

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



Factores de campo que alteran la uniformidad del riego por goteo en una huerta de manzano (*Malus domestica Borkh*) en la sierra de Arteaga, Coahuila.

**POR:**

**ARACELY TORIBIO FERRER**

**TESIS:**

**Presentada como Requisito Parcial**

**Para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Diciembre del 2014**

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

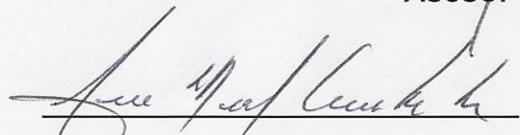
FACTORES DE CAMPO QUE ALTERAN LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO POR  
GOTEO EN UNA HUERTA DE MANZANO (*Malus domestica Borkh*) EN LA  
SIERRA DE ARTEAGA, COAHUILA.

REALIZADA POR:  
ARACELY TORIBIO FERRER  
TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como  
Requisito Parcial para Obtener el Título de:  
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

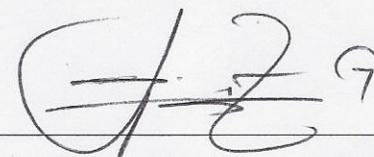
  
MC. Gregorio Briones Sánchez  
**Asesor principal**

  
Dr. Juan Manuel Covarrubias Ramírez

**Asesor**

  
Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna

**Asesor**

  
MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

**Coordinador de la División de Ingeniería**

**Coordinación de  
Ingeniería**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2014

## DEDICATORIAS

### **A mis padres:**

*Victorino Toribio Cruz y Julia Ferrer Manuel, por darme la vida, amor y mucho cariño, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, por confiar en mí y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir; y estoy infinitamente agradecido con Dios por haberme dado unos padres como ustedes.*

### **A mis hermanos:**

*María, José, Ing. Emmanuel, Lic. Diana, Claudia, Luis y Lalo, por ser parte importante de mi vida, y representar la unidad familiar, por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado, por su apoyo y la gran amistad incondicional que me brindaron y por compartir conmigo este logro.*

### **A mis niños:**

*Lili, Bryan, Marisol, Abel, Juan Carlos, Lupis, Chepito y Roy, mis pequeños angelitos por formar parte de mi vida principalmente por sus sonrisas que tanto me alimentaron, y por darme la dicha de ser tía.*

### **A mis abuelitos:**

*A mis abuelos Marcelino y María Cruz (+), por alentarme a perseguir mis sueños y tener mucha fe en mí. Y en memoria de Aureliano Ferrer Martínez (+) y Juliana Manuel García (+), aunque no me acuerde de ustedes, pero sé que desde el cielo no han cuidado a mamá y a nosotros y sé que estarían muy orgullosos de ver lo que hemos logrado.*

### **A mis padrinos:**

*Fernando Ramírez Manuel y Concepción Gutiérrez Rauz, sabiendo que jamás encontrare la forma de agradecer su apoyo y confianza en mí. Por el cariño y el apoyo incondicional que siempre he recibido de ustedes y con el cual he logrado culminar mi esfuerzo, terminando así mi carrera profesional. Todas mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos e inspirados en ustedes. Los llevare siempre en mi corazón.*

### **A mis compañeros y amigos**

*A mis compañeros de generación CXVIII, por esa amistad que nos tuvimos y por ayudarnos unos a otros en aquellos trabajos difíciles. Con los cuales compartí momentos inolvidables a lo largo de toda mi carrera, en especial a Puc mi gran amigo que siempre encontraste la manera de hacerme sonreír, siempre los recordaré. Y a ti Pablo porque a pesar de la distancia siempre me has apoyado en toda la trayectoria de esta etapa de mi vida, por tu incomparable amistad y tu enorme corazón, por estar siempre ahí. Te quiero (Pandme).*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por permitirme llegar hasta donde he llegado, por acompañarme e iluminarme en este recorrido y hacer realidad uno de mis tantos sueños, por darme fuerza y fe para creer lo que me parecía imposible terminar.*

*A mis Padres y Hermanos, mi eterno agradecimiento a mis padres y hermanos, quienes siempre han estado conmigo, no tengo palabras para agradecerles todos los sacrificios que han hecho por mí, por darme todo sin pedir nada a cambio y a todas y cada una de aquellas personas que siempre me alentaron y me escucharon en momentos difíciles.*

*A mi Alma Mater, a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que me abrió las puertas de esta institución y por haberme cobijado durante estos años de estancia, por brindarme los conocimientos para formarme como Ingeniero Agrónomo en Irrigación.*

*Al M.C. Gregorio Briones Sánchez, mi asesor principal por su generosidad al brindarme la oportunidad de trabajar con él, por su confianza, y su gran paciencia brindada para la revisión del presente trabajo de tesis.*

*Al Ing. Alberto Jesús Santoyo Cázares y Al Dr. Juan Manuel Covarrubias Ramírez, mis asesores externos por sus apoyos y colaboración que han compartido conmigo en este trabajo de investigación; y la disponibilidad de tiempo brindado en la revisión de este trabajo de tesis.*

*Al Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna, por su apoyo en la revisión de este trabajo de tesis.*

*A todos mis profesores, que a lo largo de cuatro años y medio me transmitieron sus conocimientos, su ayuda, su paciencia y su excelente vocación; y estoy segura que me servirá en el desarrollo de mi vida profesional, por esos regaños en los que simplemente nos marcaban nuestros errores para seguir adelante.*

*Al intentar encontrar las palabras y resumir en unos renglones lo que yo pudiera expresar en estos momentos es sumamente difícil para mí. Simplemente gracias por estar siempre ahí conmigo. Los quiere Chely*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIAS .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Hipótesis.....	3
1.2. Objetivos .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Importancia económica y social del manzano.....	4
2.2. Generalidades del riego por goteo.....	4
2.2.1. Características del Riego por Goteo.....	5
2.2.2. Ventajas y Desventajas de Riego por Goteo.....	6
2.3. Componentes de un Sistema de Riego por Goteo.....	7
2.4. Emisores .....	9
2.4.1. Clasificación de emisores.....	10
2.4.2. Aspectos hidráulicos de goteros y cintas de riego.....	11
2.5. Generalidades del Diseño Hidráulico del Riego Localizado .....	14
2.6. Evaluación de un Sistema de Riego por Goteo.....	15
2.6.1. Evaluación de los componentes del sistema de riego por goteo .....	16
2.7. Evaluación de la Uniformidad del riego por Goteo .....	18
2.7.1. Evaluación de la uniformidad de Distribución (Du%) .....	20
2.7.2. Evaluación del Coeficiente de Uniformidad (Cu%) .....	22
2.7.3. Evaluación de la Uniformidad de Emisión (Eu%).....	23
2.8. Factores que Afectan la Uniformidad del Riego .....	23
2.9. Mantenimiento del sistema de riego por goteo.....	25
2.9.1. Medidas generales de mantenimiento.....	25
2.9.2. Lavado de la red de tuberías.....	26
2.9.3. Obturaciones.....	26
2.10. Gradiente Hidráulico .....	26

2.11. Método del Elemento Finito .....	27
2.12. Software IRRICAD Pro 11 .....	28
2.12.1. Características de IRRICAD Pro 11 .....	29
2.12.2. Especificaciones Técnicas .....	29
2.12.3. Ventajas del IRRICAD Pro 11 .....	30
2.13. Aqua Flow 3.2.....	30
2.13.1. Características de AquaFlow 3.2.....	31
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
3.1. Ubicación del área de estudio.....	32
3.2. Materiales usados para la Evaluación.....	35
3.3. Método estadístico utilizado.....	36
3.4. Evaluación de la Uniformidad del riego en campo .....	37
3.5. Ejecución de la simulación de la evaluación de las uniformidades (Eu%, Cu%, DU%) del riego por goteo aplicando el Método del Elemento Finito.....	41
3.6. Análisis de las uniformidades evaluadas en campo y obtenidas con el método del elemento finito .....	46
3.7. Procesamiento para la evaluación de la Uniformidad de un Bloque de Riego con IRRICAD Pro 11 .....	48
3.8. Evaluación de la %EU de un Bloque de Riego con Aqua Flow 3.2 .....	51
3.9. Obtención y manejo de la información requerida para obtener las horas de riegos en la huerta .....	52
3.10. Descripción sobre las condiciones físicas en que se encuentran las instalaciones del sistema, evaluados visualmente .....	53
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>54</b>
4.1. Resultados en la Evaluación de la Uniformidad (Eu%, Cu%, Du%) de los tres bloques de riego evaluadas en campo.....	54
4.2. Situación física de los componentes del sistema de riego Instalado .....	55
4.3. Uniformidad Calculada en los 3 bloques de Riego Utilizando el Método del Elemento Finito (MEF).....	57
4.3.1. Comparación de Gastos Calculados contra Aforados en los 3 bloques de riego .....	59
4.4. Reportes y Diseños de los Bloques de Riego Utilizando el Software IRRICAD Pro 11 evaluando las uniformidades (Eu%, Cu%, Du%) .....	62
4.5. Reportes y Diagramas de Uniformidad de emisión Eu% de los Bloques de Riego Utilizando el software de Aqua Flow 3.2. ....	66

4.6.	Resultados de análisis de variancia en la Uniformidad de emisión (%Eu) repartida para el diseño de tres bloques de riego aplicando 4 métodos de diseño .....	73
4.7.	Manejo del agua en la huerta .....	74
4.8.	Alternativas y recomendaciones agronómicas e hidráulicas de cómo mejorar la uniformidad del sistema de riego por goteo .....	76
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>78</b>
<b>VI.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>80</b>
<b>VII.</b>	<b>APENDICES</b> .....	<b>83</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Componentes generales de un cabezal de riego localizado (Fernández, 2010)....	8
Figura 2.2. Componentes generales de una red de distribución en riego localizado (Fernández, 2010).....	9
Figura 2.3. Clasificación de goteros según formas de reducir presión (valverde, 2007.).....	10
Figura 2.4. Gráfica de relación de carga vs gasto (loboa, 2011). ....	12
Figura 2.5. Distribución de la carga de presión en una subunidad .....	27
Figura 3.1. Ubicación del área de estudio. ....	32
Figura 3.2. Marco de plantación de la huerta de estudio (3.5 m de espaciamiento entre árboles y 6 entre hileras).....	33
Figura 3.3. Fuentes de abastecimiento de agua, a) controla 4 seccionamiento y b) controla 8 secciones de riego. ....	34
Figura 3.4. Las válvulas de seccionamiento de paso angular rm de 2" oblicuas plasson. ....	34
Figura 3.5. Laterales y emisores que se deben seleccionar para evaluar una sección de riego por goteo.....	38
Figura 3.6. Medición del volumen de agua suministrada por los emisores.....	39
Figura 3.7. Medición de la presión al final de la línea regante.....	40
Figura 3.8. Dibujo de la línea principal, fuente de agua y la bomba en el bloque de riego de IrriCAD. ....	49
Figura 3.9. Ejemplo de un reporte de uniformidades de un bloque de riego de irricad. ....	50
Figura 3.10. Ejemplo del diseño de un bloque de riego por goteo de irricad. ....	51
Figura 3.11. Diagrama de uniformidad de aqua flow 3.2. ....	52
Figura 4.1. Uniformidades de distribución para los tres bloques de riegos evaluados en una huerta de manzana, en arteaga, coahuila.....	54
Figura 4.2. Distribución de los gastos calculados en las laterales del bloque 1.....	57
Figura 4.3. Distribución de los gastos calculados en las laterales del bloque 2.....	58
Figura 4.4. Distribución de los gastos calculados en las laterales del bloque 3.....	58
Figura 4.5. Uniformidades de distribución para los tres bloque de riego evaluadas obtenido por el mef una huerta de manzana, en arteaga, coahuila. ....	59
Figura 4.6. Comparación de los gastos aforados contra los calculados en el bloque 1. ....	60
Figura 4.7. Comparación de los gastos aforados contra los calculados en el bloque 2. ....	61
Figura 4.8. Comparación de los gastos aforados contra los calculados en el bloque 3.....	61
Figura 4.9. Especificaciones del bloque 1 de riego por goteo integrado diseñado en irricad.62	

Figura 4.10. Bloque de riego con manguera de goteo integrado para un área de 0.92 ha. ...	63
Figura 4.11. Especificaciones del bloque 2 de riego por goteo integrado diseñado en irrigad	64
Figura 4.12. Bloque de riego con manguera de goteo integrado para un área de 0.90 ha. ...	64
Figura 4.13. Especificaciones del bloque 3 de riego por goteo integrado diseñado en irrigad. .....	65
Figura 4.14. Bloque de riego con manguera de goteo integrado para un área de 0.90 ha. ...	66
Figura 4.15. Reporte de las especificaciones generales de la línea regante de 106 de longitud del primer bloque de riego.....	67
Figura 4.16. Gráfica del caudal del gotero en el bloque 1 de riego.....	68
Figura 4.17. Diagrama de la uniformidad del bloque 1 de riego. ....	68
Figura 4.18. Reporte de las especificaciones generales de la línea regante de 106 de longitud del segundo bloque de riego. ....	69
Figura 4.19. Gráfica del caudal del gotero en el bloque 2 de riego.....	70
Figura 4.20. Diagrama de la uniformidad del bloque 3 de riego. ....	70
Figura 4.21. Reporte de las especificaciones generales de la línea regante de 106 de longitud del tercer bloque de riego. ....	71
Figura 4.22. Gráfica del caudal del gotero en el bloque 3 de riego.....	72
Figura 4.23. Diagrama de la uniformidad del bloque 3 de riego. ....	72

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Exponentes de descarga de los emisores (Pizarro, 1990).....	13
Cuadro 2.2. Clasificación de la calidad de los emisores según el coeficiente de variación de fabricación.....	13
Cuadro 3.1. Muestra la plantilla de registro de datos de campo.....	40
Cuadro 3.2. Plantilla de excel para el análisis del gradiente hidráulico de la línea regante. ..	42
Cuadro 3.3. Plantilla de excel para el análisis de la línea distribuidora. ....	44
Cuadro 3.4. Plantilla de excel para el cálculo de las uniformidades calculadas.....	46
Cuadro 3.5. Plantilla de excel para el cálculo de las uniformidades aforadas. ....	46
Cuadro 4.1. Resultados de las condiciones físicas de los componentes del sistema de riego. ....	56
Cuadro 4.2. La uniformidad de emisión (eu%), en los tres métodos de diseños de los tres bloques de riego.....	73
Cuadro 4.3. Muestra el análisis de varianza. ....	73
Cuadro 4.4. Horas de riego aplicadas a los árboles de la huerta en los meses del ciclo de producción considerando la lluvia efectiva.....	75
Cuadro 4.5. Horas de riego aplicadas a los árboles de la huerta en los meses del ciclo de producción sin considerar la lluvia efectiva.....	75

FACTORES DE CAMPO QUE ALTERAN LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO POR  
GOTEO EN UNA HUERTA DE MANZANO (*Malus domestica*Borkh) EN LA SIERRA  
DE ARTEAGA, COAHUILA.

Aracely Toribio Ferrer

**RESUMEN**

La presente investigación para tesis se llevó a cabo en la localidad del Tunal, municipio de Arteaga, Coahuila, México, donde el objetivo del estudio fue evaluar los factores de campo que alteran la uniformidad del riego por goteo en una huerta de manzano (*Malus domestica*Borkh), evaluando por medio del parámetro de la uniformidad en tres Bloques de riego y utilizando cuatro métodos de diseño: MEF, AquaFlow 3.2 e IrrCAD y un método de campo, encontrando uniformidades del orden de 82%, 90.6%, 96.2% y 78% respectivamente, mismas que fueron explicadas por las variaciones de presión en la red de tuberías, las propiedades hidráulicas del emisor y las normas básicas de mantención y operación, contribuyeron a identificar las causas que producen la baja uniformidad de emisión y de las correcciones necesarias para mejorar la uniformidad.

Se aplicó un método estadístico de análisis de varianza en los bloques de riego en cuatro metodologías de diseños en donde tres de los métodos de diseño mostraron mayor uniformidad de emisión que eran calculados, mientras que el método de campo resultó la más baja de los métodos. Y obteniendo los resultados de la uniformidad en cada bloque se permitió valorar si los elementos, sus características de diseño, mantenimiento y manejo son adecuados, así como comprobar si todo el cultivo recibe la misma cantidad de agua o en su caso determinó las diferencias de forma que se pueda cumplir el objetivo primordial del riego, satisfacer las necesidades de agua al cultivo.

La información agroclimática en frecuencia y cantidad se obtuvo de la estación Rancho Roncesvalles, en la red de clima del INIFAP. Las horas de riego y las fechas de aplicación fueron obtenidas por el productor cooperante. Al mismo tiempo se formularon recomendaciones para el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de riego por goteo, para así mantener un alto nivel de funcionamiento con los parámetros de operación dentro de los rangos estandarizados aceptables.

**Palabras Clave:** Riego por Goteo, Evaluación, Uniformidad de Emisión, Software IRRICAD, Software AquaFlow 3.2, Método del Elemento Finito.

FIELD FACTORS ALTERING DRIP IRRIGATION UNIFORMITY IN A GARDEN OF  
APPLE (*MalusdomesticaBorkh*) IN SIERRA DE ARTEAGA, COAHUILA.

Aracely Ferrer Toribio

**ABSTRACT**

This thesis research was conducted in the town of Tunal municipality of Arteaga, Coahuila, Mexico, where the aim of the study was to evaluate factors that alter field uniformity of drip irrigation in an orchard of apple (*MalusdomesticaBorkh*), evaluated by means of the parameter of uniformity in three blocks irrigation and design using four methods: MEF, AquaFlow 3.2 and IrriCAD and field methods, finding uniformities of the order of 82%, 90.6%, 96.2% and 78% respectively, which were explained by variations in pressure in the piping system, the hydraulic properties of the issuer and general standards of maintenance and operation, contributed to identifying the causes of the low emission uniformity and the necessary corrections to improve uniformity.

A statistical method of analysis of variance was applied to the blocks irrigation four methodologies designs where three design methods showed higher output uniformity since they were calculated, while the field method was the lowest of the methods. And getting the results of uniformity in each block is possible to assess whether the elements, its design features, maintenance and management are adequate, and to check if all the crop receives the same amount of water or possibly determined the differences in shape that can meet the primary objective of irrigation water to meet the needs of the crop

The agroclimatic information on frequency and quantity was obtained from the Rancho Roncesvalles station in the network weather INIFAP. Watering times and implementation dates were obtained by the cooperating producer. At the same time, recommendations for preventive and corrective maintenance of drip irrigation system were made in order to maintain a high level of performance with operating parameters within acceptable ranges standardized.

**Keywords:** Drip Irrigation, Assessment, Emission Uniformity, IrriCAD Software, Software AquaFlow 3.2, Finite Element Method.

## I. INTRODUCCIÓN

En México, el manzano es uno de los frutales de clima templado de mayor importancia. La producción de manzana se ha incrementado notablemente en los últimos años, esto debido a una mayor demanda del producto a nivel nacional e internacional (SAGARPA, 2013).

En 2013, la superficie sembrada del cultivo del manzano fue de 62,561.81 ha, con una producción de 858,607.87 toneladas y con un rendimiento promedio de (14.50 t/ha) (SIAP, 2012). Los estados que cuentan con condiciones propicios para la producción intensiva de manzana son: Chihuahua (28,410 ha), Durango (10,101 ha), Coahuila (7,028 ha) y Puebla (8,897 ha); también se le puede encontrar en menor producción en Nuevo León (1,898 ha), Zacatecas (1,201 ha) y Chiapas (1,145 ha) (SIAP, 2013).

