Altitud: 1045 m., Latitud: 19.34 °N, and Longitud: 103.20 °E. Below these fields is a table with 8 columns: Mes, Temp Min (°C), Temp Max (°C), Humedad (%), Viento (m/s), Insolación (horas), Rad (MJ/m²/día), and ETo (mm/día). The table lists data for each month from Enero to Diciembre, along with a Promedio (Average) row.

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	8.9	27.4	58	5.0	7.8	16.5	5.11
Febrero	8.7	28.6	56	6.6	7.3	17.6	6.26
Marzo	10.6	29.2	57	5.6	8.9	21.8	6.43
Abril	11.8	31.4	53	8.8	8.7	22.7	8.48
Mayo	14.4	31.1	56	9.4	10.6	25.9	8.57
Junio	17.5	29.1	75	9.7	11.8	27.5	6.32
Julio	17.0	27.8	80	8.4	14.4	31.4	5.85
Agosto	16.8	27.1	81	9.1	17.5	36.0	5.98
Septiembre	16.5	27.1	83	7.0	8.9	22.1	4.42
Octubre	16.3	27.3	80	5.9	8.7	20.0	4.32
Noviembre	13.0	26.9	73	5.2	10.6	20.4	4.56
Diciembre	8.9	25.4	64	8.2	11.8	20.7	5.39
Promedio	13.4	28.2	68	7.4	10.6	23.5	5.97

Figura 3.11. Cálculo de la evapotranspiración de referencia mediante el programa Cropwat.

Con el producto de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente del cultivo de las plantas de aguacate se determinó el consumo de agua que viene a ser la evapotranspiración real así como lo muestra el siguiente cuadro 3.3.

	Evapot. De	evapot. De	Coeficiente	Evapotranspiracion
Meses	referencia	referencia	de cultivo	real del cultivo
	(Eto)	(Eto)	(Kc)	(mm/dia)
	(mm/mes)	(mm/dia)		
Enero	158.41	5.11	0.4	2.044
Febrero	175.28	6.26	0.5	3.13
Marzo	197.47	6.37	0.55	3.5035
Abril	253.8	8.46	0.55	4.653
Mayo	259.78	8.38	0.6	5.028
Junio	177.9	5.93	0.65	3.8545
Julio	158.41	5.11	0.65	3.3215
Agosto	149.73	4.83	0.65	3.1395
Septiembre	129.9	4.33	0.6	2.598
Octubre	131.75	4.25	0.55	2.3375
Noviembre	127.8	4.26	0.55	2.343
Diciembre	159.03	5.13	0.5	2.565
Promedio	173.3	5.7	0.6	3.2

3.6.2. Determinación de las necesidades diarias de agua por árbol

Después de haber obtenido la evapotranspiración real que se presenta en la región de Tuxpan Jalisco, se calculó los litros/día/árbol que la planta de aguacate necesita en el periodo de máxima demanda.

$$NDP = \frac{A * Etc}{UE * 9}$$

Donde:

NDP: necesidad diaria de agua para un árbol (litros/día).

A: área de sombreado del árbol (m²).

Etc: evapotranspiración del cultivo en el periodo de máxima demanda (mm/día).

UE: uniformidad de emisión (decimales).

3.6.3. Tiempo de operación del riego

$$T_o = \frac{NDP * IR}{NE * q}$$

Donde:

To: tiempo de operación por unidad de riego (hrs).

NDP: necesidad diaria de agua para un árbol (litros/día).

IR: intervalo de riego de 1 día.

NE: número de emisores por planta (adimensional).

q: gasto del emisor (l/hr).

3.7. Análisis del diseño Hidráulico

Con el diseño hidráulico se determinó el dimensionamiento y toda la red de tuberías (primarias, secundarias y laterales) que lo componen, adecuándose a las características de los microaspersores para su buen funcionamiento, realizándolo con el software RegaCad.

Para tal efecto, se utilizó criterios de diseño preestablecidos, se calcularon las pérdidas de carga utilizando la fórmula de Hazen - Williams extraídas, para las diferentes combinaciones de diámetros y longitudes de tuberías considerando el factor de fricción según el tipo de material que se está utilizando.

Cuadro 3.3. Valores del factor de fricción de Hazen - Williams según el tipo de material.

Material	Factor de fricción
Policloruro de vinilo	150
Polietileno de alta densidad	140

3.7.1. Simulación del gradiente hidráulico por medio del método del elemento finito

El método empleado es el método del elemento finito, donde se aplicó a una rutina que se realiza con datos tomados del diseño realizado, donde se utilizó principios hidráulicos, teoremas y ecuaciones siguientes: Fórmula de Hazen-Williams; Fórmula de Darcy-Weisbach; Ecuación del Emisor; Teorema de Bernoulli.

Datos empleados para el modelo del MEF

Para conocer el comportamiento hidráulico en la línea regante por el método del elemento finito, fueron necesarios los siguientes datos de entrada, diámetro interno de la manguera, ID en mm; Separación entre los emisores, Se en m; Desnivel topográfico en cada tramo Az en m, siendo - si es descendente y + si es ascendente; Número total de rociadores Ne dispuestos en la longitud completa de la línea regante; Coeficiente K del emisor calibrado para obtener el gasto del microaspersor en LPH ingresando la

carga del emisor; Carga de presión H_n para el ultimo emisor en m. donde la H_n es propuesta por el diseñador considerando el escenario.

Para el análisis hidráulico en la línea distribuidora telescopeada por el método del elemento finito, los datos de entrada necesarios fueron los siguientes: Diámetro real interno de la tubería para cada telescopeo, ID \varnothing (mm); espaciado de las líneas regantes, SI (m); Factor C de Hazen para la tubería; Coeficiente de fricción $K\varnothing$, para Hazen-Williams; exponente de carga del emisor (x), Coeficiente de gasto K, Desnivel topográfico por tramo telescopeado a lo largo de la línea distribuidora Az en m.

Una vez teniendo estos datos se procedió a realizar la simulación del gradiente hidráulico en la línea regante y la línea distribuidora por el método elemento finito.

Simulación de la línea regante

Después de tener los datos, se programó una plantilla de Excel para el primer bloque, para obtener el gradiente hidráulico en una línea regante en esta plantilla se introdujeron las ecuaciones, teoremas y principios antes mencionados. En el cuadro 3.5 se presenta la plantilla para hacer el cálculo del gradiente hidráulico de la línea regante.

Cuadro 3.4. Plantilla de Excel para el análisis del gradiente hidráulico de una línea regante.

	A	B	C	D	E	F
1	Número de microasp.	Gasto de la línea lateral (lph)	Gasto del emisor (lph)	Pérdidas por fricción (m)	Desnivel cada tramo (m)	Carga del emisor (m)
2	0					
3	1					
4	2					
5	3					
6	4					
..	..					
31	29					
32	30					
33	31					
34	32	0				H_n

Los pasos que se llevaron a cabo para realizar el análisis del gradiente hidráulico de la línea regante fueron los siguientes: El método aplicado se le conoce como el método del paso hacia atrás, donde al estar proponiendo cargas al final de la última lateral se puede predecir la carga a la entrada del bloque de riego y a su vez también el gasto de entrada en dicho bloque.

- Se introdujo la carga a la última línea regante H_n empezando con el último emisor F34 y aplicando la ecuación del emisor se calculó el gasto, para la celda C34 hasta el primer emisor. La ecuación del emisor:

$$Q = H * K^x$$

Dónde:

Q = caudal del emisor (LPH).

K= coeficiente de descarga (adimensional).

H= presión a la entrada del emisor (mca).

x= exponente de descarga (adimensional).

- Se escribió un 0 en la línea lateral en la celda B34.
- Se obtuvo el gasto que lleva la línea regante al pasar por los emisores (Q entrada), en la celda B33, se le sumó al gasto de la línea regante B34 + el gasto calculado del emisor C34.
- Se determinaron las pérdidas de carga (H_f) por tramo debido a la fricción aplicando la ecuación de Hazen-Williams.

$$H_f = \frac{1.21 \times 10^{10} * Q^{1.852}}{D^{4.87} * C^{1.852}} * L$$

Dónde:

Q: es el gasto a la entrada de la regante (LPS).

L: la longitud entre cada emisor (m).

D: diámetro interno ID de la línea regante (mm).

C: coeficiente de rugosidad del polietileno de 150.

En las celdas D34:D2 se capturó la fórmula, el Q ocupado fue el de la columna B34:B2, dividido en 3600 para convertirlos en lps, los demás datos ocupados fueron de las características de la línea regante.

- Se calculó la carga en metros en cada emisor, aplicando el teorema de Bernoulli, sumando a la carga de la ultimo emisor Hn, la perdida de carga que existe en ese recorrido, el resultado de eso se le suma la pendiente del desnivel del emisor, empezando en la celda F34: hasta la F2. Este mismo proceso se aplicó para la huerta 1 y 2.