La sierra de Arteaga se caracteriza por tener una topografía irregular pero con un clima muy propicio para la producción del manzano. El manzano es el principal frutal del sureste en el estado de Coahuila, actualmente se reportan 7,028 ha, con una producción de 39.95 t, y 5.7 t/ha, en rendimiento, de las cuales el 44% se considera de riego (SIAP, 2013). La única fuente de abastecimiento de agua son pozos profundos.

La variedad predominante es Golden Delicious la cual ocupa el 85% de las huertas, y algunos de sus mutantes; Red Delicious con 14 % y criollas con un 1 % (SIAP, 2013). En la clasificación taxonómica se identifica el manzano con el nombre científico *Malus communis* (Linnaeus) y sus sinónimos mencionados por Bucca (2007), son *Malus domestica* (Baumg); *Pyrus malus* (Linnaeus); *Malus pumila* (Mill.); *Malus acerba* (Merat.); *Malus communis* (D.C.); *Malus domestica* (Borkh).

Uno de los principales problemas en la producción del manzano en esta región es la escasa disponibilidad del agua para riego, por lo tanto se ha incrementado el interés por mejorar su aprovechamiento.

Dentro de los métodos avanzados de riego uno de los más recientes es el riego por goteo y su aplicación de esta difundiéndose ampliamente a nivel mundial sobre todo en regiones donde existe escasez del recurso hídrico o épocas críticas de precipitación durante los ciclos agrícolas.

El riego por goteo es un sistema que aprovecha al máximo el agua, dando a cada planta la que necesita y en el momento oportuno. Es una alternativa viable en las huertas de manzanos en Arteaga, Coahuila, en donde el déficit de agua y el aumento de la zona a regar ha llevado a situaciones de conflicto en el uso del recurso hídrico.

En la actualidad, una importante cantidad de sistemas de riego presentan deficiencia en su funcionamiento principalmente a consecuencias de diseños inadecuados por falta de asesorías técnicas, por fugas de agua en las tuberías, conexiones y accesorios, espaciamientos incorrectos, reducción de presión en las tuberías, horarios o periodos de riegos muy largos y principalmente en las obstrucciones de emisores. Por tal motivo se hace necesario evaluar los parámetros que afectan o alteran la uniformidad de riego por goteo, para evitar pérdidas innecesarias de agua.

La huerta los Halcones ubicada en el cañón el Tunal, municipio de Arteaga, Coahuila, se encuentra instalado un sistema de riego por goteo en un área aproximadamente de 12 ha. Al principio la huerta fue diseñada en riego por Aspersión y tiempo después se realizó un cambio a Micro aspersión y en la actualidad está diseñada por goteo en mangueras con goteros integrados.

Por estas razones, se presenta la interrogante, de cuál es la situación actual del sistema. Para ello se propone realizar la evaluación técnica del sistema de riego regando el cultivo de Manzano (*Malus domestica Borkh*), considerando las adaptaciones realizadas por el productor.

Con los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas, se presentarán las recomendaciones necesarias al productor, para así obtener en el futuro un mejor sistema, eficiencia en el uso del agua y un incremento en la producción.

## 1.1. Hipótesis

La hipótesis se planteó para cotejar los diseños para un sistema de riego por goteo configurados con la aplicación de tres programas de cómputo (IrriCAD, Elemento Finito y AquaFlow 3.2) y revisar su semejanza para el sistema físicamente instalado en campo, considerando los mismos criterios y el porcentaje de Uniformidad de Emisión (%EU).

***H<sub>0</sub>***: %EU Método en campo = %EU Algoritmo de diseño,

***H<sub>a</sub>***: %EU Método en campo  $\neq$  %EU Algoritmo de diseño.

La prueba de hipótesis se realizó en base al gasto de los goteros, comparando el gasto estimado contra el gasto aforado para 16 goteros seleccionados dentro de los bloques de riego de acuerdo a la norma ASAE, EP458.

## 1.2. Objetivos

1. Evaluar los factores de campo que modifican o alteran los parámetros originales del diseño en una huerta de Manzano (*Malus domestica*Borkh) cv. Golden.
2. Exponer las razones por las cuales se presentan diferencias en los resultados del diseño; éste objetivo si la Hipótesis alternante(*H<sub>a</sub>*) resultara aceptada.
3. Plantear y determinar alternativas y recomendaciones agronómicas e hidráulicas para el funcionamiento del sistema de riego por goteo con el fin de mejorar la eficiencia y la productividad del dicho sistema.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia económica y social del manzano

En México, el manzano es el frutal de clima templado de mayor importancia. En los últimos años la producción de esta fruta ha aumentado notablemente debido a su alta demanda a nivel nacional e internacional. El consumo per cápita de manzana en México paso de 3.7 a 7.9 kg de 1980 a 2011 (SAGARPA, 2013).

### 2.2. Generalidades del riego por goteo

Se define como riego por goteo a una aplicación precisa, lenta y frecuente del agua al suelo, en una zona más o menos limitada del volumen radicular, mediante un punto o una línea de emisores sobre o bajo superficie del suelo, que a su vez funciona con baja presión de trabajo (-20 a -200kpa) y bajo caudal (0.6 a 20 L/h), alcanzando un mejoramiento parcial de la superficie del suelo.

Un sistema de riego por goteo es aquel donde se aplica agua filtrada (y fertilizante) dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual. En los arboles sembrados en huertas y otros cultivos ampliamente espaciados, esto se realiza utilizando líneas laterales que corren a lo largo de cada hilera del cultivo. Los “emisores” que son anexados a la línea lateral suministran las necesidades de agua a cada planta.

Con un sistema de riego por goteo, el agua puede ser suministrada al cultivo con base en una baja tensión y una alta frecuencia, con lo cual se crea un ambiente óptimo de humedad necesaria en el suelo. (Casillas y Briones, 1986).

#### ¿Qué es el riego por goteo?

(Nakayama y Bucks, 1986), señalan que el riego por goteo es la baja aplicación de agua en o debajo del suelo, por goteo superficial, goteo sub-superficial, el agua es aplicada en forma de gotas discretas o continuas donde un pequeño

volumen de agua es descargado en el punto de emisión (gotero). Es el sistema de riego localizado más popular, donde los goteros usualmente trabajan con presiones de  $1 \text{ kg/cm}^2$ , normalmente conocido como kilo; entregan al cultivo caudales desde 2 a 6 litros por hora (L/h).

El riego por goteo de acuerdo con (López *et al.*, 1992), se clasifica conforme al tipo de emisor utilizado:

- Riego por goteo superficial: Las tuberías laterales y goteros son superficiales.
- Riego subterráneo: En este tipo de goteo las líneas regantes van enterradas entre 20 y 30 centímetros, donde los goteros aportan el agua a esa profundidad. Su inconveniente es que los emisores tengan obstrucciones y esto dificulta detectar fallos en el sistema así como su reparación.

(Medina, 1988), lo define como aquel sistema que para conseguir mantener el agua en la zona radicular en las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. De esta forma el agua es conducida por conductos cerrados desde el punto de toma hasta la misma planta, a la que se aplica por medio de dispositivos que se conocen como, goteros o emisor el modelo de balance hídrico.

El éxito del riego por goteo depende de una serie de factores agronómicos, ingenieriles y económicos.

### **2.2.1. Características del Riego por Goteo**

El riego por goteo posee grandes características que lo hace dominante de entre todos los sistemas de riego. Sus principales características son:

- El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical.
- No se moja todo el suelo, sino únicamente una parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del emisor y el tiempo de aplicación y el principal medio de propagación del agua es el suelo.
- El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión de agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es cercano a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas

de riego, pues habría que regar diariamente y se producirían encharcamientos y asfixia radicular.

- Requiere un abonado frecuente, pues como consecuencia del movimiento permanente del agua en el bulbo, puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.
- Utiliza pequeños caudales a baja presión y se opera con la frecuencia necesaria para lograr un alto contenido de humedad en el suelo (riego de alta frecuencia).

### **2.2.2. Ventajas y Desventajas de Riego por Goteo**

A su vez el riego por goteo posee también ventajas y desventajas.

Ventajas: Ahorro de agua, ahorro de mano de obra, se riega en diferentes tipos de topografía y casi en cualquier tipo de suelo, uso óptimo y ahorro de fertilizante, no existe interferencia a causa de los vientos, se puede aplicar agua con un alto contenido de sales, mejora la penetración de las raíces, puede operar en suelos con muy baja tasa de infiltración, minimiza la formación de costras en la superficie del suelo y al mismo modo no altera la estructura del suelo. Se obtienen algunos beneficios agronómicos adicionales como:

- Se facilita el control de las malezas en el terreno (debido a que no moja todo el terreno).
- Aumento en la producción y calidad de los frutos (debido al bajo esfuerzo de humedad del suelo).
- Riego continuo del cultivo sin problemas de asfixia radicular.
- Fertilización a través del agua de riego, aumentando la eficiencia de aplicación.
- Permite realizar otras culturales, ya que la maquinaria y los trabajadores pueden transitar libremente por el terreno (o está todo mojado)
- Evita la lixiviación de los nutrientes del suelo.
- Se reduce el control sanitario notablemente.

Desventajas: El costo inicial es elevado; taponamiento de emisores; riesgos de ensalitramiento en caso de utilizar agua con alto contenido de sales sin realizar lavado periódicamente; no es recomendable para cultivos de cobertura total; se requiere capacitación de los usuarios en el manejo del equipo instalado; desconocimiento del método de riego; fertilizantes que se ocupan deben de ser lo suficiente solubles para evitar taponamiento de emisores; posibilidad de una mayor incidencia a las plagas y enfermedades debido a la alta humedad del suelo; peligros de salinidad.

### **2.3. Componentes de un Sistema de Riego por Goteo**

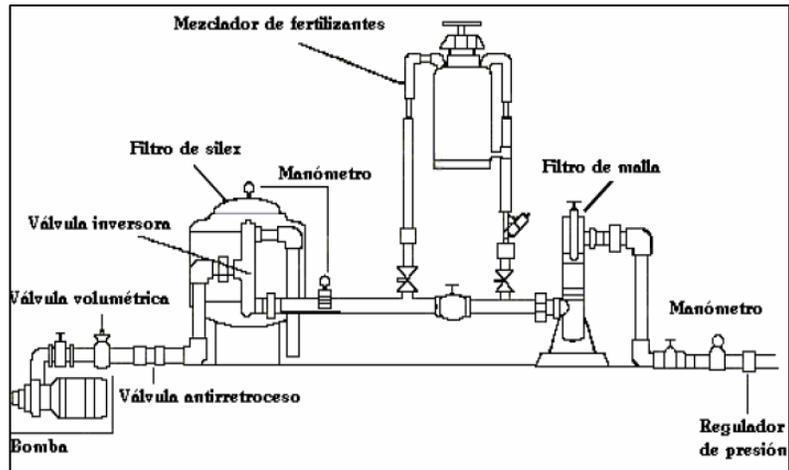
Todos los elementos que pueden entrar a formar parte del equipo necesario de un sistema de riego por goteo, consiste principalmente en tres componentes: Un sistema de carga (cabezal de riego), una red de tuberías de distribución, y emisores.

- Cabezal del riego:

Un cabezal de riego es un conjunto de elementos los cuales hacen las funciones de bombeo, filtrado, medición, suministros y control de la presión del agua de riego, que será entregada a la red de distribución. En algunos casos permite la fertilización. En riego localizado lo usual es contar con un sistema de bombeo que toda al agua de la presión necesaria para alcanzar el punto más lejano de la red. El sistema de filtrado es el componente principal del cabezal, compuesto por tipos de filtros con los que se pretende eliminar las partículas y elementos que lleva el agua en suspensión y pueden ocasionar obturaciones en cualquier parte de la red de riego, principalmente en los emisores. El cabezal suele contar también con un equipo de fertirriego para añadir el fertilizante al agua. El Cabezal de riego incluye los siguientes elementos y como muestra en la figura 2.1.

- a) Bomba
- b) Equipo de Filtrados
- c) Medidor de gasto
- d) Manómetros de presión

- e) Inyector de fertilizantes
- f) Válvula de control
- g) Regulador de presión
- h) Unidad de control automático



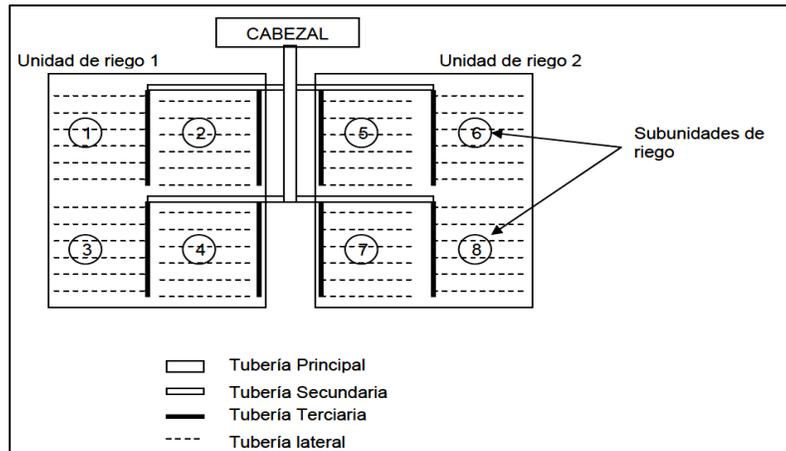
**Figura 2.1.**Componentes generales de un cabezal de riego localizado (Fernández, 2010).

- Red de tuberías de distribución:

La red de distribución consiste en un sistema de tuberías, ajuste de tuberías, emisores y un circuito de válvulas que adaptan a la red que lleva el agua tratada y filtrada desde el cabezal de riego hasta los puntos de descarga (emisores). Está conformada por los siguientes elementos, como se aprecia en la figura 2.2.

- a) Tubería principal: Es la que transporta el agua desde el cabezal hasta las unidades de riego.
- b) Tubería Secundaria: Es la que deriva de la línea principal y conduce al mismo modo distribuye el gasto requerido por cada unidades de riego.
- c) Tubería Terciaria: Es la que entrega el agua a las subunidades de riego también conocida como Manifold o Distribuidora.
- d) Líneas Laterales: También conocidas como líneas regantes, y en estas líneas van insertados lo goteros y corren perpendicular a los distribuidores.

e) Elementos de conexiones: Arreglan parte importante en la red de distribución de agua, ya que son piezas especiales diseñadas para empalmar tubos o reducir diámetros, cambiar direcciones o conexiones.



**Figura 2.2.**Componentes generales de una red de distribución en riego localizado (Fernández, 2010).

- **Emisores**

Son los elementos de la red que producen, controlan la salida del agua desde los laterales y de derivación del agua desde una tubería al exterior. Lo más frecuente es que los emisores estén equidistantes unos de otros, para que no se unan los bulbos húmedos, aunque también existen emisores que se aplican de forma continua, que crea una banda de humedad en el suelo.

## 2.4. Emisores

El riego por goteo debe su éxito a la aplicación del agua en la zona radicular, función desempeñada por los emisores o goteros, de manera que por su vital importancia, existe gran diversidad en el mercado, que se adaptan a las condiciones de cada situación en particular. (Valverde, 2007).

Los goteros o emisores son disipadores de energía de presión del agua en gotas. La disipación de la energía es la fracción del fluido al pasar a través de un conducto cerrado y en las pérdidas de energía localizadas, debidas a accidentes en la trayectoria del fluido o a una combinación de ambos.(Fernández, 2010).

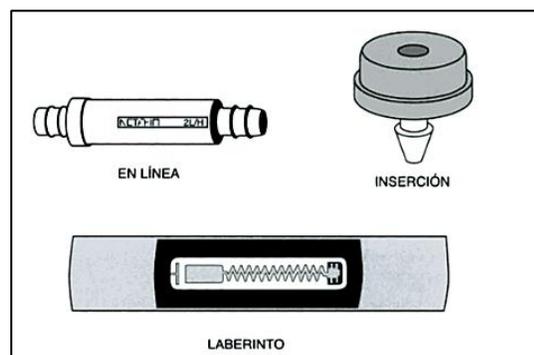
Características que debe reunir un gotero:

Caudal pequeño, pero constante y poco sensible a las variaciones de presión; orificio suficientemente grande para evitar obstrucciones y al mismo tiempo debe ser fácil de limpiar, reponer y de bajo costo; de gran duración, que pueda soportar las condiciones adversas de clima.

**2.4.1. Clasificación de emisores**

Valverde (2007), menciona que según la forma de disipar la presión, los goteros se pueden clasificar en los siguientes tipos y como se puede observar en la figura 2.3.

- De sendero largo, que pueden ser de flujo laminar o turbulento. Se denomina “laminar” cuando el agua pasa por una rosca o sendero de sección transversal a una velocidad muy baja; el turbulento funciona igual pero la sección transversal es mayor y el agua pasa a mayor velocidad.
- Laberinto, cuando el agua pasa por departamentos.
- Inserción, cuando el agua pasa por una inserción.



**Figura 2.3.** Clasificación de goteros según formas de reducir presión (Valverde, 2007.)

Dependiendo del tipo de curva de gasto del gotero, es decir, del caudal que suministre según la presión a la que esté trabajando, los goteros se denominan:

- No compensantes: El caudal cambia cuando la presión aumenta, a mayor presión mayor caudal.
- Auto-compensantes: De acuerdo a los límites de presión que indica el fabricante el caudal no varía.

#### **2.4.2. Aspectos hidráulicos de goteros y cintas de riego**

Tarjuelo et al.(1999), aseveran que las características hidráulicas de cada emisor están directamente relacionadas con el régimen de flujo de agua cuando ésta atraviesa cada emisor, el cual está caracterizado por el número de Reynolds.

$$Re = V * D/\nu$$

Donde:

**V**= es la velocidad media.

**D**= el diámetro.

**$\nu$** = la viscosidad cinemática.

#### Relación caudal-presión

García y Briones, (1986), afirman que el caudal que descarga un emisor está relacionado con la presión hidráulica existente a su entrada, de acuerdo a la relación caudal-presión, la ecuación representativa es la siguiente:

$$q = K H^x$$

Dónde:

q= caudal del emisor (LPH).

K= coeficiente de descarga (adimensional).

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

x= exponente de descarga (adimensional).

Los valores K y x son característicos de cada emisor. Según López, *et al.* (1992), mencionado por (Muñoz, 2002), para reducirlos se aplican las siguientes fórmulas a los datos o pares de valores de caudal-presión.

$$x = \frac{\ln \frac{q1}{q2}}{\ln \frac{h1}{h2}} K = \frac{q1}{h1^x}$$

Dónde:

x= es adimensional.

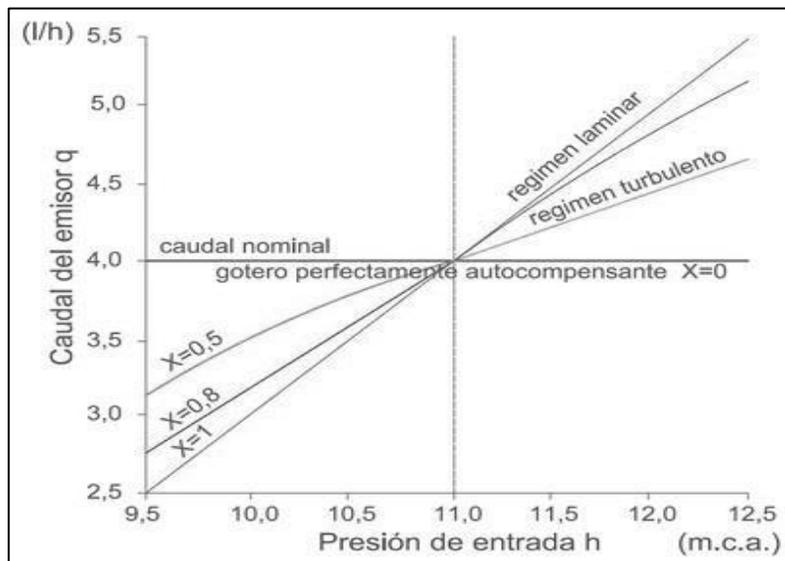
q1= primer gasto del emisor (L/h).

q2= segundo gasto del emisor (L/h).

K= es adimensional.

h1= primera carga del emisor.

El exponente de descarga x, es una medida de la sensibilidad de los emisores a la variación de presión, la relación carga – gasto, se representa gráficamente en la figura 2.4.



**Figura 2.4.** Gráfica de Relación de Carga vs Gasto (Loboa, 2011).

En el Cuadro 2.1, se señalan algunos valores del coeficiente de descarga x de la sensibilidad de variación de los emisores a la presión.

**Cuadro 2.1.**Exponentes de descarga de los emisores (Pizarro, 1990).

<b>Emisor</b>	<b>x</b>
- De régimen laminar	1
- Microtubos	0.75 - 1
- Helicoidal	0.65 - 0.75
- De régimen turbulento (orificio, de laberinto)	0.5
- Vortex	0.4
- Autocompensate	0 - 0.4
- Teórico perfectamente autocompensante	0

### Coefficiente de variación

El Coeficiente de variación ( $C_v$ ) de fabricación de un emisor es un buen indicador de la variabilidad de los caudales proporcionados por emisores nuevos, debiendo suministrarse por los fabricantes los valores esperados para los  $C_v$  de los respectivos emisores, aunque puede ser obtenido por los usuarios en ensayos de laboratorio poniendo a funcionar por lo menos 50 emisores simultáneamente. La variabilidad de fabricación se clasifica en el cuadro 2.2, de acuerdo a la EP 405.1, ASAE, 2003 mencionada por (Tarjuelo, 2010).

**Cuadro 2.2.**Clasificación de la calidad de los emisores según el coeficiente de variación de fabricación.

<b>Clasificación</b>	<b><math>C_v</math></b>
<b>Emisores por punto</b>	
Excelente	< 0,05
Buena	0,05 a 0,07
Marginal	0,07 a 0,11
Mala	0,11 a 0,15
Inaceptable	> 0,15
<b>Emisores en línea continua</b>	
Buena a excelente	< 0,10
Media	0,10 a 0,20
Mala a inaceptable	> 0,20

## 2.5. Generalidades del Diseño Hidráulico del Riego Localizado

El diseño hidráulico determina los componentes, dimensiones de la red y funcionamiento de la instalación del riego, de esta manera para que se puedan aplicar las necesidades de agua al cultivo en el tiempo que se haya establecido, que se analizó en el diseño agronómico (Fernández, 2010).

El mismo autor menciona que la longitud de las tuberías laterales o regantes está determinada por la topografía del terreno, es menor la longitud cuando la pendiente es en contra (ascendente) y aumentando cuando la pendiente es a favor (descendente). En terrenos en los cuales la pendiente es muy elevada, es aconsejable instalar las tuberías laterales siguiendo las curvas de nivel, mientras que si la pendiente es muy irregular, debemos de recurrir a los emisores Auto-compensantes para así mantener constante la presión y caudal del emisor, usando auto-compensantes se puede aumentar las longitudes de las laterales de riego. A la tubería distribuidora o manifold lo más recomendable es que se le proporcione el agua en el punto más alto para que las pérdidas de carga sean menos por la pendiente.

Braltset *al.*(1981), afirma que el agua que aportan los emisores deberá ser lo más uniforme posible, es decir, todos los emisores deberán aplicar aproximadamente la misma cantidad de agua, por lo que la uniformidad constituye el punto de partida del diseño hidráulico de cualquier instalación de riego localizado. Para lograr una buena uniformidad es necesaria:

- Que todos los emisores de la instalación sean de buena calidad, garantizados por el fabricante y que cumplan las normas de calidad.
- Que la presión del agua en todos los emisores sea lo más parecida posible, para lo que habrá que dimensionar la red correctamente.

El agua dentro de su recorrido por la instalación va perdiendo presión como consecuencia de su paso por conexiones, rozamientos con las paredes de las tuberías, cambios bruscos de dirección, cuando pasa por los filtros, etc. A esta pérdida de presión se le conoce como pérdida de carga. De igual manera, también

se producirán pérdidas de presión cuando el recorrido del agua en la tubería sea ascendente, mientras que ganará presión cuando sea descendente.

## **2.6. Evaluación de un Sistema de Riego por Goteo**

En un sistema de riego por goteo, la eficiencia de aplicación del agua puede ser muy alta. En general las pérdidas de agua pueden reducirse sustancialmente cuando el sistema está bien diseñado, operado y mantenido; así describe (Bralts et al. 1987).

Menciona (Fernández, 2010), que la evaluación del funcionamiento de un sistema de riego es un procedimiento por el que se puede comprobar su correcto funcionamiento de forma que se pueda cumplir el objetivo primordial del riego, satisfacer las necesidades de agua al cultivo. También permitirá valorar si los elementos, sus características de diseño, mantenimiento y manejo son adecuados, así como comprobar si todo el cultivo recibe la misma cantidad de agua o en su caso determinar las diferencias. Dicho autor describe los principales puntos a tener en cuenta a la hora de realizar una evaluación son los siguientes:

- Comprobar el estado de los diferentes componentes de la instalación y si el manejo de los mismos es el adecuado.
- Determinar la uniformidad en la distribución del agua de riego
- Evaluación del manejo de riego
- Detectar y analizar los problemas de funcionamiento de la instalación y plantear las soluciones más sencillas y económicas.

Escobar (1979), describe que un sistema de riego por goteo se evalúa para recoger información acerca de: La eficiencia del sistema, el gasto aplicado, la uniformidad en la distribución, la uniformidad en la emisión y la capacidad del sistema.

El objetivo primordial de un buen diseño y operación de un sistema de riego por goteo, es proporcionar suficiente capacidad de flujo para una adecuada irrigación de las plantas menos favorecidas, por lo tanto, la relación entre el gasto medio,

mínimo y máximo dentro del sistema es un factor importante para la uniformidad de aplicación.

### **2.6.1. Evaluación de los componentes del sistema de riego por goteo**

Fernández (2010), señala que uno de los aspectos fundamentales a evaluar de un riego localizado es el buen funcionamiento de los equipos los distintos equipos, componentes, piezas, etc... Que forman parte de un diseño riego por goteo.

#### Equipos de Filtración.

Se debe de revisar el estado general de los filtros (arena, mallas o anillas), numero de filtros, localización de los filtros, capacidad de filtrado, filtros con limpieza automática o manual, presión a la entrada y salida de filtro, características y estado del elemento filtrante, frecuencia de limpieza de los filtros.

#### Equipo de Fertilización.

Evaluar el equipo de fertilización al menos dos veces por operación de riego para asegurar la correcta incorporación de nutrientes al cultivo, si el equipo está instalado en el cabezal de riego es imprescindible colocar un filtro de malla a continuación de este para eliminar las impurezas del abono y evitar posibles obturaciones en otros puntos de la red de riego; comprobar el tipo de equipo del que se dispone, su capacidad, la dosis del fertilizante y el pH del agua de riego en los último goteros, para ver si se adecua a las necesidades del cultivo en el riego y al establecido para el control de las obturaciones; comprobar si los inyectores (en caso de haberlos) funcionan correctamente y el estado del tanque fertilizante, que deberá limpiarse cada 15 días con agua a presión.

#### Elementos de control

En todos los elementos de control, reguladores, válvulas, limitadores, etc., que permiten controlar el caudal a aplicar y el paso del agua por un determinado punto de la red. En ellos pueden producirse fugas cuya detección será imprescindible para que la aplicación del agua de riego sea lo más uniforme posible en todo los emisores.

Para evitar esto, será necesario comprobar el estado y su funcionamiento de todas las juntas del sistema de riego. La evaluación del funcionamiento de los distintos automatismos es fundamental para conseguir una dosis y frecuencia de riego adecuada. También se observara el estado de todas las conexiones eléctricas con el fin de prevenir desgates, corrosiones, etc. Y determinar el momento de su limpieza.

### Unidades de riego

Para evaluar las secciones de riego se tomara nota del número de secciones, la superficie de cada una de ellas y el número de subunidades que la componen, también es conveniente realizar un croquis de la parcela en el que se señale la disposición de las distintas secciones y subunidades de riego. Y también señalar si al comienzo de la unidad o la subunidad se encuentra instalado algún contador del volumen de agua aplicada y anotar si el control de riego es por tiempo o por volumen, identificar la existencia de manómetros para el control de la presión, tipo, cantidad, capacidad de medición y unidades.

### Laterales y emisores

Los últimos componentes que se consideran en la evaluación de un sistema de riego son los laterales y los emisores; de los laterales se deben señalar los diámetros y su posición respecto a las plantas. La evaluación de los emisores consistirá en la toma de datos acerca de su tipo y caudal nominal, del diámetro mínimo de paso de agua y por último de los distintos tratamientos que se realizan para prevenir las obturaciones. La detección de fugas y roturas tanto en laterales como en emisores es fundamental; de igual forma la detección y eliminación de obturaciones en los emisores ayudara a conseguir una mayor uniformidad del agua aplicada y por tanto una mayor homogeneidad y rendimiento del cultivo.

## 2.7. Evaluación de la Uniformidad del riego por Goteo

Fernández, (2010), afirma que en un sistema de riego localizado es muy importante realizar una prueba de evaluación, ya que en ella se puede conocer si el agua de riego, los fertilizantes y productos químicos que se incorporen a ella se están aplicando de manera uniforme. Cuando la uniformidad de aplicación es baja se traduce en plantas con un exceso de agua y otras con déficit hídrico, además de un mal reparto de abono y productos químicos. Y por lo tanto todo ello supondrá una alteración del desarrollo del cultivo y de la producción. Y se menciona que en sistemas de riego por goteo, un parámetro que indica el adecuado funcionamiento, es el coeficiente de uniformidad, el cual puede tener dos aplicaciones principales:

- Prueba del sistema en el campo.- Conocer si el sistema está trabajando eficientemente o dentro de los límites que se fijan y si será necesario mejorar la eficiencia de operación y manejo.
- Para diseñar líneas regantes. Es una condición de diseño la cual va a establecer la mejor alternativa para garantizar que el sistema estará funcionando correctamente.

El riego por goteo puede ser evaluado por medio de parámetros de uniformidad, la mayoría requiere mediciones de caudal en un número representativo de goteros (emisores). Elegidos de acuerdo a una metodología definida, con el objeto de obtener una muestra representativa del sistema así menciona (Camp, 1997). Y en una evaluación de un sistema de riego localizado, se elige la sección de riego más representativa de la instalación, la cual debe de ser la del tamaño medio y con pendiente promedio, de ser posible que se encuentre en la zona central y que los laterales tengan longitud media, en otro caso también podría considerarse aquella unidad que tenga las condiciones menos favorables, la más alejada al cabezal, con laterales o tuberías más largas y con pendientes mayores.

Una vez que se ha elegido la sección de riego representativa, se elige la subunidad usando el mismo criterio que para la sección, primero se determina el coeficiente de uniformidad de la subunidad y después el de la sección. Para la uniformidad en campo se realizan la uniformidad de caudales y la de presiones. Si

las secciones de riego son poco uniformes en superficie y/o en forma, la evaluación se deberá hacer en todas y cada una de ellas y con el mismo criterio de deberá operar en las subunidades de riego (Fernández, 2010).

La uniformidad de aplicación del agua es afectada por tres factores.

- a) Presión de trabajo. La presión no es igual en todos los puntos del sistema.
- b) Propiedades hidráulicas del emisor. Las propiedades hidráulicas están en función del diseño, de la calidad del producto y temperatura del agua.
- c) Mantenimiento preventivo del sistema. Sistema con un deficiente mantenimiento presentan baja uniformidad de descarga. También aquellos que mezclan diferentes tipos de emisores en sectores de riego.

Martínez, (2001), menciona que la evaluación de las variaciones de presión en la red de tuberías, de las propiedades hidráulicas del emisor y las normas básicas de mantención y operación, contribuirá a identificar las causas que producen la baja uniformidad de aplicación y de las correcciones necesarias para mejorar la uniformidad.

La uniformidad de los sistemas de riego por goteo depende de las características de fluidos del emisor, tolerancias de fabricación del emisor (variabilidad en la descarga entre emisores operando a la misma carga de presión) y variaciones de presión en el sistema. Según (Keller y Karmeli, 1974). La descarga no uniforme es causada por diferencias de presión debido a la pérdida de fricción y elevación, variaciones entre emisores, debido a tolerancias de manufactura, temperatura del agua y el taponamiento de emisores debido a la inadecuada filtración o a la mala calidad del agua.

Los sistemas de riego por goteo son diseñados para descargar cantidades controladas de agua en la vecindad de las plantas. Uno de los principios elementales del riego por goteo es el mantener un alto control del agua aplicada para lograr un óptimo control, todos los emisores deben liberar la misma cantidad de agua, la cual no debe variar con el tiempo o con factores ambientales. (Parchomchuk, 1976).

Los parámetros para determinar la uniformidad son:

Según (Karmeli y Keller, 1974)

- 90 % Excelente
- 80% Buena
- 70% Aceptable
- <70% Pobre

Según el Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA)

- 94 % Excelente
- 86% Buena
- 80% Aceptable
- 70% Pobre
- <70% Inaceptable

### **2.7.1. Evaluación de la uniformidad de Distribución (Du%)**

El riego por goteo es considerado un método que permite alcanzar una mayor eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución que cualquier otro tipo de riego, cuya eficiencia y distribución son muy dependientes de la textura del suelo, longitud y espaciamiento de surcos, pendiente y tiempo de riego.

Provenzano et al. (2005), menciona que el sistema de riego por goteo permiten alcanzar altos valores de uniformidad de distribución dentro de cada sector y, además, entregar el agua en las proximidades de las raíces de las plantas, eliminando las perdidas por escurrimiento, disminuyendo la percolación profunda y permitiendo una alta eficiencia del riego.

Según (Karmeli y Keller, 1976), los datos para la evaluación de campo de la uniformidad de emisión (Eu), deben ser tomados a partir de descargas de los emisores en un mínimo de cuatro posiciones a lo largo de cuatro diferentes líneas laterales. Las posiciones para la colección de los 16 datos deben incluir los extremos y estar uniformemente espaciadas a través de toda la subunidad representativa de laterales. Esto se hace seleccionando al inicio, 1/3, 2/3 y al final de la distribuidora y se utiliza la misma metodología para la selección de los emisores en cada lateral y con una probeta o vaso graduado se medirá el volumen de agua suministrado por los

emisores que se hayan seleccionado en un tiempo determinado. Este tiempo será igual para todos ellos y con las medidas obtenidas se calculara el caudal.

El Coeficiente de Uniformidad debido a presiones se calcula igual que el de caudales, es decir, seleccionando un número determinado de emisores representativos de la subunidad de riego elegida, normalmente 16.

LaEu de la prueba de campo es la relación, expresada en porcentaje, de la descarga mínima promedio del emisor en la cuarta parte de los datos más bajos, con respecto a la descarga promedio general para todos los datos observados dentro del bloque; se expresa por la siguiente ecuación:

$$Eu = 100 \frac{qn}{qa}$$

Donde:

Eu=es una prueba de campo, del porcentaje de la uniformidad de emisión; (%).

qn= es la descarga mínima promedio que se localiza en la cuarta parte de los datos en el rango más bajo, se expresa en L/h ogph.

qa= es la descarga promedio del emisor de todos los datos de campo, L/h ogph.

Esta metodología fue ampliada y desarrollada por Karmeli y Keller, (1976) y mencionado por García y Briones (1986), para evaluar la uniformidad de emisión (Eu%), la cual está estandarizada por el ASABE (1996) y está siendo popularizada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos a través de su Servicio de Extensión, por lo mismo esta metodología es considerada relevante, congruente y pertinente en los programas de enseñanza en irrigación.

Cabe señalar que la metodología que maneja Merriam y Keller, (1978) es tomada como sinónimo de Uniformidad de Distribución (UD%), ya que no implica más que pruebas de campo que relaciona a la aplicación del agua, para lo cual tenemos que la ecuación final es expresada:

$$UD = 100 \frac{qn}{qa}$$

### 2.7.2. Evaluación del Coeficiente de Uniformidad (Cu%)

Una forma de evaluar los sistemas de riego, es mediante la medición de la distribución espacial del agua aplicada a los terrenos. El coeficiente CU es una expresión matemática que indica la variación de cantidades de agua recibida por el cultivo. Las variaciones son atribuidas a variabilidad de descarga de los emisores, variabilidad de presión dentro de la red, taponamiento por residuos orgánicos, presencia de material fino en las laterales y utilización de diferentes tipos de emisores dentro de la sección de riego. (Martínez, 2001).

Dicho autor menciona que es imposible tratar que todas las plantas reciban exactamente la misma cantidad de agua, pero si es necesario asentar ciertos límites a dicha variabilidad con el objetivo de obtener rendimientos y calidad de productos con un mínimo de agua y fertilizantes. Los Coeficientes de Uniformidad de agua como los propuestos originalmente por Christiansen, (1942) para riego por aspersión, y Karmeli y Keller, (1974), para riego por goteo, que indica la uniformidad con que se distribuye el agua aplicada en el suelo. Si la uniformidad es baja existirá mayor riego de déficit de agua en algunas zonas y de filtración profunda en otras. Dentro de los factores que afectan considerablemente al Coeficiente de Uniformidad de aplicación del agua, se encuentran los factores intrínsecos del diseño hidráulico de los sistemas de riego, los factores climáticos y los factores de funcionamiento. Se expresa en porcentaje con la siguiente ecuación:

$$Cu = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right)$$

Donde:

$x$  = lámina recolectada en cada punto de emisión.

$\bar{x}$  = lámina promedio.

$n$  = número total de emisores.

La expresión siguiente es la desviación estándar:

$$\left( \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \right)$$

De esta manera la ecuación final queda expresada por:

$$Cu = 100 \left[ 1 - \left( \frac{Desv.est}{qa} \right) \right]$$

Dónde: Cu= está expresado en porcentaje (%).

Desv.est= es la desviación estándar de los valores individuales de las láminas recolectadas.

qa= es la descarga promedio del emisor de todos los datos, L/h ogph.

### 2.7.3. Evaluación de la Uniformidad de Emisión (Eu%)

Keller y Karmeli(1974), 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:

$$Eu = 100 \left[ 1 - \left( \frac{1.27 * Cv}{\sqrt{\#e}} \right) \right] \left[ \frac{qn}{qa} \right]$$

Dónde:

Cv= es el coeficiente de variación de fabricación del emisor

#e= es el número de emisores por planta

qn= es la descarga mínima promedio que se localiza en la cuarta parte de los datos en el rango más bajo, se expresa en L/h ogph.

qa= es la descarga promedio del emisor de todos los datos, L/h o gph.