Simulación de la línea distribuidora

Para obtener el análisis hidráulico de la línea distribuidora (manifold), el método aplicado se le conoce como el método del paso hacia atrás, donde al poner la carga al final de la última lateral, se puede predecir la carga a la entrada del bloque de riego y a su vez también el gasto de entrada en dicho bloque, de igual forma se evaluó para el bloque 1.

Cuadro 3.5. Plantilla de Excel para el análisis hidráulico de la línea distribuidora telescópica.

	A	B	C	D	E	F	G
1	No. de lateral	Gasto de la línea distribuidora (lph)	Gasto de la línea regante (lph)	Diámetro ID (mm)	Desnivel cada tramo (m)	Perdidas por fricción (m)	Carga de la lateral (m)
2	0						
3	1						
4	2						
5	3						
6	4						
..	..						
29	27						
30	28						
31	29						
32	30						
33	31	0				0	Hn

Los siguientes pasos fueron aplicados para el análisis hidráulico de la línea distribuidora telescopeada.

- Se introdujo la carga en la última línea regante (H_n), en la celda G33. Se escribió un 0 para el gasto de la tubería distribuidora, en la celda B33.
- En la celda C33 que es el gasto de la línea regante, se obtuvo de acuerdo al resultado de la simulación anterior.

$$Q_L = \left(\frac{Q_o}{H_o}\right) * (H_n)^x$$

Donde:

Q_L : gasto de la línea regante (lph).

Q_o : gasto al inicio de la línea regante (lph).

H_o : carga al inicio de la línea regante (mca).

H_n : carga la ultima línea regante (mca).

x : exponente de descarga el emisor (adimensional).

- El cálculo del gasto de la línea distribuidora se obtuvo sumando el gasto calculado de la última regante, más el gasto que llevaba la línea distribuidora a la última regante en este caso 0, es decir en la celda $B32 = B33 + C33$.
- La pérdida de carga en la línea distribuidora (h_f) fue calculada con la ecuación de Hazen-Williams por tramo telescopeado:

$$H_f = \frac{1.21 \times 10^{10} * Q^{1.852}}{D^{4.87} * C^{1.852}} * L$$

Donde:

L = es la separación entre las línea regantes, que son de 6 metros para todas las dos huertas.

Q = es el gasto que lleva la línea distribuidora dividida por 3600.

En las celdas F33:F2 se capturó la fórmula, el gasto ocupado fue el de las celdas B33:B2, nos dará un valor de 0 en la celda F33 debido a que ahí se encuentra la última salida de la lateral, así como incluir en la formula el diámetro interior ID correspondiente a los tramos telescopados en la línea distribuidora en las celdas D33:D2.

- Por último se determinó la carga a la entrada de la cada línea del regante, sumando la carga de la última línea regante Hn, la pérdida de carga que existe en ese tramo, el resultado de eso se le resta la pendiente del desnivel de la tubería distribuidora. Empezando de la celda G32 hasta la G3.

3.8. Cálculo de la Uniformidad de Emisión (Eu%)

La uniformidad de emisión esta expresada en porcentaje, de la relación que existe de la descarga del emisor en la cuarta parte más baja de los datos observados, con respecto a la descarga promedio de todos los datos dentro del bloque de riego, así como los datos del C.V. y el número de emisores por planta, y que esta expresada por la siguiente ecuación de Karmeli-Keller (1975):

$$\%UE = 100 \left(1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{n}} \right) \left(\frac{q_{min}}{q_{med}} \right)$$

Mediante una matriz se obtiene el valor de la cuarta parte de los gastos calculados y el promedio de todos los datos.

3.9. Metodología para Cálculo de Variación de Carga Permissible.

Para el cálculo de la longitud máxima de una manguera con microaspersores integrados se utilizó el programa Excel 2013 utilizando la caída o variación de carga permissible para condicionar la función objetivo.

Calculo de la caída de carga permissible (Δh_s permissible) aplicando la ecuación anterior:

$$\%UE = 100 \left(\frac{1.27 * CV}{\sqrt{n}} \right) \left(\frac{q_{min}}{q_{med}} \right)$$

Despejando la relación “**qmin/qmed**” obtenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{q_{min}}{q_{med}} = \left(\frac{\%UE}{1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{n}}} \right)$$

En la cual:

$$\frac{H_{min}}{H_{med}} = \left(\frac{q_{min}}{q_{med}} \right)^{\frac{1}{x}}$$

H min = Carga mínima.

H med = Carga media o de referencia.

X = Exponente de descarga de emisor.

Obtenemos que:

$$\text{Carga minima} = H_{med} \left(\frac{q_{min}}{q_{med}} \right)^{\frac{1}{x}}$$

$$\Delta h_s \text{ permissible o tolerable} = 2.5(H_{med} - H_{min})$$

Obteniendo como resultado la ecuación para determinar la carga permisible H min:

$$H_{min} = H_{med} \left(\frac{\%UE}{1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{n}}} \right)^{\frac{1}{x}}$$

Determinando la variación de carga permisible repartida por la proporción de un 55% en la lateral de riego y un 45% en la línea distribuidora.

$$\Delta L_r = \frac{\Delta h_s}{.55} \quad y \quad \Delta L_d = \frac{\Delta h_s}{.45}$$

3.10. Determinación de la longitud máxima de la línea regante

La variación de carga (Δh_s permisible) se obtuvo aplicando la ecuación de Karmeli-Keller (1975): la ecuación de Hazen-Williams y cálculo del desnivel a través de las curvas de nivel en el plano.

Se calculó la pérdida de carga (H_f) en la línea regante con la ecuación de Hazen-Williams:

$$K\varphi = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87} \times C^{1.852}}$$

Donde:

D: diámetro interno de la manguera (mm).

C: coeficiente de rugosidad del polietileno que es 150.

$$H_f = K\varphi * \left(\frac{L * \left(\frac{Q}{3600} \right)}{Se} \right)^{1.852} * L * 0.351$$

Obteniendo una ecuación más simplificada al despejar (L) de la ecuación anterior

$$Hf = (K\varphi * 0.351) * \left(\frac{Q}{Se*3600}\right)^{1.852} * L^{2.852}$$

Donde:

Hf: Pérdida de carga en la línea (mca)

Q: gasto del emisor (lph).

Se: separación del emisor (m).

L: longitud de la línea regante (m).

Obteniendo así la variación de carga de la línea regante que es fricción más desnivel:

$$\Delta H_{LR} = Hf + \frac{\%S * L}{100}$$

Donde:

ΔH_{LR} : Variación de carga en la línea regante (adimensional).

L: longitud de la línea regante (m).

%S: pendiente del terreno (%).

El procedimiento anterior puede ser aplicado al diseño de líneas regantes tendidas con pendiente, de tal modo que la línea lateral ascendente es más corta que la línea lateral descendente en una sección con pendiente.

3.10.1. Plantilla en Excel para el cálculo de la longitud máxima a través de la función objetivo

Para el cálculo de la longitud máxima fue necesario tener los siguientes datos como lo marca el cuadro 3.7 y posteriormente se hizo la ejecución de la función objetivo.

Cuadro 3.6. Plantilla en Excel para el cálculo de la Lmax.

Gasto emisor (lph)	Diámetro ID (mm)	Sep. Emisor (m)	%S Pendiente	Factor $K\theta$	Hf (mca)	ΔH_{LR} (mca)	L max (m)

Para la obtención de la longitud máxima de la línea regante en esta plantilla se introdujeron las ecuaciones, teoremas y principios antes mencionados.

3.10.2. Pasos para la Ejecución de Función Buscar Objetivo.

Una vez obtenidos los datos, se realizó los cálculos pertinentes para la obtención de las longitudes máximas con pendiente, estimando en la rutina previamente los siguientes valores:

Se utilizó la función Buscar objetivo que permite obtener el valor para la variable “Lmax” realizando automáticamente las iteraciones hasta obtener un valor deseado de “Lmax”. El valor deseado en este caso es longitud máxima.

Esta función se condicionó con el valor de variación de la carga permisible de la línea, para obtener la longitud máxima de la línea regante; al definir la celda Δh_{LR} calculada que satisface el valor tolerable de Δh_{LR} .

Secuencia de ejecución de función buscar objetivo:

Datos > análisis de hipótesis > buscar objetivo > abrir caja de dialogo > definir la celda Δh_{LR} calculada > con el valor o condición Δh_{LR} tolerable > cambiando la celda de longitud > aceptar/cancelar.

3.11. Determinación del diámetro teórico de la línea distribuidora

Se calculó la pérdida de carga (Hf) en la línea distribuidora con la ecuación de Hazen-Williams:

$$K\varphi = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87} \times C^{1.852}}$$

Donde:

K φ : factor de Hazen-Williams (adimensional)

D: diámetro interno de la tubería de PVC (mm).

C: coeficiente de rugosidad del polietileno que es 150.

$$Hf = K\varphi * \left(\frac{\left(q_e * \frac{Ll}{Se} \right) * \left(\frac{L_D}{Sl} \right)}{3600} \right)^{1.852} * L_D * 0.351$$

Donde:

Hf: pérdida de carga en la línea distribuidora (mca).

qe: gasto del emisor (lph).

Ll: longitud de la línea regante (m).

Se: separación del emisor (m).

Sl: Separación entre líneas regantes (m).

LD: longitud de la línea distribuidora (m).

Se obtiene la variación de carga permisible en la línea distribuidora

$$\Delta H_{LD} = Hf + \frac{\%S * L_D}{100}$$

Donde:

ΔH_{LD} : Variación de carga en la línea distribuidora (mca).

S: pendiente del terreno (%).

3.11.1. Plantilla de Excel para el cálculo del diámetro teórico de la línea distribuidora

Para el cálculo del diámetro teórico se ocuparon los siguientes datos que fueron tomados para un bloque de riego de las huertas y se representa como lo muestra el cuadro 3.8.

Cuadro 3.7. Plantilla de Excel para el cálculo del diámetro teórico.

qe (lph)	Se (m)	LI (m)	QI (lph)	SI (m)	Ld (m)	No. L	%S	K ϕ	θ ID (mm)	ΔH_{LD} (mca)

Para determinar el diámetro teórico se introdujeron las ecuaciones antes mencionadas para posteriormente ejecutar la función objetivo y la función coincidir.

Cuadro 3.8. Diámetro de tuberías de PVC.

	A	B	C
1	Diámetro nominal	Diámetro real externo	Diámetro real interno
2	1.25" Ø	42.164	38.913
3	1.5" Ø	48.26	44.552
4	2" Ø	60.325	55.702
5	2.5" Ø	73.025	67.437
6	3" Ø	88.9	82.042
7	4" Ø	114.3	105.511
8	5" Ø	141.3	130.429
9	6" Ø	168.275	155.321
10	8" Ø	219.075	202.209
11	10" Ø	273.05	252.069
12	12" Ø	323.85	298.958

Cuadro 3.9. Plantilla para el cálculo del diámetro nominal.

Diámetro nominal inmediato superior (pulgadas)	Diámetro real interno (mm)

3.11.2. Pasos para vincular la Función Buscar Objetivo con la Función Coincidir

Se describen los pasos para vincular ambas funciones en Excel, para el diseño de la línea distribuidora y extraer el \varnothing nominal de tubería PVC ajustado al criterio de variación permisible.

Una vez obtenidos los datos, se realizó los cálculos pertinentes para la obtención del diámetro teórico de la línea distribuidora con pendiente, estimando en la rutina previamente los siguientes valores:

Se utilizó la función Buscar objetivo que permite obtener el valor para la variable “ θ ID” realizando automáticamente las iteraciones hasta obtener un valor deseado de “ θ ID”.

Esta función se condicionó con el valor de variación de la carga permisible, para obtener el diámetro teórico de la línea distribuidora; al definir la celda Δh_{LD} calculada que satisface el valor tolerable de Δh_{LD} .

Secuencia de ejecución de función buscar objetivo: Datos > análisis de hipótesis > buscar objetivo > abrir caja de dialogo > definir la celda Δh_{LD} calculada > con el valor o condición Δh_{LD} tolerable > cambiando la celda θ ID > aceptar/cancelar.

Posteriormente que se obtuvo el diámetro teórico (θ ID) calculado, se calculó el diámetro nominal a través de la siguiente ejecución y de los datos que se representan para los diámetro de las tubería de PVC como lo muestra el cuadro 3.9.

`INDICE(A2:A12,COINCIDIR(θ ID,A2:A12)+(BUSCAR(θ ID,A2:A12)<> θ ID))`

Así como para obtener el diámetro real interno a través de la siguiente ejecución `BUSCARV(Diámetro interno inmediato superior,A2:C12,3,)`.

3.12. Método Estadístico para Evaluación de Resultados.

Los métodos estadísticos para evaluar la investigación, fueron seleccionados con la finalidad de obtener resultados y poder compararlos con las hipótesis establecidas previas a la investigación y así poder llegar a un resultado y una conclusión de la misma para validar los datos del programa esos métodos utilizados fueron los siguientes:

3.12.1. Prueba T-Student.

Una variable con distribución t de Student se define como el cociente entre una variable normal estandarizada y la raíz cuadrada positiva de una variable χ^2 dividida por sus grados de libertad. Se aplica cuando la población estudiada sigue una distribución normal pero el tamaño muestra es demasiado pequeño como para que el estadístico en el que está basada la inferencia esté normalmente distribuido, utilizándose una estimación de la desviación típica en lugar del valor real.

3.12.2. Empleo de la Prueba t de Student.

El test de locación de muestra única por el cual se comprueba si la media de una población distribuida normalmente tiene un valor especificado en una hipótesis nula.

El test de locación para dos muestras, por el cual se comprueba si las medias de dos poblaciones distribuidas en forma normal son iguales.

Todos estos test son usualmente llamados test t de Student

3.12.3. T calculada.

Devuelve el inverso de la distribución t de Student de dos colas.

Sintaxis

DISTR.T.INV (probabilidad, grados_de_libertad)

La sintaxis de la función DISTR.T.INV tiene los siguientes argumentos:

Probabilidad Obligatoria. Es la probabilidad asociada con la distribución t de Student de dos colas.

Grados_de_libertad Obligatorio. Es el número de grados de libertad que caracteriza la distribución.

3.12.4. Estadístico T_{α} .

Representa los grados de libertad de la distribución. Análisis de la significancia estadística de la pendiente de regresión.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Curva de evapotranspiración del aguacate

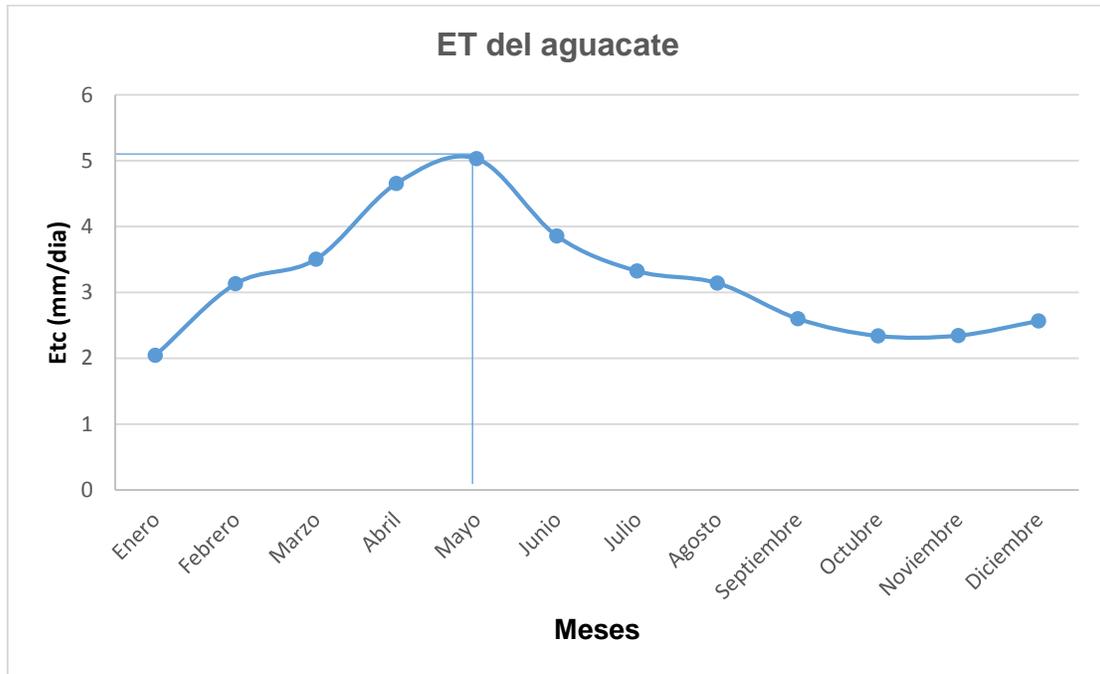


Figura 4.1. Curva de la evapotranspiración del aguacate para cada mes.

En la figura se observa la evapotranspiración pico del aguacate que se presenta en el mes de mayo con 5 mm/día, que por lo consecuente es en este mes cuando las plantas de aguacate tienden a demandar más agua.

4.2. Curvas gasto presión de los microaspersores utilizados en las huertas de aguacate

Las curvas gasto vs presión para cuatro microaspersores Netafim SuperNet SRD boquilla color café probados mostraron un desfase entre los gastos aforados, lo que indica que el diafragma regulador pierde precisión a presiones menores de 15.29 mca, y la variación del caudal es debido a la variación de manufactura y también influye la calidad del agua y el desgaste de la boquilla.