## 2.8. Factores que Afectan la Uniformidad del Riego

La uniformidad del riego es un parámetro que caracteriza a todo sistema, desde el diseño hidráulico hasta su mantenimiento en el tiempo. Los reportes de

Pizarro (1996), indican que la variación por manufactura y el taponamiento son los factores más importantes que afectan la uniformidad del riego por goteo. Al respecto, Nakayama *et al.*, (1981), encontraron que un porcentaje pequeño de emisores obstruidos puede reducir la uniformidad de aplicación de agua y Bratset *al.* (1981), informaron que esa obstrucción reduce el flujo total en la línea lateral y hace más alta la descarga de los emisores no obstruidos. Factores que afectan El coeficiente de uniformidad son:

- Tipo constructivo: Los procesos de fabricación y los materiales utilizados hacen que emisores de un mismo modelo, sean diferentes entre sí y que proporcionen caudales diferentes para una misma presión de trabajo. Además, existen en el mercado diferentes tipos y calidades de emisores cuyo funcionamiento en el tiempo es muy variable.
- Mal diseño: Un inadecuado diseño del sistema, en el filtrado, incide directamente en la obstrucción de los emisores. Asimismo fallas en el diseño hidráulico de tuberías y laterales pueden someter al sistema a diferentes pérdidas de carga y variación de presiones no acordes al emisor seleccionado.
- Obturaciones: Es uno de los principales problemas que se presentan en las instalaciones de riego. Éstas se pueden producir por causas físicas, químicas y biológicas. Entre las físicas se encuentran los sólidos en suspensión (arenas, limos y arcillas) los problemas biológicos son a causa de las algas, microorganismos y bacterias, por último las químicas que son los precipitados, siendo el más común el carbonato de calcio.
- Temperatura: En los sistemas de riego localizado, las laterales de riego están situadas en el terreno y están expuestas a la radiación solar, esto hace que cuando el agua se calienta provoque diferencias en la descarga de los goteros, sobre todo en los últimos. Medina (1981), explica la variación de descarga en los goteros a causa de la temperatura por dos parámetros: el diseño del emisor y el material de fabricación.

## **2.9. Mantenimiento del sistema de riego por goteo**

Un programa de mantenimiento incluye como medidas preventivas las siguientes: limpiar los filtros, lavar las líneas, agregar cloro e inyectar ácidos al sistema. La observación de estas medidas preventivas, puede evitar la necesidad de hacer reparaciones mayores, como reemplazar las partes dañadas y se puede extender la vida del sistema. El propósito del mantenimiento preventivo es evitar que los emisores se tapen, ya que los sólidos suspendidos, la precipitación de magnesio y Calcio, los óxidos y el sulfuro de Manganeso-Hierro, las algas, las bacterias y las raíces de las plantas pueden tapar los emisores.

Es importante asegurarse que el sistema tenga un medidor de caudal y un par de medidores de presión (manómetros), se recomienda colocar un manómetro antes de los filtros y otro después de los filtros.

### **2.9.1. Medidas generales de mantenimiento**

#### *Control visual*

Este control se realiza de acuerdo con la experiencia del encargado del sistema. Por lo general, en cada ciclo de riego se examina una parte del sistema, de manera tal que al final de cada semana se haya revisado todo el equipo.

#### *Comprobación de los laterales de riego a lo largo de los múltiples.*

Se debe comprobar la salida del agua por los primeros goteros de cada línea, lo que indica que el agua penetra en todo los laterales. Si se detecta una avería, es necesario examinar el segmento entre el primer gotero y el múltiple.

#### *Comprobación de los finales de línea*

Comprobar la llegada del agua a todos los finales de la línea, lo que indica que no hay líneas cortadas ni estranguladas. Si se detecta una avería es necesario revisar en todo lo largo del lateral para encontrarla y repararla.

### **2.9.2. Lavado de la red de tuberías**

Es necesario lavar la tubería de distribución. Este punto debe ser tenido en cuenta en el momento de preparar el diseño hidráulico, para poder preparar la tubería y facilitar el lavado, dejando válvulas de purga o lavado en los extremos. Si se trabaja con aguas muy sucias y con un alto contenido de sólidos en suspensión, el lavado debe realizarse varias veces durante la temporada. Las tuberías múltiples se lavan antes de conectarlas con los laterales de goteo, abriendo los finales de tubería y dejando correr el agua sin regular la presión, o sea a la presión más alta que el equipo permita (no más que la tolerable, para no dañarlo).

### **2.9.3. Obturaciones**

La obturación de los elementos de un sistema de riego localizado es el principal y más delicado problema que se presenta en este tipo de instalaciones, ya que su solución no es nada fácil. Cuando se producen obturaciones, el caudal de los emisores disminuirá en función del grado de obturación, por lo que las necesidades de agua del cultivo pueden quedar en algunos casos sin cubrir. Además, el grado de obturación no afectará de forma homogénea a todos los emisores del sistema, lo que originará diferencias en los caudales emitidos, esta variación de caudales producirá una disminución de la uniformidad y eficiencia de riego, que afectará de forma negativa el desarrollo homogéneo de todo el cultivo y con ello su rendimiento.

## **2.10. 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.

$$\text{gradiente hidráulico} = \frac{\text{carga}}{\text{recorrido}}$$

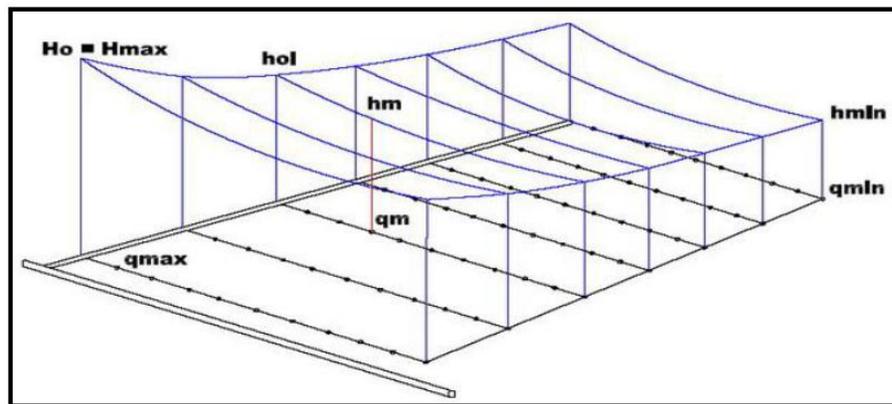
Donde:

Carga= es expresada en metros.

Recorrido= es expresada en metros.

Gradiente hidráulico= es adimensional.

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 2.5, 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 gotero en el campo de riego;  $h_{ol}$  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 goteros del campo;  $q_m$  caudal medio;  $h_{min}$  es la presión mínima de un gotero;  $q_{min}$  caudal mínimo de un gotero.



**Figura 2.5.**Distribución de la carga de presión en una subunidad

## 2.11. 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.

## **2.12. Software IRRICAD Pro 11**

IRRICAD Pro es un software para el diseño y optimización de sistemas de riego a presión asistido por ordenador avanzado (CAD). Mucho más que un simple programa de dibujo, combina las ventajas de dibujo CAD con una potente tubería hidráulica en la que incluye el tamaño y las técnicas de análisis de redes, y también proporciona la selección automática de accesorios de tuberías así menciona. IRRICAD fue desarrollado en Nueva Zelanda por AEI Software, se trata de un íntegro equipo basado gráficamente en paquete de diseño asistido por Ordenador desarrollada específicamente para el diseño de riego a presión o sistemas de abastecimiento de agua. Los sistemas que sepueden diseñar cubren toda la gama de pequeños sistemas de riego residenciales, césped comercial, riego hortícola, la

agricultura, riego en campos deportivos, sistema de riego por goteo, micro-riego por aspersión, líneas principales de la red y sistemas a presión por gravedad.

### **2.12.1. Características de IRRICAD Pro 11**

- Interfaz diseñada especialmente para entrar en los detalles del sitio y a los componentes del sistema más fácilmente.
  - Cálculo del diámetro y análisis automáticos de la tubería para redes de tubería con o sin circuitos cerrados.
  - Selección automática de los accesorios y generación de la lista de materiales.
  - Módulo de información integral para proporcionar diseño y costeo de los informes.
  - Patrones personalizables de los planos e impresión flexible en trazado de gráficos, impresoras o archivos PDF.
  - Representación gráfica de la operación del sistema.
  - Importación y exportación de archivos de imágenes y archivos de AutoCAD, incluyendo elevaciones.
  - Método avanzado para el cálculo y el uso de los datos de elevación en los cálculos hidráulicos.
  - Fácil entrada y subdivisión de grandes bloques de las zonas de riego.
  - Representación visual de errores en los datos importados.
  - Propiedad de etiquetado rápido y la generación automática de una leyenda, incluye válvulas, bombas y componentes de la instalación.
- Combinación de unidades métricas o inglesas.

### **2.12.2. Especificaciones Técnicas**

IRRICAD tiene una serie de características en la sección de entrada que mejoran el proceso de dibujo como acercar y alejar, la capacidad de mover, rotar y cambiar los elementos, diferentes grosores, colores y tipos, rejillas, y muchos otros. Un ejemplo muy útil es un enlace de selección, que es como poner una cuerda alrededor de la sección de su interés y le permite cambiar globalmente los elementos dentro del enlace muy rápidamente. Hay muchas más características de utilidad,

demasiados para enumerar aquí, pero todos destinados a hacer el trabajo de los diseñadores más fácil.

### **2.12.3. Ventajas del IRRICAD Pro 11**

- Un enfoque de sistemas integrados que la ahorra tiempo y dinero
- Hace más fácil el diseño y la lista de materiales.
- Logra una mejor precisión y limita los errores de diseño y presupuesto.
- Ofrece una respuesta más rápida a los clientes.
- Diseña sistemas que de otro modo serían más difícil analizar.
- Mejora la competitividad.

### **2.13. AquaFlow 3.2**

El software de riego AquaFlow 3.2 es un programa creado por Toro que ofrece a los diseñadores una herramienta de estado cambiante para configurar los sistemas de riego por goteo para un rendimiento óptimo utilizando de Toro Aqua-Traxx ® y Aqua-Traxx ® cinta de goteo PC, BlueLine ® Classic y BlueLine ® línea de goteo PC, así como una nueva línea de goteo con paredes delgadas. Además, permite a los usuarios diseñar con un número ilimitado de pendientes y telescopiar la distribuidora (manifold) poder elegir entre unidades métricas y seleccionar el tipo de idioma inglés o español. Este programa se encuentra en la página de Toro.com, puede ser descargado e instalado para empezar a utilizarlo. Toro ha creado una base de datos de productos de riego por goteo para el software IRRICAD, para poder simplificar aún más el diseño del riego y así poder vincularse con IRRICAD.

Hoy en día, diseñar un sistema de riego por goteo es más fácil y más preciso. AquaFlow 3.2 utiliza la última tecnología en diseño computarizado, técnicas de programación y formatos en pantalla para optimizar el diseño de un sistema de riego por goteo. Los ingenieros de diseño pueden evaluar más opciones rápidamente y eficazmente, mejorando la selección de componentes de un sistema de riego por

goteo. Esto resultará en un sistema de riego preciso, eficiente y de mayor rendimiento para el agricultor.

### **2.13.1. Características de AquaFlow 3.2**

- Compatible con nueva línea de goteo paredes delgadas del Toro.
- Establece un diseño con varias pendientes y un telescopio de la distribuidora.
- Disponible en lenguaje español y en unidades métricas.
- Posibilidad de imprimir los reportes y de importar, exportar diseños.
- Mapas de bloques con códigos de colores generados de forma instantánea que representan la uniformidad del sistema.
- Fácil comparación de dos selecciones laterales diferentes.
- Elección de múltiples distribuidoras y líneas principales de diferentes tamaños y tipos de tubería.
- Cálculos de lavado laterales y distribuidoras.
- Informes personalizables que pueden guardarse en varios formatos.

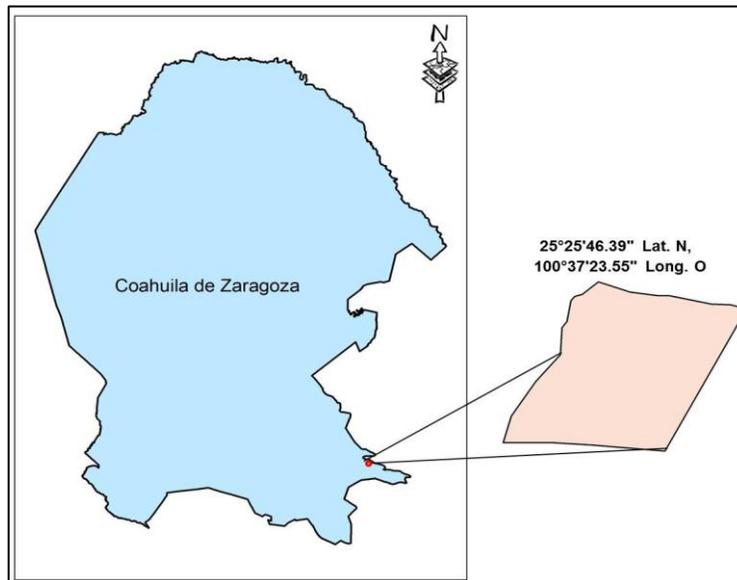
AquaFlow 3.2 se puede utilizar para crear diseños individuales de bloques, también se puede utilizar para crear diseños de líneas principales que suministren agua a múltiples bloques de riego. En este caso, tiene que crear un cliente y un proyecto para poder asignar múltiples bloques a ese proyecto. Entonces la línea principal podrá suministrar agua al bloque con varios segmentos y ser asociada con el proyecto.

Cualquier archivo de diseño o proyecto se puede imprimir, exportar o enviar por correo electrónico en cualquiera de los siguientes formatos: pdf, html, mht, rtf, xls, xlsx, csv, text, ó como archivo de imagen. Para esto puede seleccionar para imprimir el reporte del diseño de laterales, el reporte del diseño de comparación de laterales o ambos. También puede elegir imprimir archivos de diseño de bloques y de la línea principal que esté asociada con el proyecto seleccionado. El reporte puede ser personalizado con color y filigranas.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en la huerta Halcones, ubicada en el cañón El Tunal, municipio de Arteaga, Coahuila México. Dicha localidad se localiza en la parte sureste del estado de Coahuila, dentro de la zona montañosa que forma parte de la Sierra Madre Oriental. Las coordenadas geográficas son Latitud  $25^{\circ} 25' 45''$  N, Longitud:  $100^{\circ} 37' 30''$  W y una altitud de 2313 msnm; y en Sistema de Coordenadas proyectadas (UTM) son Norte 2813446.53 m, Este 336764.53 m, con una superficie de aproximadamente 12 ha de manzanos como muestra en la figura 3.1.



**Figura 3.1.** Ubicación del área de estudio.

#### Características del huerto.

La huerta tiene arboles establecidas de la variedad Golden Delicious, espaciados entre plantas a 3.5m y entre hileras a 6.0m, de 35 años de establecidos y de 3 .0 metros de altura promedio, como muestra la figura 3.2, con una textura de suelo de Migajón arcilloso; la calidad del agua que presenta, pH de 7.35 que significa

que es óptimo para el manejo de riego, con un CE de  $1.37 \mu\text{S}/\text{cm}$  y una temperatura de  $18.5^\circ \text{C}$  promedio. Los árboles de la huerta se riegan con un sistema de riego por goteo con goteros integrados a cada 1.75 metro y un gasto de aplicación de 2 gph. Los riegos se aplican cada tercer día, con 8 h/día de marzo a septiembre que corresponden a los meses del ciclo de producción del manzano en esta región.

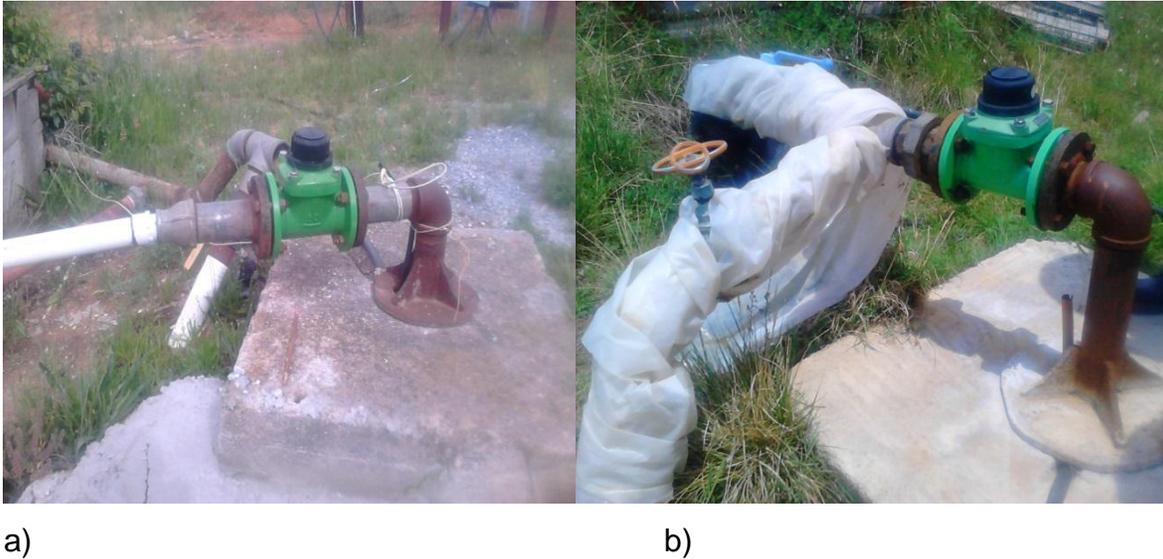


**Figura 3.2.**Marco de plantación de la huerta de estudio (3.5 m de espaciamiento entre árboles y 6 entre hileras)

#### Características del sistema de riego

El sistema de riego por goteo está compuesto por dos fuentes de abastecimiento de agua, cada una con una bomba sumergible (caudal 9 L/s, con una presión en el cabezal de (22 psi o 15.46 mca), el sistema está dividido en 12 subunidades de riego en 3 secciones de riego, el primer cabezal controla cuatro válvulas de seccionamiento figuras 3.3 a y b, las válvulas de seccionamiento son de paso angular RM de 2" oblicuas PLASSON como muestra en la figura 3.4 y el segundo cabezal controla 8 válvulas PLASSON mediante un sistema hidráulico. Los laterales están dispuestos a medio metro sobre la superficie del terreno a lo largo de las hileras, tienen un diámetro de 16 mm, con una distancia (en m) entre goteros de 1.75 y un caudal de 2 gph de Rain Bird, alimentados de una línea distribuidora de 3" de diámetro que distribuye por en medio de las secciones y abastece de los ambos

lados, la superficie por cada sección varía de 0.9 a 1 ha dependiendo de la topografía del terreno, ver (**Apéndice A**).



**Figura 3.3.**Fuentes de abastecimiento de agua, a) controla 4 seccionamiento y b) controla 8 secciones de riego.



**Figura 3.4.**Las válvulas de seccionamiento de paso angular RM de 2" oblicuas PLASSON.

### Aspectos Climáticos

El clima es uno de los parámetros más importantes a considerar en este proyecto debido a su gran influencia sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos de una determinada zona y por ende en la planificación del riego. De acuerdo a los datos suministrado por el UNIFAP (2013), de la estación Rancho Roncesvalles: Los parámetros climáticos analizados fueron los siguientes: Precipitación anual correspondiente al año 2013 fue de 644.8 mm; temperatura media mensual es de 13.34°C; la humedad relativa su valor promedio anual es de 60.09 %, lo que caracteriza la alta humedad en la zona; la velocidad del viento es la velocidad con la que el aire de la atmósfera se mueve sobre la superficie de la tierra su valor promedio anual fue de 2.50 km/h; la insolación o cantidad de horas de sol media anual es de 9.48 horas; la radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El promedio anual Radiación Solar de 450.3 w/m<sup>2</sup>.

### **3.2. Materiales usados para la Evaluación**

Equipo necesario.

- Manómetros.- utilizados para medir un rango de presiones de 0-50 psi, en la parte final de las líneas laterales.
- Cronómetros: se usó para tomar el tiempo del aforo en minutos.
- Una probeta graduada de 1000 mL
- Recipientes recolectores de 1000 mL
- GPS para tomar las coordenadas del lugar y al mismo tiempo calcular la pendiente de cada sección.
- Formato de registro de campo.

### 3.3. Método estadístico utilizado

El método estadístico utilizado en el análisis de los datos de campo fue un diseño experimental con bloques al azar. El objetivo es tener comparaciones precisas entre los tratamientos bajo estudio, utilizar bloques es una forma de reducir y controlar la varianza del error experimental para tener mayor precisión. En el diseño completamente al azar se supone que las Uniformidades de Emisión son relativamente homogéneas con respecto a factores que afectan la variable de respuesta.

Los datos del estudio se analizaron estadísticamente aplicando un análisis de varianza para un diseño experimental con bloques al azar, el objetivo es hacer comparaciones precisas entre los tratamientos bajo estudio, utilizar bloques es una forma de reducir y controlar la varianza del error experimental para tener mayor precisión. El diseño de bloques (completos) al azar implica que en cada bloque hay una sola observación de cada tratamiento.

El modelo estadístico para este diseño es:

$$y_{ij} = \mu + t_i + b_j + E_{ij}$$

En donde  $i = 1, 2, 3 \text{ y } 4$  (Nº de tratamiento)  $j = 1, 2 \text{ y } 3$  (Nº de bloques)

Donde:  **$Y_{ij}$** : Es la medición del parámetro de estudio, en este caso UE.

**$t_i$** : Efecto de tratamiento (métodos de diseño hidráulico)

**$b_j$** : Efecto de bloques (secciones de riego)

**$E_{ij}$** : Error (diferencia entre métodos de diseño)

Se supone que los efectos de tratamientos y bloques son aditivos. La aditividad significa que no hay interacción entre tratamiento y bloques. Es decir, la relación entre tratamiento es la misma en cada uno de los bloques.

En esta distribución “bloques al azar” se utilizaron 4 tratamientos y 3 bloques.

- El tratamiento A= son las UE% resultante de la evaluación en campo.
- El tratamiento B= son las UE% resultante del resultado calculado en MEF.
- El tratamiento C= son las UE% resultante del resultado calculado en IRRICAD.

- El tratamiento D= son las UE% resultante del resultado calculado en AquaFlow3.2.

Los Bloques 1, 2 y 3; son los tres bloques de riego evaluado.

Las variaciones que resulten en los tratamientos nos indicaran el grado de influencia de la uniformidad en cada uno de los métodos utilizados para cada diseño. Las variaciones que resulten en bloques nos indica el grado de influencia, de la uniformidad en cada bloque de riego.

Para eso se planteó la siguiente apariencia:

**Ho:** %EU Método en campo = %EU Algoritmo de diseño,

**Ha:** %EU Método en campo  $\neq$  %EU Algoritmo de diseño.

### 3.4. Evaluación de la Uniformidad del riego en campo

Se tomaron unos datos en campo de operación y construcción los cuales utilizaron como base para iniciar la evaluación de la línea regante, después la distribuidora, para así evaluar las líneas regantes indicadas por los bloques de riego representativos del sistema.

#### Prueba de campo

Formato del registro de los datos de campo necesarios para la evaluación del sistema.

1.- Localización: Huerta los Halcones, Cañón el Tunal Arteaga, Coahuila.

Fecha: 27 de mayo del 2014, Observador: Aracely Toribio Ferrer

2.-Cultivo: Especie: Manzano; Variedad: Golden, Edad: 35 años, Espaciamiento: entre plantas: 3.5m y entre Hileras 6.0 m.

Radio de copa 1.75, profundidad de raíces 1.0m por ciento de área cubierta o sombreada 70 %

3.- Suelo: Textura: Migajón Arcilloso, Humedad Aprovechable: 133.5mm/m

4.- Irrigación: duración 8 horas, Frecuencia: 1 día.

5.- Presión en el sistema de Filtración: (No Existe equipo de Filtración)

6.- Emisor: Marca: Lady Bug Rain Bird, Tipo: Inserción, Espaciado: 1.75m

7.- Descarga nominal por punto emisor 2 gph ó 8 L/h a 12,6 psi ó 8.89 mca; Números de emisores por planta: 2 emisores proporcionando: 32 galones /planta/día o 128 litros por día por planta.

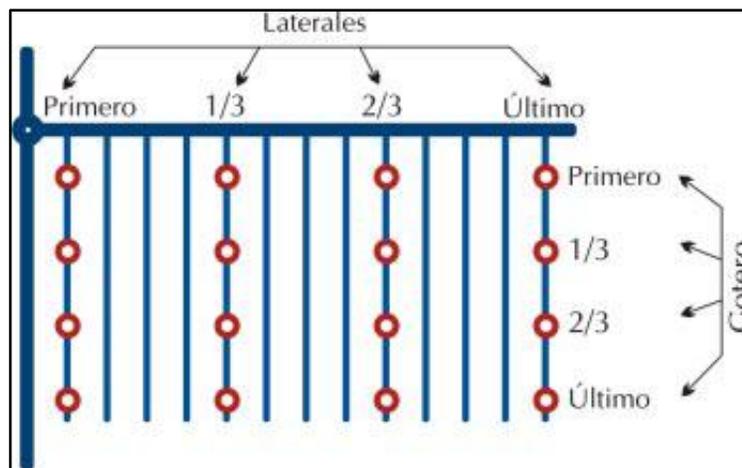
8.- Manguera: Diámetro Externo: 16mm. Diámetro Interno: 14mm, Calibre: 45 mil, Coloración: Negra, Material: Polietileno; longitud de la lateral: 50 a 70 metros, espaciamiento: 6 metros.

9.- Trazo del sistema, aspectos topográficos y localizados del lugar de prueba. Ver **(Apéndice B)**.

10.- Gasto del sistema: 9 L/s, Numero de Líneas distribuidoras: 20, Número de secciones de riego: 12 Subunidades y 3 secciones de riego.

Para la obtención de datos para la evaluación en campo se ocupó el método propuesto por (Karmeli y Keller, 1974), se aplicaron los siguientes pasos:

1. Se eligió un número determinado de emisores distribuidos dentro de una sección de riego, en general se recomienda seleccionar 16 emisores.
2. Para ello, se eligieron los laterales más cercano y más lejano de la toma de la tubería distribuidora y los dos intermedios. En cada lateral se seleccionaron cuatro emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma del lateral y los dos intermedios como muestra la figura 3.5.



**Figura 3.5.** Laterales y emisores que se deben seleccionar para evaluar una sección de riego por goteo.

3. Se requirió contar con personal suficiente, quienes se colocaron junto a cada recipiente, a lo largo de la línea de riego. Donde quien tenía el cronómetro dio inicio con la prueba dando una señal para colocar el recipiente debajo del gotero y con una probeta o vaso graduado se midió el volumen de agua suministrada por los emisores que se seleccionaron en un tiempo determinado; casi como se muestra en la figura 3.6.



**Figura 3.6.**Medición del volumen de agua suministrada por los emisores.

4. De igual forma se midió la presión con un manómetro al inicio de la sección y al final de la línea evaluada; la variación de presión no debe de ser mayor al 20% de la presión de operación del sistema, se puede apreciar en la figura 3.7.



**Figura 3.7.** Medición de la presión al final de la línea regante.

5. Este tiempo será igual para todos ellos, y con las medidas obtenidas se calculó el caudal. Y una vez conocido el caudal de cada uno de los emisores seleccionados se calculó la uniformidad de Distribución (UD), el Coeficiente de Uniformidad (CU) y la uniformidad de Emisión (Eu), obtenido en campo.
6. Después se procesó los datos de campo en el programa Excel, para sacar logaritmos a los gastos y cargas que proyectaron la prueba de campo, de esta forma se obtuvo las ecuaciones para obtener la uniformidad de las secciones de riego.

El Cuadro 3.1.Muestra la plantilla de registro de datos de campo de una línea regante de manguera con Gotero insertado 16mm/2gph/53m en el bloque 1.Esta muestra es utilizada para la evaluación de la uniformidad de los bloques de riego.

**Cuadro 3.1.**Muestra la plantilla de registro de datos de campo.

	A	B	C	D	E
<b>1</b>	<b>POSICION DEL EMISOR EN LA LATERAL</b>	<b>POSICION DE LA LATERAL EN LA LINEA DISTRIBUIDORA</b>			
<b>2</b>		<b>INICIO</b>	<b>A 1/3</b>	<b>A 2/3</b>	<b>AL FINAL</b>
<b>3</b>	<b>1- AL INICIO</b>				
<b>4</b>	<b>2- A 1/3</b>				
<b>5</b>	<b>3- A 2/3</b>				
<b>6</b>	<b>4- AL FINAL</b>				

### **3.5. Ejecución de la simulación de la evaluación de las uniformidades (Eu%, Cu%, DU%) del riego por goteo aplicando el Método del Elemento Finito.**

El método empleado para la evaluación de la uniformidad del riego por goteo, es el método del elemento finito, donde se aplicó a una rutina que se emprende con datos tomados en campo, para lo cual se utilizan 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 la evaluación de las líneas regantes por el método del elemento finito, fueron necesarios los siguientes datos de entrada: Diámetro real interno de la manguera, ID  $\emptyset$  en mm; Espaciado de los emisores, Se (m); Número de emisores por planta; Factor C de Hazen para la manguera; Coeficiente de fricción  $K\emptyset$ , para Hazen-Williams; Exponente de carga para el emisor, x; Coeficiente de gasto unitario para el emisor, K; Variación de manufactura, v (%); Filtración requerida del agua, mesh; Longitud de la manguera, L (m); Gasto de entrada a la regante, q (LPH); Carga de entrada a la regante, h (m); Carga al final de la regante, hi (m); Topografía.

Para la evaluación de la uniformidad en la línea distribuidora por el método del elemento finito, los datos de entrada necesarios fueron los siguientes: Diámetro real interno de la tubería, ID  $\emptyset$  (mm); espaciado de las líneas regantes, Sl (m); Factor C de Hazen para la tubería; Coeficiente de fricción  $K\emptyset$ , para Hazen-Williams; exponente de carga para el medidor (x), Coeficiente de gasto unitario para el m (K), filtración requerida del agua, (mesh), longitud de la tubería distribuidora, L (m), carga de entrada de la regante, en (mca), carga al final de la regante, en (mca), variación de carga permitida,  $\Delta H_s$  (mca).

Una vez teniendo los datos de campo se procedió a realizar la evaluación de la uniformidad del riego del sistema aplicando un algoritmo mediante el método del elemento finito.

### Simulación de la Línea Regante

Después de poseer los datos de campo a evaluar, se programó una plantilla de Excel para el bloque 1, para así obtener el gradiente hidráulico en una línea regante en esta plantilla se introducen las ecuaciones, teoremas y principios antes dichos. En el Cuadro 3.2. Se presenta la plantilla para hacer el cálculo del gradiente hidráulico de la línea regante. Esta plantilla se aplicó para los tres bloques de riego evaluados.

**Cuadro 3.2.** Plantilla de Excel para el análisis del gradiente hidráulico de la línea regante.

	A	B	C	D	E
<b>1</b>	<b>ANÁLISIS DEL GRADIENTE HIDRAULICO DE UNA LINEA REGANTE Manguera con Gotero Integrado</b>				
<b>2</b>	No. GOTERO	Q GASTO LATERAL (LPH)	q GASTO GOTERO (LPH)	hf PERDIDAS DE CARGA METROS)	h CARGA (METROS)
<b>3</b>	0				
<b>4</b>	1				
<b>5</b>	2				
<b>6</b>	3				
<b>7</b>	4				
...	...				
<b>32</b>	29				
<b>33</b>	30	0		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 sección de riego y a su vez también el gasto de entrada en dicha sección.

- Se ingresaron datos a la última regante, especificaciones de la línea regante (diámetro, longitud, espaciado entre emisores, factor de Hazen, exponente (x) y coeficiente (K) del emisor).
- Se introdujo la carga a la última línea regante H(n) empezando con el último emisor E33 y aplicando la ecuación del emisor se calculó el gasto (q) en la columna C33 hasta el primer emisor. La ecuación del emisor:

$$Q = K (H)^x$$

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 pérdida de carga al final (hfi) y en el gasto de la tubería distribuidora (Qi), en las columnas D33 y B33 respectivamente.

- Se obtuvo el gasto que lleva la línea regante al pasar por los emisores (Q entrada), en la comuna B32, se le sumó al gasto de la línea regante B33 + el gasto calculado del emisor.

$$Q \text{ entrada actual} = Q \text{ entrada anterior} + (q \text{ calculado actual})$$

- Se determinaron las pérdidas de carga (Hf) por tramo debido a la fricción aplicando la ecuación de Hazen-Williams.

$$Hf = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.852} L$$

Dónde:

Q= Es el gasto a la entrada de la regante (LPS).

L= La longitud entre cada emisor (m).

En la columna D32:D3 se capturó la fórmula, el Q ocupado fue el de la columna B32:B3, dividido en 3600 para convertirlos en lps, los demás datos ocupados fueron de las características de la línea regante.

- Se calculó la carga (H) en metros en cada emisor, aplicando el teorema de Bernoulli, sumando a la carga de la ultimo emisor, la pérdida de carga que existe en ese recorrido, el resultado de eso se le suma la pendiente del desnivel del emisor, empezando en la columna E32 hasta la E3. Este mismo proceso se repitió para las otras dos secciones evaluadas.

### Simulación de la Línea Distribuidora

Para obtener el análisis hidráulico de lo que sería la línea distribuidora (manifold) en campo, 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. En el Cuadro 3.3. Se muestra la plantilla para el análisis en campo de lo que será la línea distribuidora, para cada uno de los bloques de riego.

**Cuadro 3.3.** Plantilla de Excel para el análisis de la línea distribuidora.

	A	B	C	D	E
1	ANÁLISIS HIDRUALICO DE LA TUBERIA DISTRIBUIDORA PVC 3Ø CON LAS REGANTES A CADA 6 m				
2	No DE LATERAL	Qi GASTO DE LA TUBERIA (LPH)	Q GASTO DE LA REGANTE (LPH)	hf EN LA TUBERIA DISTRIBUIDORA (metros)	CARGA DE ENTRADA A LA REGANTE Hi (metros)
3	Válvula				
4	1				
5	2				
6	3				
7	4				
8	5				
9	6				
10	7				
11	8				
12	9				
13	10				
14	11	0		0	Hn

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

- Se introdujo la carga a la última línea regante (Hn), en la columna E14, se obtuvo de acuerdo al resultado de la simulación de la línea regante del bloque anterior. Se escribió un 0 en la pérdida de carga al final (hfi) y en el gasto de la tubería distribuidora (Qi), en las columnas D14 y B14 respectivamente.
- En la columna C14 que es el gasto de la regante (Q), se obtuvo de acuerdo al resultado de la simulación de la línea regante del Apéndice A.

Y para el Q gasto 10 fue calculada a partir de la ecuación:

$$Q_{actual} = \left( \frac{H_{actual}}{H_{anterior}} \right)^{0.48 \text{ expon emisor}} * Q_{anterior}$$

- El cálculo del gasto de la tubería se hizo sumando el gasto calculado de la

última regante, más el gasto que llevaba la tubería a la última regante en este caso 0, es decir en la columna B13= B14+C14.

- La pérdida de carga ( $h_f$ ) fue calculada con la ecuación de Hazen-Williams por tramo:

$$H_f = \frac{1.21 \times 10^{10}}{D^{4.87}} \left( \frac{Q}{C} \right)^{1.852} L$$

Dónde:

L= es la separación entre las regantes, que son de 6 metros para todas las secciones de riego.

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

En la columna D13:D3 se capturó la fórmula, el Q ocupado fue el de la columna B13:B3, los demás datos se tomaron de las características de la distribuidora.

- Por último se determinó la carga a la entrada de la línea del regante anterior, sumando a la carga de la última línea regante  $H_n$ , 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 en la columna E13 hasta la E3.
- Una vez terminado el proceso anterior, se compararon los gastos del emisor aforados en campo contra los gastos que fueron calculados mediante la simulación en la evaluación, para obtener la pendiente ( $\beta$ ), intersección ( $\alpha$ ) y la regresión ( $r$ ). Estos valores deberían aproximarse a 1, 0 y 1 respectivamente para poder decir que el modelo fue de predicción perfecta.
- Como último paso se graficaron los gastos calculados contra los aforados para poder observar que tanto se desvían unos datos de los otros de acuerdo a la correlación.
- Las variaciones que resulten al comparar resultados nos indicaran el grado de influencia de los goteros de los goteros en la uniformidad.

### 3.6. Análisis de las uniformidades evaluadas en campo y obtenidas con el método del elemento finito

De los datos obtenidos, se eligió solamente las líneas regantes y los emisores evaluados en campo para analizarlos y poder comparar los datos calculados contra los aforados en campo. Fueron ingresados los gastos de los emisores seleccionados por cada regante en una plantilla de Excel (Cuadros 3.4 y 3.5) y para conformar una matriz de 4 emisores por cada línea regante, en total se analizaron 16 datos en cada sección evaluada, que permitió hacer el cálculo de las uniformidades (distribución, coeficiente de uniformidad y emisión).

**Cuadro 3.4.** Plantilla de Excel para el cálculo de las uniformidades calculadas.

	A	B	C	D	E
1	<b>DATOS CALCULADOS</b>				
2	Caudales calculados para 16 goteros dentro de la sección				
3	# Goteros	Lateral 1	Lateral 4	Lateral 7	Lateral 11
4	#1				
5	#20				
6	#40				
7	#60				

**Cuadro 3.1.** Plantilla de Excel para el cálculo de las uniformidades aforadas.

	A	B	C	D	E
1	<b>DATOS AFORADOS</b>				
2	Caudales calculados para 16 goteros dentro de la sección				
3	# Goteros	Lateral 1	Lateral 4	Lateral 7	Lateral 11
4	#1				
5	#20				
6	#40				
7	#60				

Una vez que se llenó la plantilla con los datos de los gastos, se hizo el cálculo de la Uniformidad de Distribución (UD%), Coeficiente de Uniformidad (Cu%) y Uniformidad de Emisión (Eu%).

### Cálculo de la Uniformidad de Distribución (UD%)

La Du se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$UD\% = 100 \left( \frac{q_{min}}{q_{prom}} \right)$$

Para obtener esto dentro de Excel fue mediante la matriz de los datos, se obtuvo la cuarta parte de las descargas más baja de los datos aforados (estadísticamente similar al percentil 12.5 porciento) y el promedio.