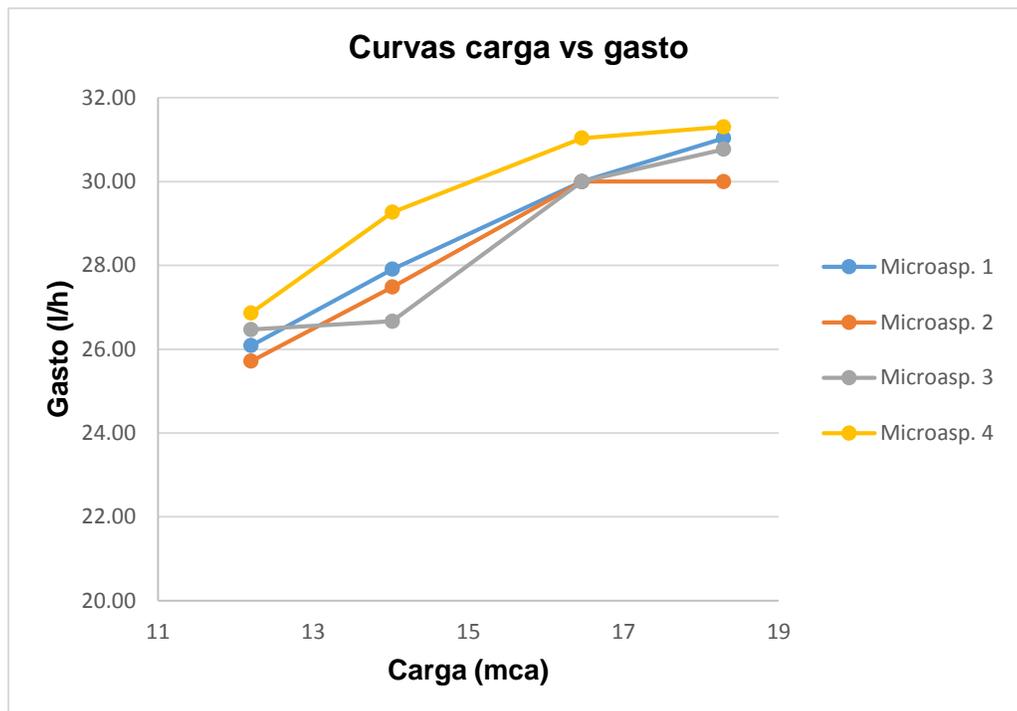


Figura 4.2. Curvas de los cuatro microaspersores SuperNet SRD de Netafim.

4.3. Comparación de los gastos calculados sistemáticamente en las dos huertas

En las figuras 4.3 y 4.4 de un bloque de riego para las huertas 1 y 2 se observa una variación del gasto por parte de los microaspersores sin reguladores de flujo a lo largo de la línea regante, debido a que al principio hay más carga que se va perdiendo mientras se incrementa la longitud de la manguera y que posteriormente esa pérdida de carga, se viene compensando por la pendiente que se tiene a favor en el terreno y así observar que el gasto vuelve a incrementarse. En comparación con los microaspersores con reguladores de flujo que presentan muy poca variación de gasto en dicha línea.

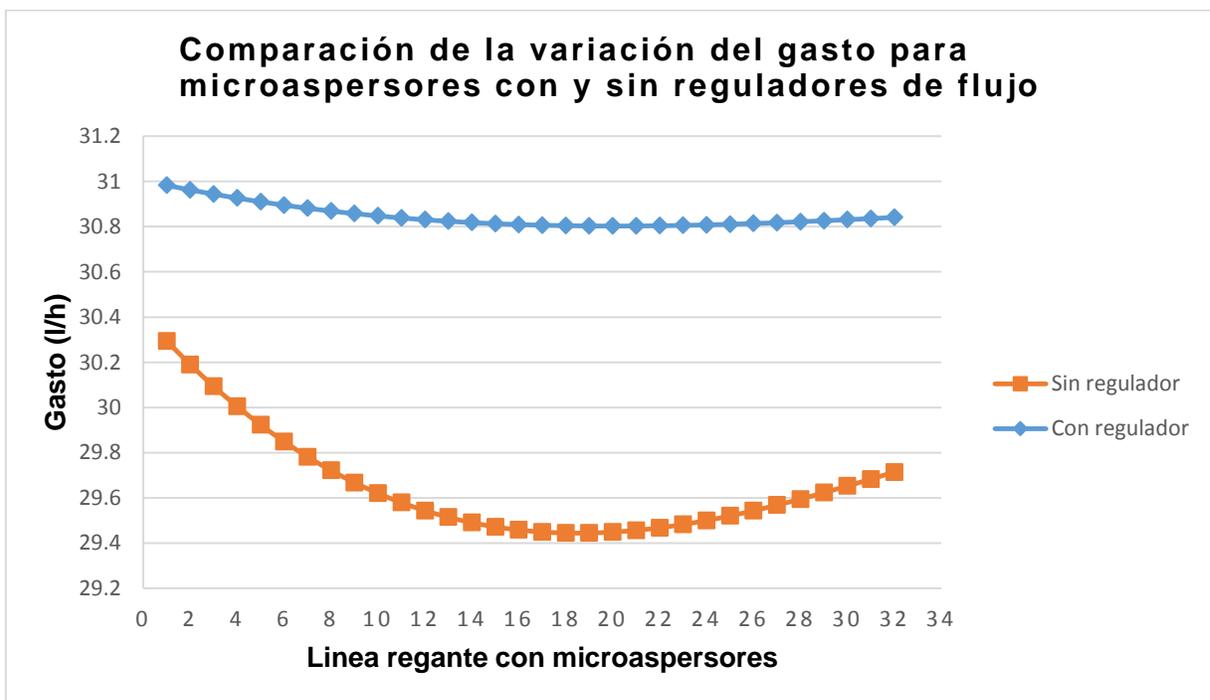


Figura 4.3. Variación del gasto de los microaspersores Netafim SuperNet SRD boquilla color café a lo largo de la línea regante con y sin reguladores de flujo en la huerta 1.

Cuadro 4.1. Análisis estadístico de los microaspersores con y sin reguladores de flujo para la huerta 1.

Prueba t Student	3.44E-21
T tabla al 5%	2.30
T calculada	14.23
Ensayo de hipótesis	Acepto Ha

Se realizó el análisis estadístico como lo marca el cuadro para la prueba t student a un 5% de margen de error para dos colas (0.025).

El cual obtuvo un valor de prueba de t Student = 3.44×10^{-21} , para validar la confianza del análisis se encontró una “t calculada” = 14.225 y el valor encontrado de “t tabla” = 2.30, como tc fue mayor que t_{α} , asumimos que si hay diferencia significativa entre los microaspersores con y sin reguladores de flujo aceptando, Ha para la huerta 1.

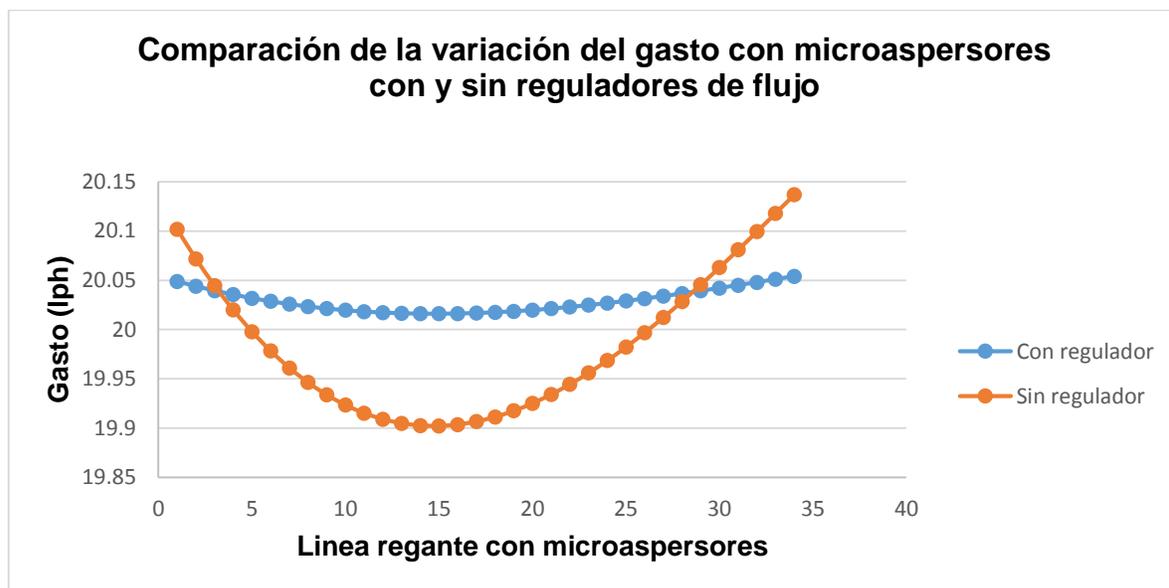


Figura 4.4. Variación del gasto de los microaspersores Netafim SuperNet SRD boquilla morada a lo largo de la línea regante con y sin reguladores de flujo de la huerta 2.

Cuadro 4.2. Análisis estadístico de los microaspersores boquilla color morado con y sin reguladores de flujo para la huerta 2.

Prueba t Student	0.00088327
T Student calculada	3.48
T Student tabla	2.29
Ensayo hipótesis	Acepto Ha

Se aplicó el mismo análisis estadístico de la prueba t student a un 5% de margen de error para dos colas (0.025) como lo marca el cuadro.