### Cálculo de Coeficiente de Uniformidad (Cu%)

El Cu es y está expresado mediante la siguiente fórmula:

$$Cu \% = 100 * \left[ 1 - \left( \frac{Desv Est}{q_{prom}} \right) \right]$$

Con el programa Excel se determinó mediante la misma matriz de datos que para los demás, la desviación estándar y el promedio, así se consiguió el resultado.

### Cálculo de la Uniformidad de Emisión (Eu%)

La uniformidad de emisión considerada en campo 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, esta expresada por la siguiente ecuación:

$$Eu = 100 \frac{qn}{qa}$$

Para estos diseños la fórmula utilizada para el cálculo de la Eu% fue utilizando el coeficiente de variación de los emisores que nos proporcionó el fabricante y el número de emisores utilizados por planta, para esto se tiene que:

$$Eu = 100 * \left[ 1 - \left( \frac{1.27 * C.v}{\sqrt{\#e}} \right) \right] \left[ \frac{q_{min}}{q_{prom}} \right]$$

Este cálculo se determinó mediante Excel donde se proporcionaron los datos del C.V y el número de emisores, y mediante una matriz se obtiene la cuarta parte de la descarga de los datos aforados (percentil 12.5%) y el promedio.

### 3.7. Procesamiento para la evaluación de la Uniformidad de un Bloque de Riego con IRRICAD Pro 11

Para la evaluación de la uniformidad en diseño (%Cu, %Eu, %UD), esperada en los tres bloques de riego evaluado en campo, para las cuales se realizó el siguiente procedimiento de diseño con el software de IrriCAD.

- Se abrió IRRICAD Pro 11, se configuró el espacio de trabajo (Settings/Irrigation–DesignSpecific). Para dibujar el polígono del área de estudio, se copió la imagen guardada obtenida de Google earth, y automáticamente se escaló la imagen.
- Una vez escalada la imagen, se dibujó (Draw/Polyline) el contorno del polígono, después se oprime la imagen. Al mismo tiempo se trazan las líneas de contornos los cuales fueron la topografía del terreno, y enseguida se calculan los contornos (Tools/CalculateContours...).
- Para definir las propiedades de los elementos para las zonas de riego, se tuvo que ingresar el emisor en la base de datos, abrir IrricadDatabaseEditor, Para editar (“Outlet”- Salida)se seleccionó Componente/ EditNozzles; esta herramienta se activa antes de añadir boquillas (aspersores, rotores, micro-aspersores y goteros individuales), también es activada para remover boquillas de una conexión o toma existente; ahora se selecciona Componente/ AddNozzles, y se introdujeron los datos del emisor.
- Se dibujó el bloque de riego; primero seleccionado el polígono y de la barra de Menú clic en Zone/SprayIrrigationBlock. Se seleccionó el emisor y los parámetros de la lateral en este caso fue el emisor propuesto y distancia de 6m entre hileras y 1.75 entre goteros.
- Para determinar la dirección de las líneas regantes se dio un clic sobre el extremo del polígono, las líneas regantes y aparecieron paralelas al lado seleccionado. Enseguida se dibujó la tubería principal para conectar la fuente de agua, (Mainline/WaterSupply). Seleccionar (Mainline/pum) para colocar la bomba en la fuente de agua. Y quedó como la Figura 3.8.



**Figura 3.8.** Dibujo de la línea principal, fuente de agua y la bomba en el bloque de riego de IRRICAD.

- De la barra de Menú se dio clic en Tools/ ConnectValves; Tools/ConnectOutlets, para hacer las conexiones de las válvulas y de los emisores. Para el diseño del bloque, se dio clic en el Menú Design, y así se corrieron las funciones de diseño. Se dio un clic Design/DesignParameters, fueron escritos los parámetros para la velocidad de la zona y la velocidad de la tubería distribuidora. Se dio clic en Aceptar. Se dio un clic Design/CheckOutletConnectivity, así se verificó que todos los componentes estuvieran conectados. Se dio un clic Design/AssignAllZones to OneSystemFlow. Este paso indicó que todo el bloque de riego se iba a regar en un solo turno.
- Se dio un clic a Design/InterpolateElevations, se dio clic OK a todos los cuadros de diálogos que aparecieron. Se pulsó un clic en Design/ZoneDesignConfiguration, en esta ventana se cambió el número de tamaños para la distribuidora, se puso un 1 (esto quiere decir que va a existir un solo diámetro en la distribuidora) y se dio clic en OK. Se dio un clic Design/ZoneDesign/(Analyze, LPVelocityDesign, valveAnalyze), se pulsó clic a todo en OK. En este paso fue diseñada la tubería de la zona.
- Se dio clic a Design/MainlineDesign/Analyze; Design/MainlineDesign/LP Design; Design/MainlineDesign/VelocityDesign, después de pulsó clic a todo en OK.

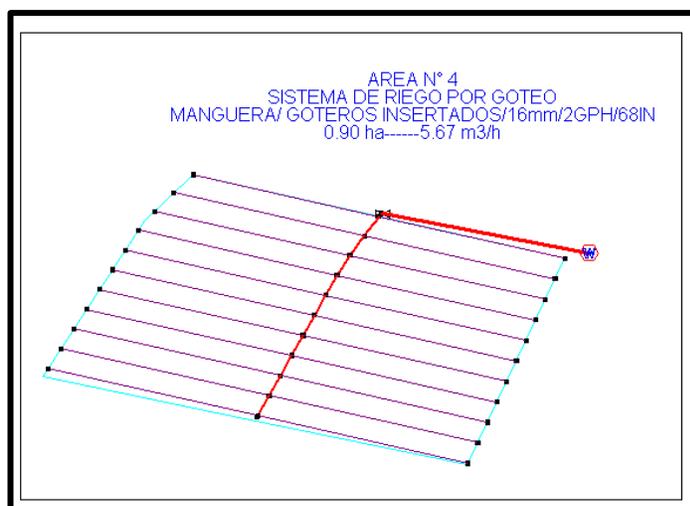
En este paso se diseñó la tubería distribuidora.

- Por último paso para revisar los reportes de diseño, se dio un clic en el menú Reports/HidraulicGradeline para mostrar el gradiente hidráulico por línea regante. Y de esta manera se pudo apreciar cómo se distribuye la carga dentro de la línea regante con respecto a la topografía.
- Fue dado un clic en Reports/ZoneDesignReports/ZoneDesign Sum. (Uniformity - multiemit), para poder ver las uniformidades, los caudales y cargas permitidos, en el bloque. Se mostró una ventana, a la cual se le puso el número de emisores por planta Y se dio un clic en OK. Surgió un cuadro como la imagen 3.9.

Irricad Version 11.1		Zone Design Report	
Company :		Designer :	ARACELY T. FERER
Client :	VARIOS	Design Date :	23/10/2014
Site :		Report Date :	23/10/2014 08:17:39
Notes :			
Filename :	SECCION II.des		
Zone Name :		Valve Description :	
Area no. 4		2" Nelson Solenoid Control Valve	
Zone Head (D/S) :	10.57 (m)	Zone Head (U/S) :	10.63 (m)
Total Zone Flow :	5.11 (m <sup>3</sup> /h)	Valve Headloss :	0.06 (m)
	<u>Allowable Flow</u>	<u>Actual Flow</u>	<u>Allowable Pressure</u>
	(lpm)	(lpm)	(m)
Minimum Outlet	0.13	0.13	9.29
Maximum Outlet	0.13	0.13	10.52
Outlet Variation (%)	5.81	1.53	3.16
Coefficient of variation =	0.035	Mean Emitter Flow =	0.13
No. of Emitters per Plant =			2
Cu =	99.7 (%)	Eu =	96.5 (%)
Du =			99.7 (%)
Outlet Locations (X,Y)	Minimum:	-5.2, 86.5	Maximum:
			26.7, 36.4

**Figura 3.9.** Ejemplo de un Reporte de Uniformidades de un bloque de riego de IRRICAD.

- Por último se logró apreciar el diseño que se mostró al finalizar la rutina de ejecución para un bloque de riego, figura 3.10.



**Figura 3.10.** Ejemplo del diseño de un bloque de riego por goteo de IRRICAD.

Esta metodología fue aplicada para los tres bloques de riego que se evaluó en campo.

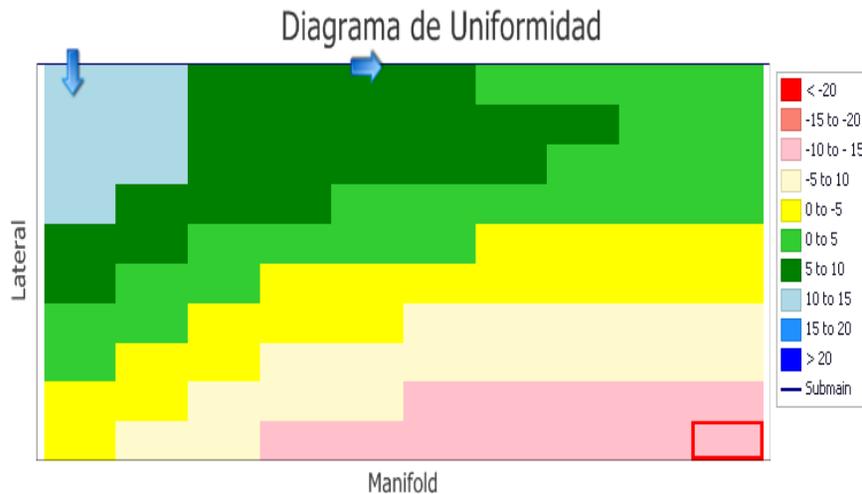
### 3.8. Evaluación de la %EU de un Bloque de Riego con AquaFlow 3.2

Se trabajó con el Programa AquaFlow 3.2 de Toro. Para empezar a trabajar en el programa AquaFlow 3.2 de Toro,

- Se inició la creación de un diseño, dando de alta un cliente dentro del menú Mantenimiento/Clientes, se dio clic en Nuevo se llenó lo que se pide y se dio clic en Guardar y Cerrar.
- Como la manguera que se quería seleccionar para el diseño no existía en la base de datos se dio de alta de la siguiente manera; se dio clic en el Menú Archivo/Ingresar Productos Nuevos. Se mostró una ventana, en la cual fueron llenados los datos que se pedían para el producto, se dio clic en Guardar y Cerrar. Los datos ingresados caracterizaron las especificaciones técnicas de dicho producto. Y se cambiaron las unidades del programa en la pestaña Standard para eso se seleccionó Métricas.
- Se eligió el nombre del diseño, ingresando las propiedades de la Lateral, Manifold en la parte media de la pantalla y Área de lavado, este modelo es interactivo

apareciendo el rectángulo del bloque de riego en el lado derecho de la pantalla dinámica mostrando la variación de caudales en un diagrama de uniformidad, en la parte inferior se encontraron los gradientes hidráulicos para la manguera regante y para la distribuidora, además en el monitor se apreciaron los parámetros de diseño.

- Después de que se capturaron los datos arrojó el diagrama de uniformidad mostrado en la figura 3.11.



**Figura 3.11.**Diagrama de Uniformidad de AquaFlow 3.2.

- Por último, se dio clic en Reportes/Diseño;Reportes/Proyecto aquí se logró apreciar las uniformidades así como los datos que fueron ingresados para el cálculo del diseño.

### 3.9. Obtención y manejo de la información requerida para obtener las horas de riegos en la huerta

#### Evapotranspiración y precipitación

Se utilizó la información de una estación meteorológica ubicada en el rancho Roncesvalles de la región, para estimar la evapotranspiración por el método de Penman – Monteith modificado por la FAO. Los cálculos se realizaron con un programa desarrollado en “Cropwat .8” para obtener la ET mm diaria. Los datos de la precipitación o lluvia se obtuvieron del dicho estación.

Se ocuparon los siguientes formulas y datos:

Área del sombreado =  $A = \pi r^2$  r= radio de copa

Volumen de agua: Área \* Eto mm = m<sup>3</sup>

Horas de riego= vol. De agua calculado/ Gasto del emisor por planta

### **3.10. Descripción sobre las condiciones físicas en que se encuentran las instalaciones del sistema, evaluados visualmente**

Consistió en anotar una asignatura a cada componente del sistema de riego, estas asignaturas son las siguientes:

(B): si cumple con su función, ósea si el componente evaluado cumple con sus funciones, para el cual fue diseñado.

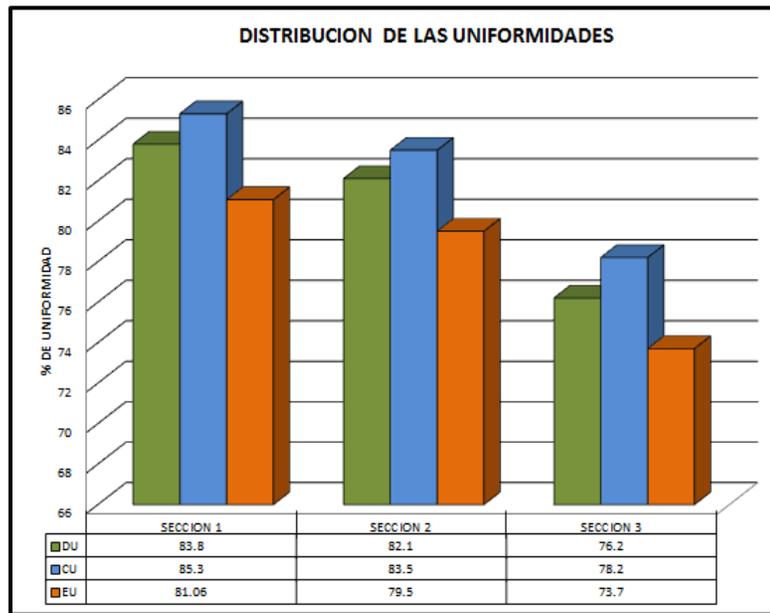
(M): No cumple con su función; ósea está fuera de operación, roto, oxidado, con fugas, sucios (filtros), etc., todo lo que lo caracterice como fuera de su trabajo de diseño.

(N): Simplemente si no existe.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Resultados en la Evaluación de la Uniformidad (Eu%, Cu%, Du%) de los tres bloques de riego evaluadas en campo

A partir de los caudales erogados por los goteros evaluados en cada bloque evaluada se determinaron los (%Cu, %Eu, UD%) correspondientes a cada bloque evaluado. En total de los bloques estudiados fueron 3 (3 bloques evaluados). A Efecto de corroborar la mayor existencia de cálculo de uniformidad propuesto por Karmeli y Keller (1974), se calculó también el Coeficiente de uniformidad de Christiansen. Se afirma en estas evaluaciones que el primer bloque evaluado es más tolerante, obteniéndose mayores uniformidades. Las uniformidades evaluadas de cada bloque de riego se agruparon en tres categorías: Excelente (90%), Buena (80%) y Aceptable (70%) como muestra en la figura 4.1, de acuerdo a los valores recomendado por Karmeli y Keller (1974).



**Figura 4.1.** Uniformidades de distribución para los tres bloques de riegos evaluados en una huerta de manzana, en Arteaga, Coahuila.

Se puede observar que el resultado de la uniformidad de emisión promedio de los tres bloques estudiados se clasifica como mala, presentando un valor promedio de 78% de Eu. No obstante mientras que el Coeficiente de Uniformidad y la uniformidad de distribución se encuentran dentro del rango recomendado que es Buena, con un valor de 82.5 en Cu% mientras que en UD con un valor promedio de 80.7%.

Las uniformidades de emisión de cada bloque de riego no están indicando que existen problemas relacionados con la descarga de emisores que podría involucrarse la manufactura y el taponamiento ya que se encuentran por debajo de gasto nominal, y también por la mala distribución de presiones en cada bloque de riego.

Estos bajos resultados obtenidos se explicaron en función de los problemas de diseño y de manejo del equipo que afectan la calidad del agua y el gradiente hidráulico dentro del sistema reduciendo la uniformidad, entre los cuales se mencionan los siguientes.

#### **4.2. Situación física de los componentes del sistema de riego Instalado**

A partir del recorrido por la huerta se puede resumir los problemas encontrados dentro del sistema instalado.

##### 1.- Problemas de diseño.

- Ausencia de filtros correspondientes.
- Ausencia de manómetros en el cabezal de riego que permitan medir la diferencia de presión entre filtros.
- Distribuidores y/o laterales de menor diámetro
- Ausencia de medidor de volumen y de manómetros para el control de la presión en cada sección de riego.

##### 2.- Problemas de manejo del equipo.

- Limpieza de reservorios (el problema más frecuente es la acumulación de materia orgánica dentro del tanque, por ejemplo: Algas, azolves)

- Limpieza de mangueras o laterales de riego: punta demanguera mínimo una vez por mes en la época de riego (si es posible realizarlo cada 15 días, esto evitaría la acumulación de sales).
- Limpieza con ácido para eliminar sales al menos una vez por año.
- Limpieza con cloro si existen problemas de materia orgánica.
- Colocar un adecuado cierre del final de manguera que permita una apertura fácil y rápida.
- Fugas de aguas ocasionadas por roturas y picaduras en laterales.
- Emisores totalmente obturados, ya sea por las sales o bien por algas. Cuando la obstrucción es importante y no se obtiene una mejoría con la limpieza, se deben cambiar los emisores.

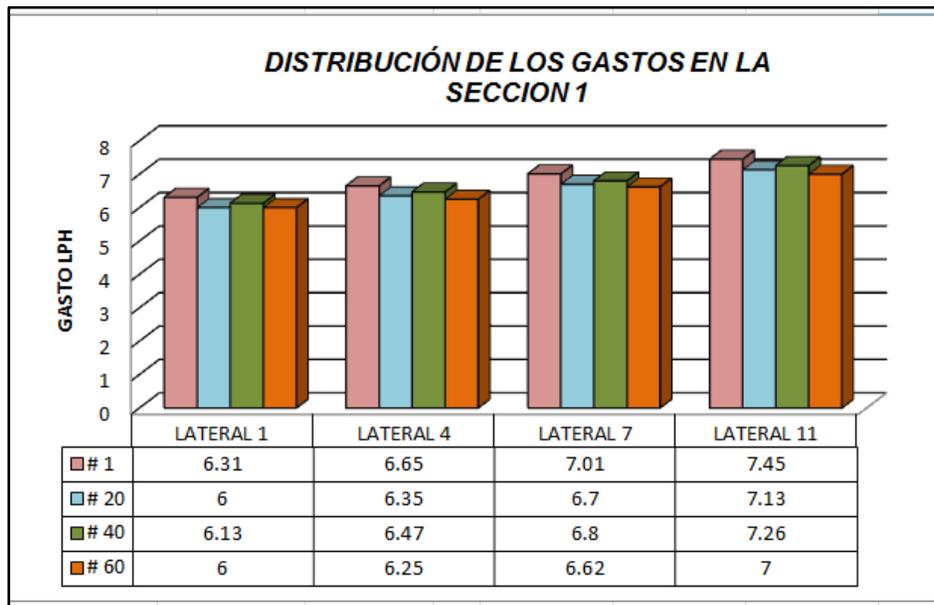
En el cuadro 4.1 se puede observar (resultados de las condiciones físicas de los componentes del sistema de riego).