El valor de prueba de t Student = 0.00088327, para validar la confianza del análisis se encontró una “t calculada” = 3.48 y el valor encontrado de “t tabla”= 2.29, como t calculada fue mayor que t tabla, asumimos que si hay diferencia significativa entre los microaspersores con y sin reguladores de flujo, aceptando Ha para la huerta 2.

4.4. Distribución de gastos para un bloque de riego sin regulación de flujo de las huertas 1 y 2

En la figuras 4.5 y 4.6 observamos la distribución curvilínea de los gastos calculados sistemáticamente de los microaspersores sin regulador de flujo a través del Método Elemento Finito (MEF), en la figura 4.5 se ve que en la última lateral de riego es donde se carga más el caudal debido a la pendiente que se tiene por donde va la línea distribuidora, en cuanto a la figura 4.6 podemos apreciar una distribución del caudal al inicio y al final variando en la parte media de las laterales esto debido a que en el bloque de la huerta 2 hay muy poca variación de la pendiente del terreno.

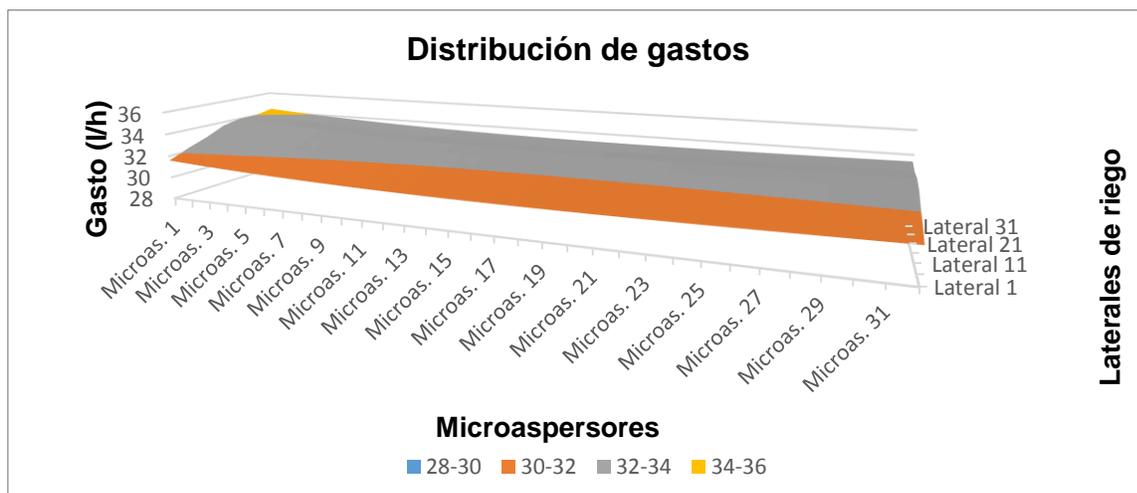


Figura 4.5. Distribución de los gastos calculados para los microaspersores en un bloque de la huerta 1.

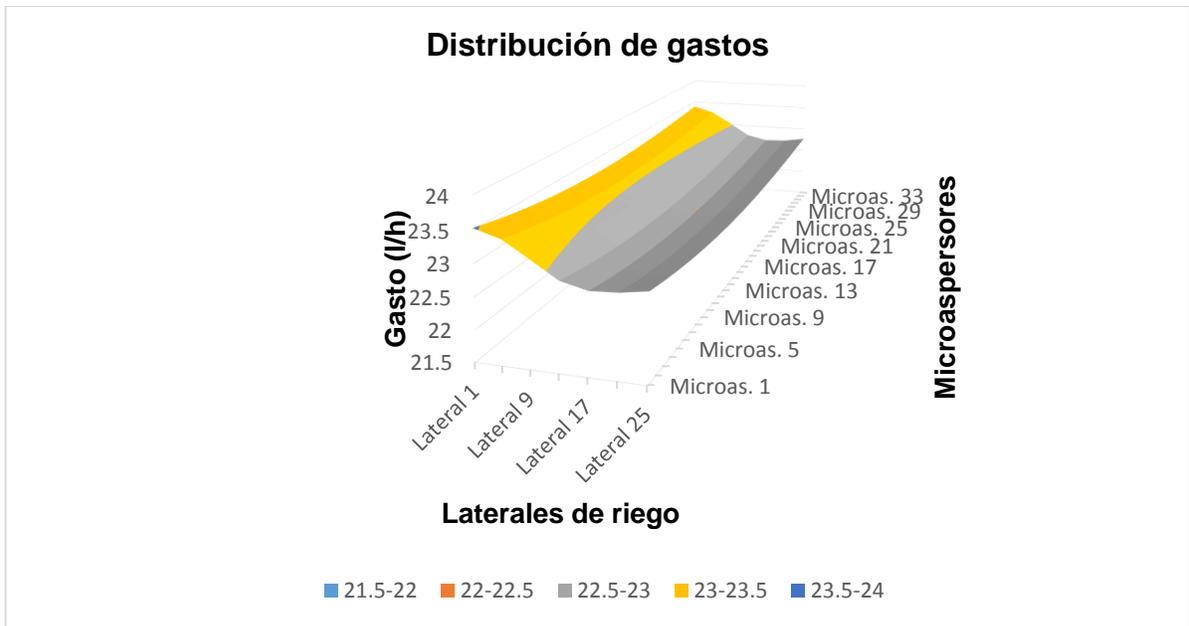


Figura 4.6. Distribución de los gastos calculados para cada uno de los microaspersores en un bloque de riego del huerto 2.

4.5. Uniformidad de emisión calculada en un bloque de riego del huerto 1 y 2 utilizando el Método del Elemento Finito (MEF)

Al obtener los caudales repartidos por los microaspersores sin reguladores de flujo evaluados en un bloque para las dos huertas, se comparó la distribución de dicho caudal en las laterales correspondientes como lo indican Karmeli-Keller (1975). Se muestra que en la figura 4.7 las últimas laterales reciben más agua debido que se tiene una carga mayor por la pendiente del terreno, lo contrario a lo que se presenta en la figura 4.8 donde las primeras laterales, son las que reciben más agua debido a la poca pendiente que se encuentra al inicio de la línea distribuidora. También observar que en los primeros emisores de cada regante de ambas huertas arroja más agua que en los otros, esto es debido a la carga inicial que entra en cada línea. Se determinó el %UE correspondientes a cada uno de los bloques de ambas huertas evaluadas, resultando tener en la huerta 1 una uniformidad de 96.1% y en la huerta 2 de 96.5%, de acuerdo a Karmeli-Keller se encuentra con una uniformidad buena.

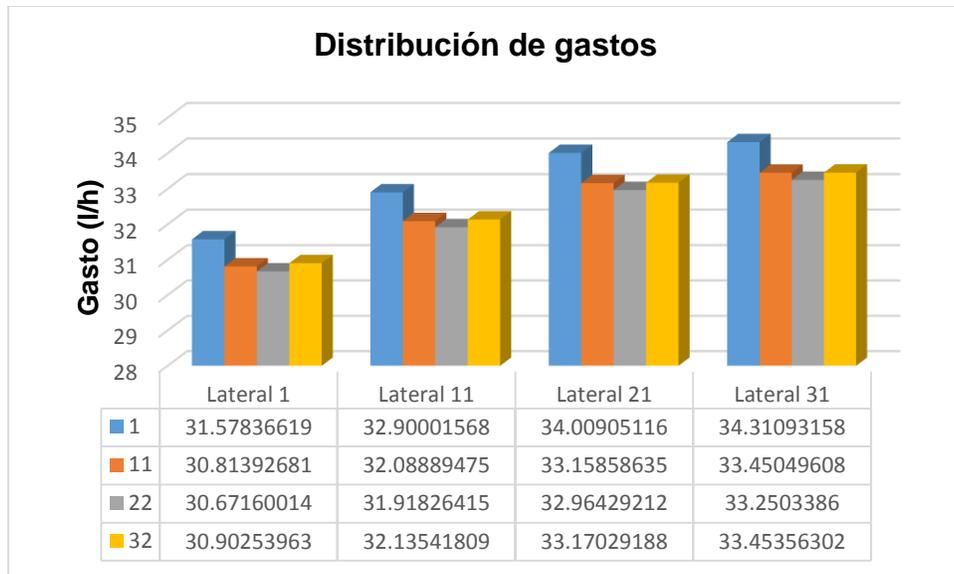


Figura 4.7. Distribución de gastos de los emisores muestreados sistemáticamente en las laterales de un bloque del huerto 1.

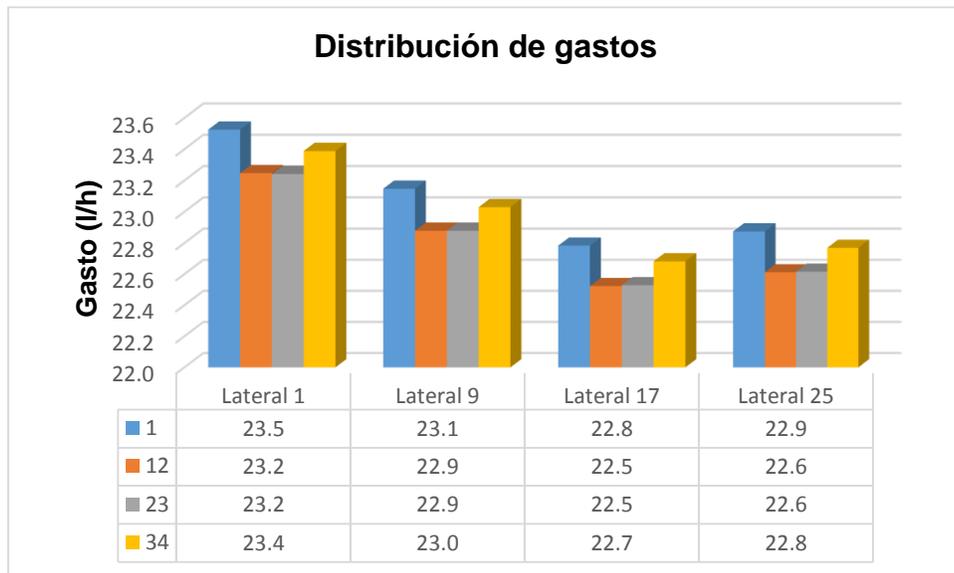


Figura 4.8. Distribución de los gastos muestreados sistemáticamente en las laterales de un bloque del huerto 2.

4.6. Longitud máxima de la línea regante

Cuadro 4.3. Longitud máxima de la línea regante (m) con pendiente para los microaspersores con y sin reguladores de flujo.

	Microaspersor Huerta 1		Microaspersor Huerta 2	
Espaciamiento	2 m		2 m	
Gasto del Microaspersor	30 lph		20 lph	
Pendiente %S	Sin regulador de flujo (m)	Con regulador de flujo (m)	Sin regulador de flujo (m)	Con regulador de flujo(m)
3%	98.7	142.9	136.9	191.4
2%	91.5	138.2	124.9	183.5
1%	84.2	133.5	112.6	175.5
0%	76.9	128.8	100.3	167.5
-1%	69.7	124.1	88.3	159.7
-2%	62.7	119.5	76.7	151.8
-3%	56.2	114.9	66.3	144.2

En el cuadro 4.3 se observan las longitudes máximas para la línea regante con diferentes pendientes en ambas huertas, donde se puede apreciar que los microaspersores con flujo regulado alcanzan una longitud mayor en comparación con los microaspersores sin regular, que en medida depende de la variación de carga permisible que se tolera en la línea. También se obtiene una longitud mayor de la línea cuando se tiene un pendiente descendente, lo contrario que ocurre si la pendiente es ascendente la línea es más corta.

4.7. Comparación del diámetro de la línea distribuidora

Se presenta la comparación de la línea distribuidora al usar los diámetros telescopados y al utilizar un solo diámetro nominal calculado para un bloque de la huerta 1 y 2, observando en la figura 4.9 como en el telescopio hay mayor presión al final de las laterales y al compararlo con el diámetro nominal calculado hay menos variación de presión a los largo de la línea distribuidora. En la figura 4.10 solo se presenta una diferencia en las primeras laterales ya que luego vienen manejando el mismo diámetro y se juntan ambas curvas. En ambos casos aprovechar la pendiente que se tiene a favor.

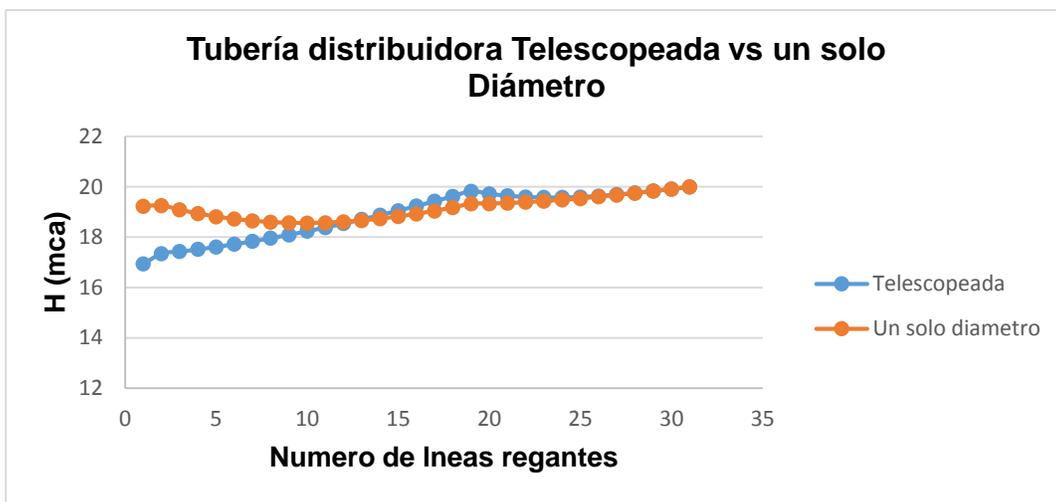


Figura 4.9. Comparación de los diámetros obtenidos de diseño con el diámetro calculado para la huerta 1.

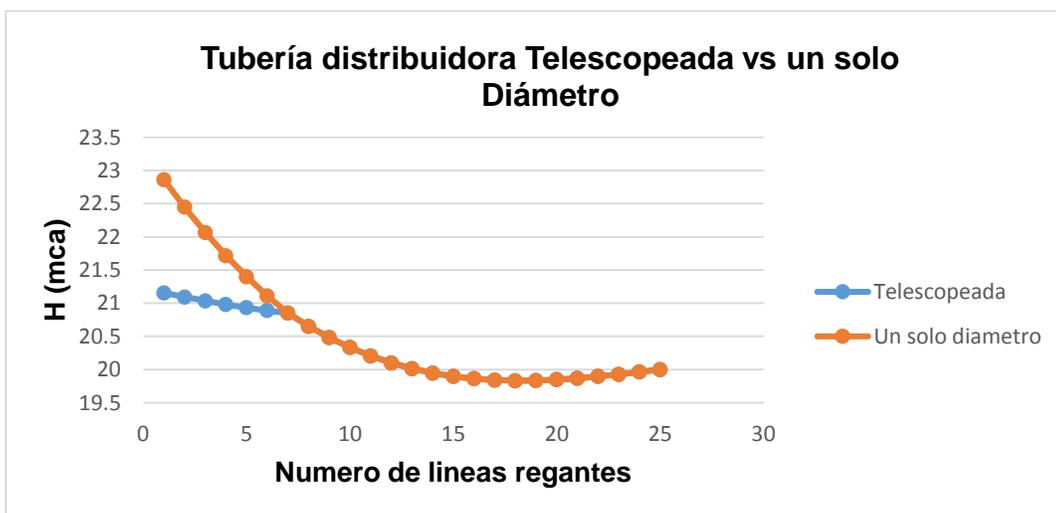


Figura 4.10. Comparación de los diámetros obtenidos de diseño con el diámetro calculado para la huerta 2.

4.8. Comparación de los diseños de las huertas 1 y 2

En la figura 4.11 se tiene el primer diseño con microaspersores sin reguladores de flujo y el segundo diseño con microaspersores con reguladores de flujo de la huerta 1, apreciado una reducción en el número de bloques de riego que pasa de 6 a 9 respectivamente.