**Cuadro 4.1.** Resultados de las condiciones físicas de los componentes del sistema de riego.

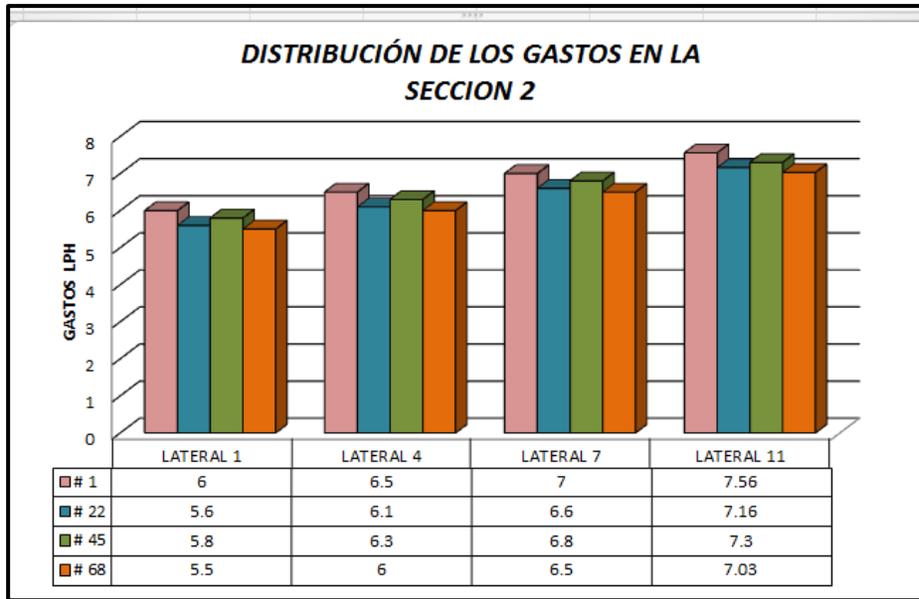
COMPONENTE	CONDICIONES ACTUALES
Cabezal de Riego (Bomba)	B: si cumple con su función
Filtros ( malla)	N: No existe
Hidrociclón	N: No existe
Manómetros	B: si cumple con su función
Dosificador de fertilizantes	B: si cumple con su función
Válvulas de Seccionamiento	B: si cumple con su función
Tuberías Secundarias	B: si cumple con su función
Lateral	B: si cumple con su función
Gotero	Acumulación de sales.

### 4.3. Uniformidad Calculada en los 3 bloques de Riego Utilizando el Método del Elemento Finito (MEF)

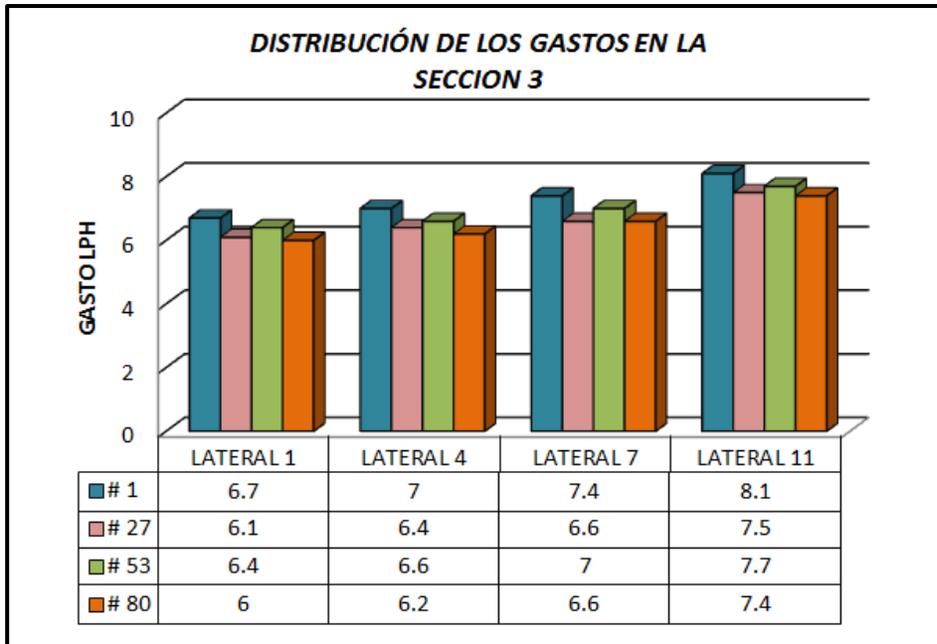
Al obtener los caudales repartidos por los goteros evaluados en los 3 bloques, se comparó la distribución de las laterales correspondientes a cada bloque. Se muestra de acuerdo a los datos calculados que las últimas laterales en los tres bloques como muestran en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4, Son las que reciben más agua debido a la mayor carga que ostenta por el pendiente del terreno. Y también se puede observar que en los primeros emisores de cada regante arroja más agua que en los otros, esto es debido a la carga inicial que entra en cada línea. De igual forma se determinaron los (%Cu, %Eu, UD%) correspondientes a cada bloque evaluado de los caudales distribuidos por los goteros calculados. A Efecto de corroborar la mayor existencia de cálculo de uniformidad propuesto por Karmeli y Keller (1974), se calculó también el Coeficiente de uniformidad de Christiansen. Se certifica en estos resultados obtenidos que el primer bloque calculado es la más satisfactoria, obteniéndose mayores uniformidades que en las otras dos.



**Figura 4.2.** Distribución de los gastos calculados en las laterales del bloque 1

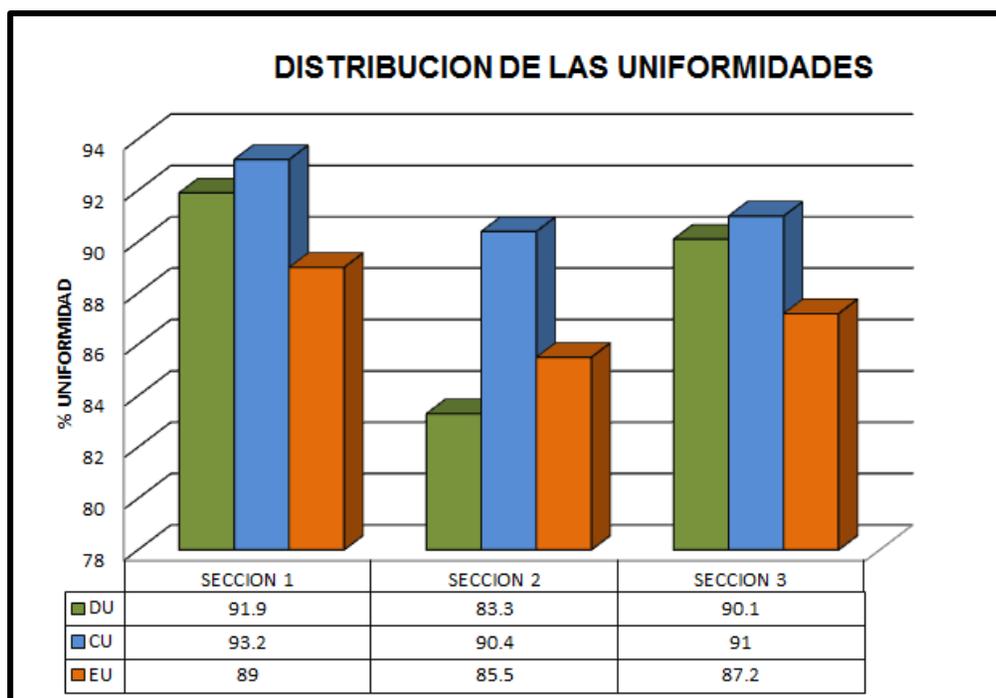


**Figura 4.3.**Distribución de los gastos calculados en las laterales del bloque 2.



**Figura 4.4.**Distribución de los gastos calculados en las laterales del bloque 3.

Las uniformidades evaluadas de cada bloque de riego se agruparon en tres categorías: Excelente (90%), Buena (80%) y Aceptable (70%) como muestra en la figura 4.5, de acuerdo a los valores recomendados por Karmeli y Keller (1974).

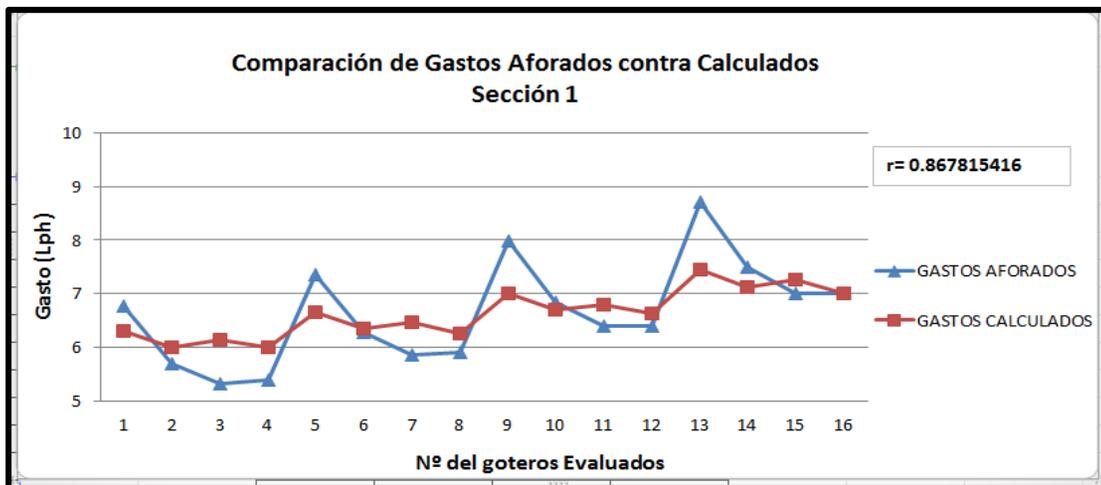


**Figura 4.5.** Uniformidades de distribución para los tres bloques de riego evaluadas obtenidas por el MEF en una huerta de manzana, en Arteaga, Coahuila.

#### 4.3.1. Comparación de Gastos Calculados contra Aforados en los 3 bloques de riego

En las figuras 4.6, 4.7 y 4.8, observamos la tendencia de la línea de goteos integrada Rain Bird 16 mm/2 gph/175cm en cada bloque evaluado, operado a diferentes presiones de entrada, de la misma manera observamos que los gastos calculados o obtenidos en las líneas regantes en cada bloque aumentan paulatinamente en promedio de 6.0 a 7.5 L/h, mientras que en los gastos aforados notamos que existen unas caídas en cuanto al gasto en algunos goteos, y al mismo tiempo aumenta gradualmente cuando la carga aumenta, eso es debido a la mayor carga entrante en la regante, por lo tanto se puede apreciar las diferencias que

existen entre los gastos calculados contra aforados debido a los factores que limiten una mejor y mayor uniformidad de emisión como la pendiente, la temperatura del agua, la antigüedad de la manguera, obturación de emisores, entre otros; más sin embargo la correlación de los datos en la sección 1 es 0.8678 en la figura 4.6, lo cual es buena para decidir que las predicciones del modelo son confiables y se pueden utilizar para simular el funcionamiento de las demás laterales instaladas en un bloque de riego.



**Figura 4.6.** Comparación de los gastos aforados contra los calculados en el bloque 1.

Se puede observar los gastos aforados a través de 4 líneas en un bloque de riego, en ella se puede apreciar las variaciones que prevalece en el bloque 1.

En el bloque 2, apreciamos el comportamiento de las líneas regantes aforada, en la cual los gastos observados se desvían mucho de los calculados, con una correlación de 0.6289 que es bajo aunque siguen la misma tendencia, como muestra en la figura 4.7, la desviación entre las dos líneas se pudo deber a factores como el deterioro de la regante, las fugas que se percibieron durante la prueba, las uniones de los tramos de la regante y la edad de la regante (que incrementa la rugosidad y reduce el factor de Hazen).

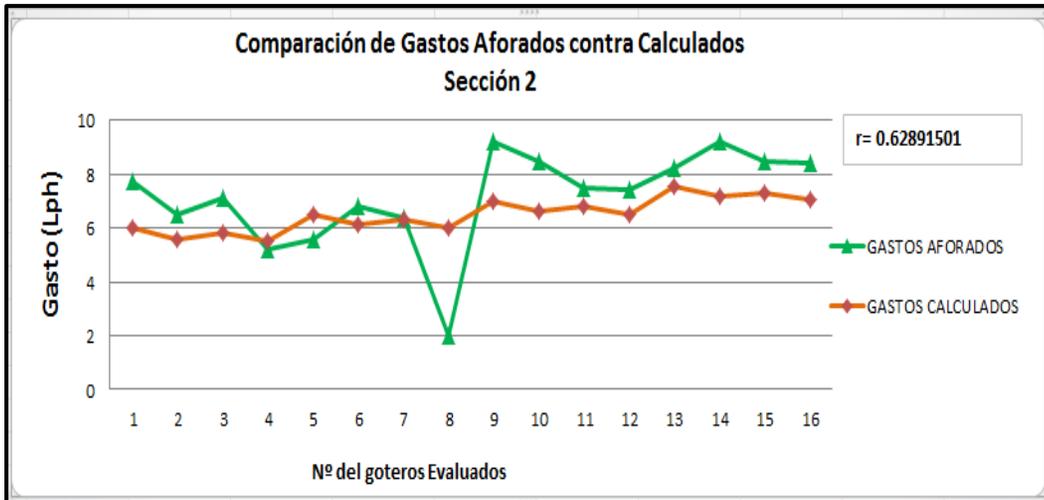


Figura 4.7. Comparación de los gastos aforados contra los calculados en el bloque 2.

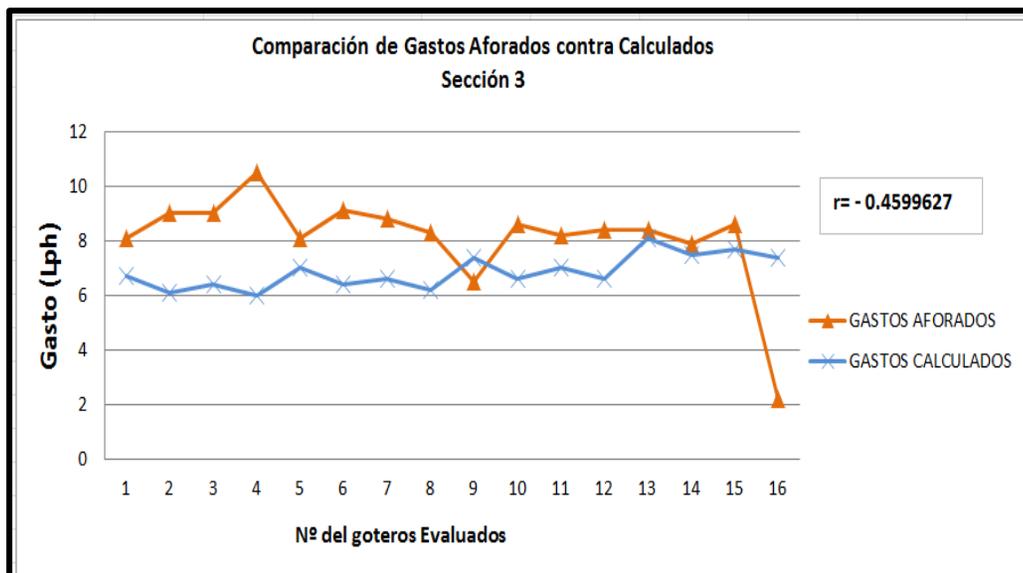


Figura 4.8. Comparación de los gastos aforados contra los calculados en el bloque 3.

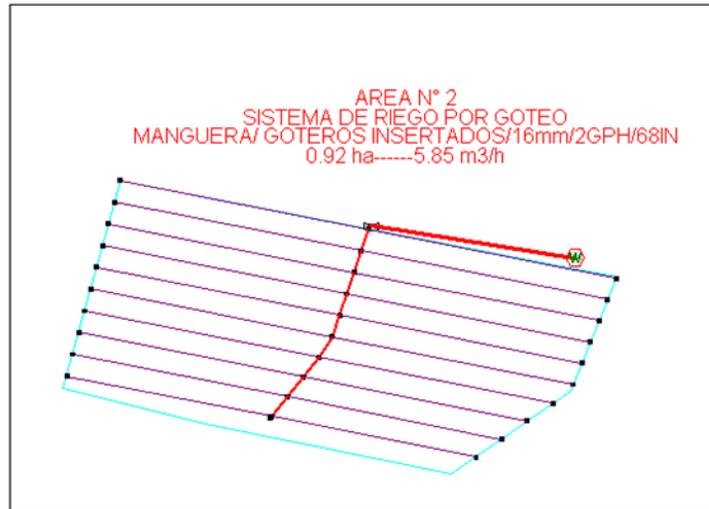
En el bloque de riego 3 y en la figura 4.8 distinguimos como los gastos aforados tienen una gran variación respecto de los calculados, las variaciones registradas pudieron ser a causa de la pendiente, la correlación que define a estos gastos es de -0.459 lo cual está especificado como no hay correlación nos da a entender que no existe relación entre las dos variables.

#### 4.4. Reportes y Diseños de los Bloques de Riego Utilizando el Software IRRICAD Pro 11 evaluando las uniformidades (Eu%, Cu%, Du%)

En la figura 4.9. Se observan las especificaciones del bloque 1 de riego por goteo integrado diseñado en IRRICAD el cual posee una presión antes de la válvula de 10.40 mca y después de 10.33 mca, con un flujo del bloque de riego de 5.85 m<sup>3</sup>/h, se distingue el caudal máximo y mínimo de 0.13 L/min (7.8 L/h) las actuales a la cual está funcionando el sistema, y también la presión máxima es de 10.27 mca y la mínima de 9.81mca, aunque la presión está por encima y por debajo de la permitida y el caudal del emisor resultado en el rango del permitido, las uniformidades arrojadas por IrriCAD demuestran que el diseño es de clasificación excelente, con UD%= 99.6, Cu%= 99.5y Eu%= 96.4. Y en la figura 4.10, Se distingue la disposición de diseño del sistema de riego por goteo integrado con las características dentro del sistema.