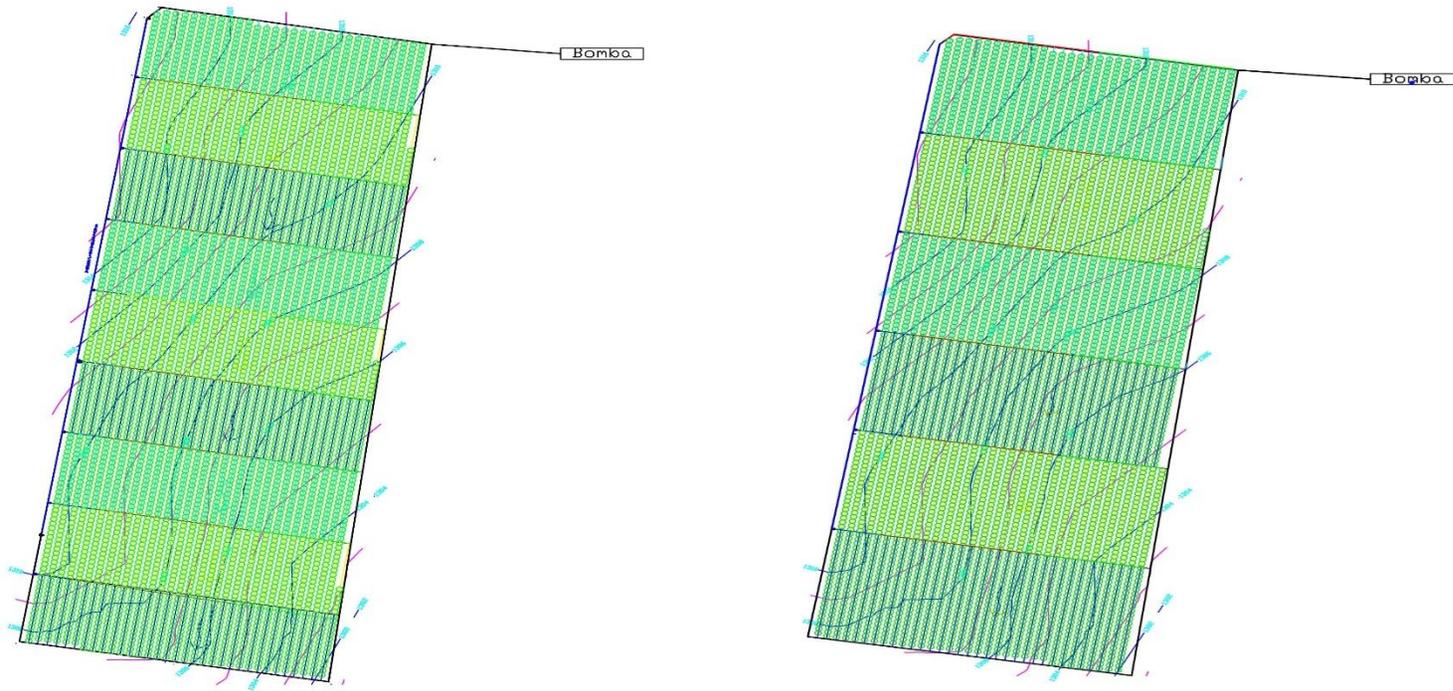


Figura 4.11. Comparación de diseño de la huerta 1.

En la figura 4.12 observamos la comparación de los 2 diseños, en el primero fue con microaspersores sin reguladores de flujo y el segundo con microaspersores con reguladores de flujo, apreciando que con el uso de reguladores de flujo se puede regar en un solo bloque en comparación con el primer diseño que se divide en dos bloques.

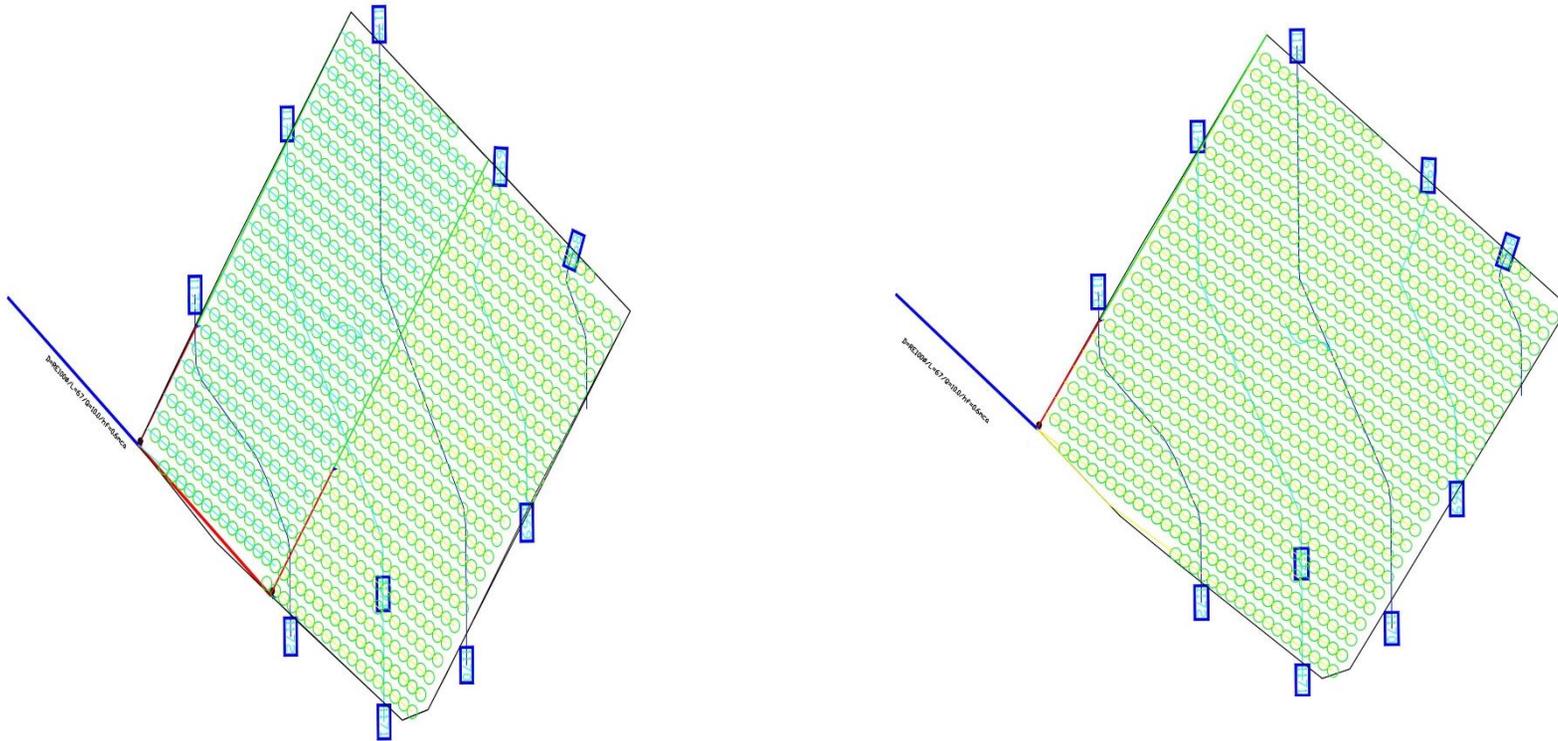


Figura 4.12. Comparación de diseño para la huerta 2

Como se logra observar en ambos cuadros, al haber dividido las huertas en base a la longitud máxima de la línea regante que se estimó, se obtiene una disminución en el uso de materiales como lo refleja el análisis anterior haciendo un buen aprovechamiento más que nada del uso de microaspersores con reguladores de flujo, para tener líneas más largas y disminuir el uso de materiales, como se observa en los cuadros 4.4 y 4.5.

Cuadro 4.4. Tubería, válvulas y conexiones de PVC para el huerto 1.

Descripción	Unidad	Cantidad 1	Cantidad 2
TUBO PVC RD-41 4"	M	210	138
TUBO PVC RD-41 3"	M	972	648
TUBO PVC RD-41 2"	M	684	456
TUBO PVC RD 26 3"	M	30	18
TUBO PVC RD-26 2"	M	12	12
VALVULA NEWVAL 2"	PIEZA	9	6
VALVULA REGULADORA DE PRESION DOROT 3"	PIEZA	9	6
ADAPTADOR MACHO 3"	PIEZA	18	12
VALVULA DE AIRE 2" GRIS TORO	PIEZA	18	12
VALVULA MARIPOSA COMPLETA 6"	PIEZA	1	1
TORNILLOS COMPLETOS DE 5/8 X 7 1/2"	PIEZA	8	8
BRIDA C-80 6"	PIEZA	2	2
EMPAQUE NEOPRENO 6"	PIEZA	2	2
ADAPTADOR HEMBRA 2"	PIEZA	18	12
REDUCCION BUSH 4"x3"	PIEZA	9	6
REDUCCION BUSH 4X2"	PIEZA	18	12
REDUCCION BUSH 3"x2"	PIEZA	9	6
TEE PVC C-40 6X6X4"	PIEZA	9	6
TEE PVC C-40 4X4X3"	PIEZA	18	12
CODO PVC C-40 90X2"	PIEZA	18	12
CODO PVC C-40 90X4"	PIEZA	18	12
COPE C-40 4"	PIEZA	9	6
COPE C-40 3"	PIEZA	9	6
CINTA TEFLON 3/4"	PIEZA	14	9
LUBRICANTE WELD-ON DE 1 KG	PIEZA	8	5
PEGAMENTO 717 1 LT	PIEZA	12	8
LIMPIADOR 1 LT C-60	PIEZA	10	6
PRIMER 1 LT	PIEZA	10	6
ESTOPA	KG	10	6
SERRUCHO	PIEZA	1	1
MANGUERA CIEGA PE 20 MM C-45 MIL 400 MTS	ROLLO	12	12
INICIAL CON GOMA 20 MM	PIEZA	320	214
COPEL INSERCIÓN 20 MM	PIEZA	320	214
TERMINAL 20 MM	PIEZA	320	214
MICROASPERORES COMPLETOS NETAFIM 30 LPH	PIEZA	9150	9150
MANOMETRO DE GLICERINA 0-100	PIEZA	9	6
INSTALACION	LOTE	1	1

Cuadro 4.5. Tubería, válvulas y conexiones de PVC para el huerto 2.

Descripción	Unidad	Cantidad 1	Cantidad 2
TUBO PVC RD-41 4"	M	78	78
TUBO PVC RD-41 3"	M	180	126
TUBO PVC RD-41 2"	M	240	120
TUBO PVC RD-26 3"	M	6	6
TUBO PVC RD-26 2"	M	6	6
VALVULA NEWVAL 2"	PIEZA	2	1
VALVULA REGULADORA DE PRESION DOROT 2"	PIEZA	2	1
ADAPTADOR MACHO 2"	PIEZA	4	2
VALVULA DE AIRE 2" GRIS TORO	PIEZA	4	2
ADAPTADOR HEMBRA 2"	PIEZA	4	2
REDUCCION BUSH 3"x2"	PIEZA	10	5
REDUCCION BUSH 4"x3"	PIEZA	2	2
TEE PVC C-40 3"	PIEZA	4	2
TEE PVC C-40 4"	PIEZA	1	1
CODO PVC C-40 90X2"	PIEZA	4	2
CODO PVC C-40 90X3"	PIEZA	3	2
COPE C-40 3"	PIEZA	2	1
CINTA TEFLON 3/4"	PIEZA	6	3
EMPAQUE NEOPRENO 4"	PIEZA	2	2
VALVULA MARIPOSA COMPLETA 4"	PIEZA	1	1
TORNILLOS COMPLETOS DE 5/8 X 4"	PIEZA	8	8
BRIDA C-80 4"	PIEZA	2	2
LUBRICANTE WELD-ON DE 1 KG	PIEZA	2	1
PEGAMENTO 717 1 LT	PIEZA	3	2
LIMPIADOR 1 LT C-60	PIEZA	2	1
PRIMER 1 LT	PIEZA	2	1
ESTOPA	KG	2	1
SERRUCHO	PIEZA	1	1
MANGUERA CIEGA PE 20 MM C-45 MIL 400 MTS	ROLLO	3	3
INICIAL CON GOMA 20 MM	PIEZA	60	30
COPEL INSERCIÓN 20 MM	PIEZA	60	30
TERMINAL 20 MM	PIEZA	60	30
MICROASPERORES COMPLETOS NETAFIM 20 LPH	PIEZA	1750	1750
MANOMETRO DE GLICERINA 0-100 PSI	PIEZA	2	1
INSTALACION	LOTE	1	1

5. CONCLUSIONES

La simulación del gradiente hidráulico en la línea regante con pendiente indicó una diferencia significativa en la descarga de los microaspersores sin reguladores de flujo, en comparación con aquellos que sí tienen regulador de flujo comprobado por una prueba t Student. Por lo que sí es más recomendable el uso de microaspersores con reguladores de flujo para las huertas 1 y 2 ya que presentan una pendiente de 1.57% y 1.47% respectivamente.

Los microaspersores sin reguladores de flujo, demostraron tener buena uniformidad de emisión de acuerdo a como lo consideran Karmeli-Keller si la configuración del bloque de riego se ajusta a la variación de carga permisible.

La longitud máxima fue estimada realizando iteraciones por medio de la función “Buscar objetivo” de Excel, la cual encontró la solución óptima que satisface la condición establecida, sin embargo tiene un uso limitado ya que nada más resuelve una celda y esto hace un poco lento el cálculo de toda una tabla.

La creación de la tabla permitió conocer la longitud máxima de los microaspersores espaciados a 2 m con y sin reguladores de flujo con gastos de 20 lph y 30 lph usando manguera de 20 mm, para las huertas de estudio a diferentes pendientes que van desde 0 a 3% de forma descendente y de 0 a -3% de forma ascendente, resultando una mayor longitud para los microaspersores con flujo regulado, debido a que tiene más tolerancia a la pérdida de carga permisible en la línea en comparación de los que no tienen el regulador.

El diseño con menos bloques para los microaspersores con reguladores de flujo, permite que se alcancen mayores longitudes de la lateral de riego, por lo tanto se obtiene un ahorro en materiales como tuberías distribuidoras, válvulas y conexiones.

Los gastos de los microaspersores aforados en una prueba de calibración demostraron no ser completamente autocompensados, debido a que presentan una diferencia de +/-1 lph debido al coeficiente de variación de manufactura característico.

6. BIBLIOGRAFIA

Arpaia, Mary L., and Ben Faber. "Answers to Questions." *Answers to Questions*. UCANR, n.d. Web. 15 Oct. 2013. <<http://ucavo.ucr.edu/General/Answers.html>>.

"Assess Avocado Grove Irrigation Methods." *California Avocado Commission*. The California Avocado Commission, 2014. Web. 20 Apr. 2014. <<http://www.californiaavocadogrowers.com/cultural-management-library/assessavocado-grove-irrigation-methods>>.

Avocado Varieties." California Avocado. California Avocado Commission, n.d. Web. 17 June 2014.<<http://www.californiaavocado.com/avocado-varieties/>>.

"Avocado Varieties - Types of Avocados." California Avocados Direct. N.p., 2013. Web. 16 Oct. 2013. <<http://www.californiaavocadosdirect.com/8/avocado-varieties-types-ofavocados.aspx>>.

Celigüeta T. 2011. Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural.(4ª ed.). España. Imprenta UNICOPIA C.B.

Burt, C.M. 2013. Irrigation Water Management BRAE 340. ITRC, Cal Poly State University, San Luis Obispo.

Burt, C.M. 2013. Agricultural Irrigation Systems BRAE 440. ITRC, Cal Poly State University, San Luis Obispo.

ASAE.American Society of Agricultural Engineers. Field evaluation of micro irrigation Systems. St. Joseph: ASAE Standard engineering practices data: EP 458, 2001. P.792-797.

Pizarro, c. f. 1990. Riego localizado de alta frecuencia: goteomicroaspersión-exudación. 2da Edición. Editorial Mundi- Prensa. Impreso en España. Pp. 56 - 225.

Armoni, Shlomo.1989, Riego por Microaspersión, 1ª Edición, España.

Berlín, Johan, D.1988, El Riego y Drenaje, Editorial trillas, México, Pp. 13–14.

Burt, C.M. 2013. Irrigation Water Management BRAE 340. ITRC, Cal Poly State University, San Luis Obispo.

Burt, C.M. 2013. Agricultural Irrigation Systems BRAE 440. ITRC, Cal Poly State University, San Luis Obispo.

Santos, p. I. 2010. El Riego y sus Tecnologías. Instituto superior de agronomía, universidad técnica de Lisboa- Portugal. Pp. 12- 228.

Karmeli y Keller, J. 1974. *Trickle irrigation design*. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation.

Karmeli D. and Merriam, Farm Irrigation System evaluation Agriculture Engineering dept. UTAH StateUniversity Logan, UTAH.

Frandis Fermín, viernes, 27 de febrero de 2015, Prueba t de Student, Definición, Disponible en: <http://pruebatstudentf.blogspot.mx/>.

Curso iniciación al riego presurizado (2004) Convenio Ministerio De Trabajo San Juan – INTA. 9 Al 11 de noviembre.

Arteaga, R. 1993. Hidráulica Elemental. UACH. (1ª ed.)Departamento de Irrigación. Chapingo. México. Dirección de Difusión Cultural.

Balogh, J. y Gergely I. 1985. Basic Aspects of Trickling Irrigation. (1ª ed.). Budapest: Fischer Tibor.

Liotta. Mario A.(2000) Superficie cultivada con riego tradicional y presurizado en la Provincia de San Juan. INTA San Juan. Mayo de 2000

Curso De Manejo De Riego Presurizado y de Estaciones Agrometeorológicas (1999). Destinado a Operarios de riego. INTA SAN JUAN.

Osorio Ulloa, Alfonso. (1994) Curso De Diseño, Evaluación Y Manejo De Sistemas de Riego Por Goteo. Convenio INTA-INIA. EEA San Juan 20 Al 30 de Septiembre.

Quinzá, E. y Martínez, J. 1993. Riego Localizado. Diseño Hidráulico. Curso Internacional de técnicas de riego y gestión del regadío.

Sietan, C. y Ali, G. 2004. Uniformity in a micro irrigation with partially clogged emitters, ASAE Paper No.032097, St. Joseph, Michigan. ASAE.12.4, USA.

Tarjuelo, J. M. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. (2ª ed.). Madrid, España. Ediciones Mundi-prensa.

NRCS, NHCP, CODE 441; AUG-2000 "Irrigation system, microirrigation" Natural Resource Conservation Service Practice Standard.

ASAE EP405.1 DEC 96; "Design and installation of microirrigation systems" American Society of Agricultural Engineering.

ASAE EP458 DEC 96; "Field evaluation of microirrigation systems" American Society of Agricultural Engineering.

The American Society of Agricultural Engineers, Design and operation of farm irrigation systems. Edited by M. E. Jensen, Michigan, USA, 1983.

García Casillas, Ignacio. Sistemas de riego: por aspersión y goteo. Editorial: Trillas, México, 1997.

NEOPERL. Reguladores de flujo. Principio de funcionamiento. Disponible en www.neoperl.net/es/oem/products/flowregulators/workingprinciples.html.

7. Anexos