Irricad Version 11.1		Zone Design Report			
Company:	UAAAN	Designer:	ARACELY T. FERRER		
Client:	VARIOS	Design Date:	24/10/2014		
Site:	VARIOS	Report Date:	24/10/2014 02:37:07		
Notes:					
Filename:	SECCION 2.des				
Zone Name:	Area no. 2	Valve Description:	2" Nelson Solenoid Control Valve		
Zone Head (D/S):	10.33 (m)	Zone Head (U/S):	10.40 (m)		
Total Zone Flow:	5.85 (m <sup>3</sup> /h)	Valve Headloss:	0.08 (m)		
	<u>Allowable Flow</u>	<u>Actual Flow</u>	<u>Allowable Pressure</u>	<u>Actual Pressure</u>	
	(lpm)	(lpm)	(m)	(m)	
Minimum Outlet	0.13	0.13	9.46	9.81	
Maximum Outlet	0.13	0.13	10.53	10.27	
Outlet Variation (%)	5.00	2.16	10.14	4.44	
Coefficient of variation =	0.035	Mean Emitter Flow =	0.13	No. of Emitters per Plant = 2	
Cu =	99.6 (%)	Eu =	96.4 (%)	Du =	99.5 (%)
Outlet Locations (X,Y)	Minimum:	-15.7, 71.6	Maximum:	57.1, 87.8	

**Figura 4.9.** Especificaciones del bloque 1 de riego por goteo integrado diseñado en IRRICAD.

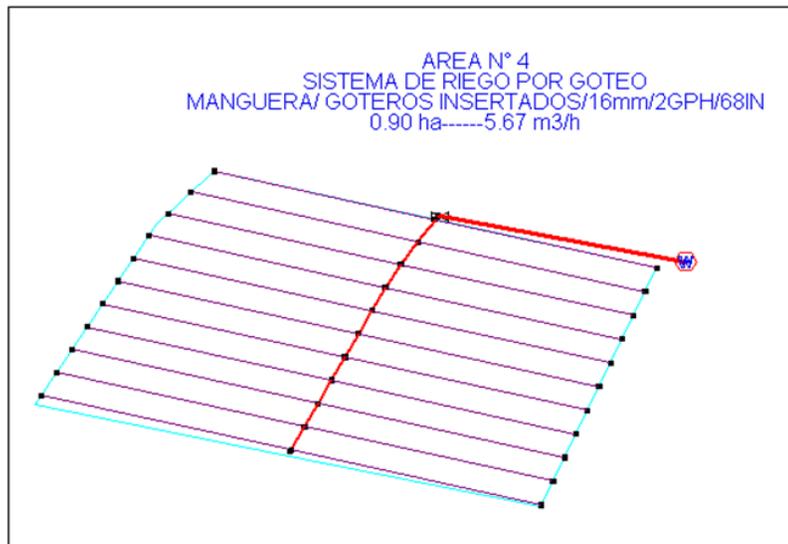


**Figura 4.10.** Bloque de riego con manguera de goteo integrado para un área de 0.92 ha.

En la figura 4.11, se aprecian las características del bloque 2 de riego por goteo integrado diseñado en IRRICAD el cual posee una presión antes de la válvula de 10.39mca y después de 10.31mca, con un flujo del bloque de riego de 5.67 m<sup>3</sup>/h, se distingue el caudal máximo y mínimo de 0.13 L/min (7.8 L/h) las actuales a la cual está funcionando el sistema, y también la presión máxima es de 10.26mca y la mínima de 9.81mca, aunque la presión está por encima y por debajo de la permitida y el caudal del emisor resulto en el rango del permitido, las uniformidades arrojadas por IRRICAD demuestran que el diseño es de clasificación excelente, con UD%= 99.4, Cu%= 99.6 y Eu%= 96.3. Y en la figura 4.12. Se distingue la disposición de diseño del sistema de riego por goteo integrado con las características dentro del sistema.

Irricad Version 11.1		Zone Design Report			
Company :	UAAAN	Designer :	ARACELY T. FERRER		
Client :	VARIOS	Design Date :	24/10/2014		
Site :		Report Date:	24/10/2014 03:27:41		
Notes :					
Filename :	SECCION 4.des				
Zone Name :	Area no. 3	Valve Description :	2" Nelson Solenoid Control Valve		
Zone Head (D/S) :	10.31 (m)	Zone Head (U/S) :	10.39 (m)		
Total Zone Flow :	5.67 (m3/h)	Valve Headloss :	0.07 (m)		
	<u>Allowable Flow</u>	<u>Actual Flow</u>	<u>Allowable Pressure</u>	<u>Actual Pressure</u>	
	(lpm)	(lpm)	(m)	(m)	
Minimum Outlet	0.13	0.13	9.46	9.81	
Maximum Outlet	0.13	0.13	10.53	10.26	
Outlet Variation (%)	5.00	2.15	10.14	4.43	
Coefficient of variation =	0.035	Mean Emitter Flow =	0.13	No. of Emitters per Plant =	2
Cu =	99.6(%)	Eu =	96.3(%)	Du =	99.4(%)
Outlet Locations (X,Y)	Minimum:	-32.2 , 45.9	Maximum:	57.8 , 87.1	

**Figura 4.11.** Especificaciones del bloque 2 de riego por goteo integrado diseñado en IRRICAD

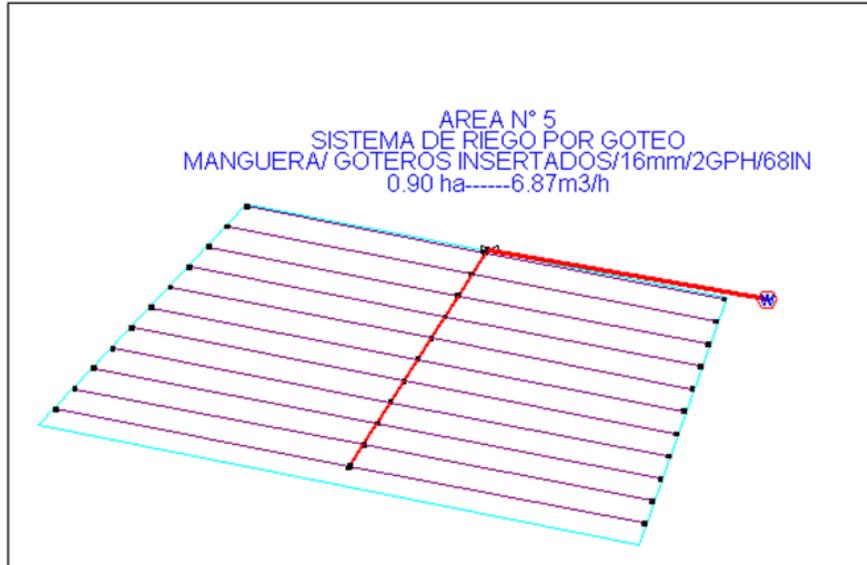


**Figura 4.12.** Bloque de riego con manguera de goteo integrado para un área de 0.90ha.

En la figura 4.13. Se aprecian las características del bloque 3 de riego por goteo integrado diseñado en IRRICAD el cual posee una presión antes de la válvula de 10.58mca y después de 10.48mca, con un flujo del bloque de riego de 6.87 m<sup>3</sup>/h, se distingue el caudal máximo y mínimo de 0.13 L/min (7.8 L/h) las actuales a la cual está funcionando el sistema, y también la presión máxima es de 10.41mca y la mínima de 9.64mca, aunque la presión está por encima y por debajo de la permitida y el caudal del emisor resulto en el rango del permitido, las uniformidades arrojadas por IRRICAD demuestran que el diseño es de clasificación excelente, con UD%= 99.0, Cu%= 99.3 y Eu%= 95.9. Y en la Figura 4.14. Se distingue la disposición de diseño del sistema de riego por goteo integrado con las características dentro del sistema.

Irricad Version 11.1		Zone Design Report	
<b>Company :</b> UAAAN	<b>Designer :</b> ARACELY T. FERRER	<b>Client :</b> VARIOS	<b>Design Date :</b> 24/10/2014
<b>Site :</b>	<b>Report Date :</b> 24/10/2014 03:52:35	<b>Notes :</b>	
<b>Filename :</b> SECCION 5.des			
<b>Zone Name :</b> Area no. 3	<b>Valve Description :</b> 2" Nelson Solenoid Control Valve	<b>Zone Head (D/S) :</b> 10.48 (m)	<b>Zone Head (U/S) :</b> 10.58 (m)
<b>Total Zone Flow :</b> 6.87 (m <sup>3</sup> /h)	<b>Valve Headloss :</b> 0.10 (m)		
	<b>Allowable Flow</b>	<b>Actual Flow</b>	<b>Allowable Pressure</b>
	(lpm)	(lpm)	(m)
Minimum Outlet	0.13	0.13	9.46
Maximum Outlet	0.13	0.13	10.53
Outlet Variation (%)	5.00	3.61	10.14
Coefficient of variation = 0.035	Mean Emitter Flow = 0.13	No. of Emitters per Plant = 2	
Cu = 99.3(%)	Eu = 95.9(%)	Du = 99.0(%)	
<b>Outlet Locations (X,Y)</b>	<b>Minimum :</b> 98.4, -36.6	<b>Maximum :</b> 60.3, 32.2	

**Figura 4.13.** Especificaciones del bloque 3 de riego por goteo integrado diseñado en IRRICAD.



**Figura 4.24.** Bloque de riego con manguera de goteo integrado para un área de 0.90 ha.

#### 4.5. Reportes y Diagramas de Uniformidad de emisión Eu% de los Bloques de Riego Utilizando el software de AquaFlow 3.2.

Reporte del bloque 1 de riego en la figura 4.15, podemos observar los reportes de las especificaciones generales de la línea regante de 106 de longitud del primer bloque de riego, mostrando la presión a la entrada que son 8.16 mca, a presión mínima 7.9 mca, el caudal promedio del gotero 7.82 L/h y la uniformidad de la regante (Eu% = 93.36), mientras que la uniformidad del bloque de riego (Eu% = 92.67) el cual es una uniformidad excelente de acuerdo a la clasificación de Keller y Karmeli (1974);



Count on it.

### Toro AquaFlow 3.2 Reporte del Diseño

#### Lateral

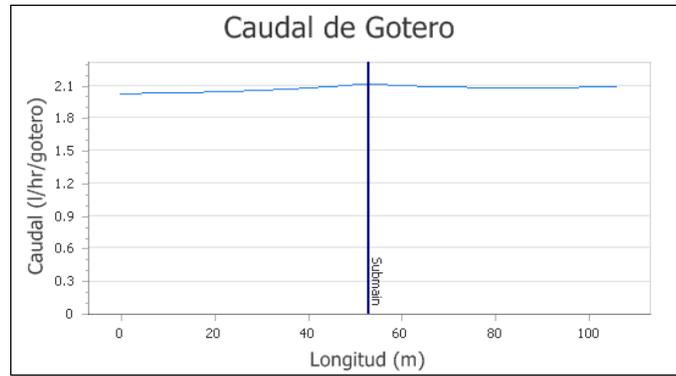
Tipo de Producto	Custom	Modelo	Gotero 2GPH	Pendiente:	0.5 %
Longitud:	106 m	Presión de Entrada:	0.8 bar	Posición de Manifold:	50.0 %
Caudal de Lateral:	46937 l/hr/Lateral	Caudal Gotero (Prom):	7.82 l/hr / Gotero	Caudal Promedio:	4.47 l/hr/m
EU% Lateral Individual:	93.36 EU%	Tiempo de Trayectoria:	10.86 Minutos	Caudal Got. Mín/Máx:	95.77 %
Presión Mínima:	0.73 bar	Presión Máxima:	0.80 bar	Diámetro Interior:	13.970 mm
Coefficiente del Gotero:	2.60	Exponente del Gotero X	0.48	Distancia entre Goteros:	175 cm

#### Manifold

Diámetro y Cedula de Tubería:	CL 100, 3"	Pendiente:	3.3 %
Presión de Entrada:	0.8 bar	Distancia entre Surcos:	60 cm
Uniformidad Emisión Bloque:	92.67 EU%	Caudal Mínimo de Lateral:	460.98 l/hr
Caudal de Lateral Mín/Máx:	94.58 %	Presión Mínima:	0.77 bar
Diámetro Interior:	84.582 mm	Coefficiente de Rugosidad:	150.00
Caudal:	73,649.5 m <sup>3</sup> /hr/ha	Tasa de Precipitación:	7.365 mm/hr

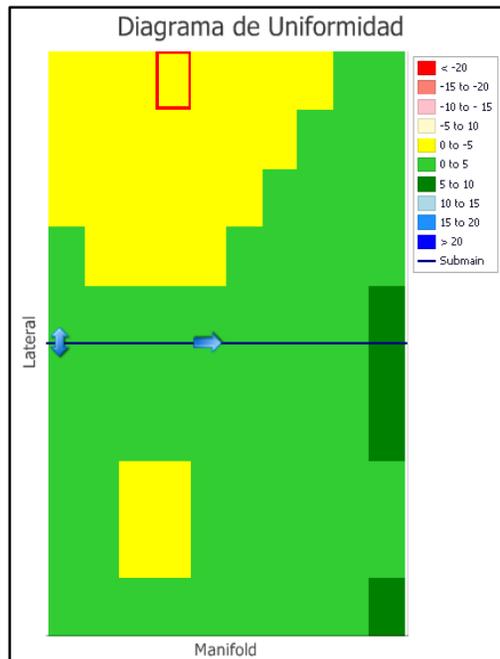
**Figura 4.15.**Reporte de las especificaciones generales de la línea regante de 106 de longitud del primer bloque de riego.

En la figura 4.16 de caudal del gotero se distingue que del lado derecho del bloque tiende a ser lineal, mientras que el otro lado después de 15 metros va cayendo el caudal, eso se debe a la pendiente que se manejó en el diseño. Y principalmente se puede observar que la presión de entrada a los laterales al alta que la salida.



**Figura 4.16.**Gráfica del caudal del gotero en el bloque 1 de riego.

En la figura 4. 17. Por último se aprecia el diagrama de uniformidad del bloque 1 de riego por goteo integrado que distribuye el agua a 11 líneas regantes, dicho diagrama indica con la variación de colores cuando en caudal es más homogéneo tienden a ser máximo tres colores, mayor a estos se ve afectado en la uniformidad del riego, una de las razones por la que se presenta así pudiera ser debido a la pendiente o a la dimensión del bloque.



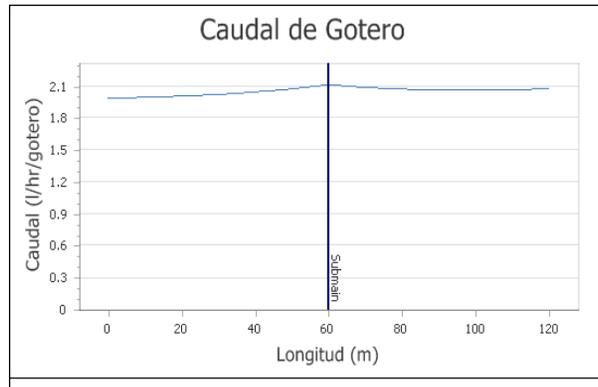
**Figura 4.17.**Diagrama de la uniformidad del bloque 1 de riego.

Reporte del bloque 2 de riego en la figura 4.18. Se observan los reportes de las especificaciones generales de la línea regante de 120 de longitud del segundo bloque de riego, mostrando la presión a la entrada que son 8.16mca, la presión mínima 7.1mca, el caudal promedio del gotero 7.75 L/h y la uniformidad de la regante (Eu%= 92.45), mientras que la uniformidad del bloque de riego (Eu%= 90.54) el cual es una uniformidad excelente de acuerdo a la clasificación de Keller y karmeli (1974).

 <b>Toro AquaFlow 3.2 Reporte del Diseño</b>					
<b>Count on it.</b>					
<b>Lateral</b>					
Tipo de Producto	Custom	Modelo	Gotero 2GPH	Pendiente:	0.6 %
Longitud:	120 m	Presión de Entrada:	0.8 bar	Posición de Manifold:	50.0 %
Caudal de Lateral:	532.14 l/hr/Lateral	Caudal Gotero (Prom):	7.75 l/hr / Gotero	Caudal Promedio:	4.43 l/hr/m
EU% Lateral Individual:	92.45 EU%	Tiempo de Trayectoria:	11.07 Minutos	Caudal Got. MínMáx:	94.03 %
Presión Mínima:	0.70 bar	Presión Máxima:	0.80 bar	Diámetro Interior:	13.970 mm
Coefficiente del Gotero:	2.60	Exponente del Gotero X	0.48	Distancia entre Goteros:	175 cm
<b>Manifold</b>					
Diámetro y Cedula de Tubería:	CL 100, 3"	Pendiente:	3.9 %		
Presión de Entrada:	0.8 bar	Distancia entre Surcos:	60 cm		
Uniformidad Emisión Bloque:	90.54 EU%	Caudal Mínimo de Lateral:	518.55 l/hr		
Caudal de Lateral MínMáx:	93.76 %	Presión Mínima:	0.76 bar		
Diámetro Interior:	84.582 mm	Coefficiente de Rugosidad:	150.00		
Caudal:	73,381.7 m <sup>3</sup> /hr/ha	Tasa de Precipitación:	7.338 mm/hr		

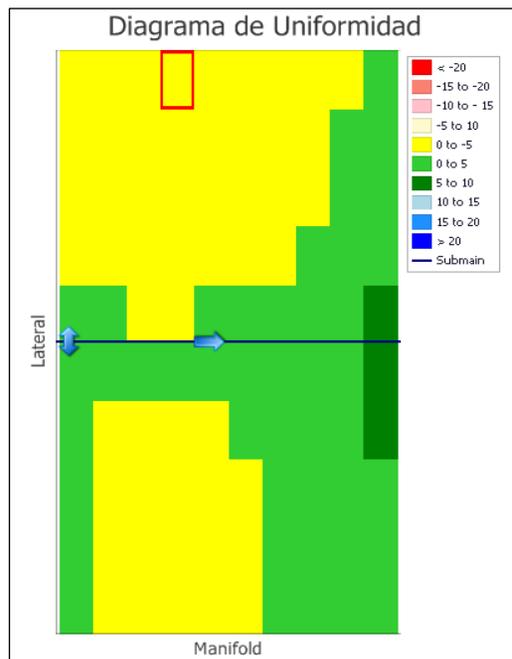
**Figura 4.18.** Reporte de las especificaciones generales de la línea regante de 106 de longitud del segundo bloque de riego.

En la figura 4.19, la gráfica del caudal del gotero se distingue que del lado derecho del bloque tiende a ser lineal, mientras que el otro lado después de 10 metros va cayendo el caudal, eso se debe a la pendiente que se manejó en el diseño.



**Figura 4.19.**Gráfica del caudal del gotero en el bloque 2 de riego.

En la figura 4. 20, se aprecia el diagrama de uniformidad del bloque 1 de riego por goteo integrado que distribuye el agua a 11 líneas regantes, dicho diagrama indica con la variación de colores cuando en caudal es más homogéneo tienden a ser máximo tres colores, mayor a estos se ve afectado en la uniformidad del riego, una de las razones por la que se presenta así pudiera ser debido a la pendiente o a la dimensión del bloque.



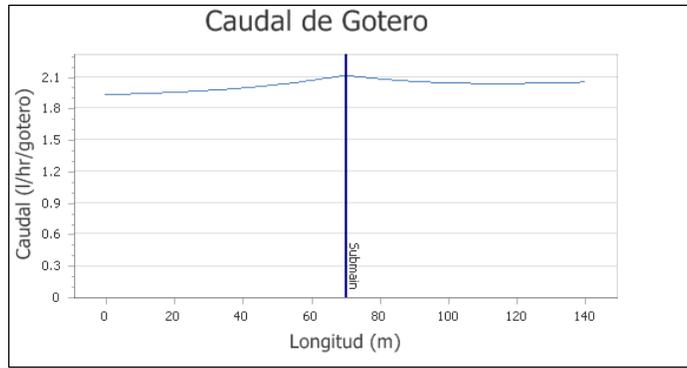
**Figura 4.20.**Diagrama de la uniformidad del bloque 3 de riego.

Reporte del bloque 3 de riego en la figura 4.21, se observan los reportes de las especificaciones generales de la línea regantede 140 de longitud del tercer bloque de riego, mostrando la presión a la entrada que son 8.16mca, la presión mínima 6.73 mca, el caudal promedio del gotero 7.64 L/h y la uniformidad de la regante (Eu%=91.10), mientras que la uniformidad del bloque de riego (Eu%= 88.7) el cual es una uniformidad buena de acuerdo a la clasificación de Keller y karmeli (1974).

<b>TORO</b>		<b>Toro AquaFlow 3.2 Reporte del Diseño</b>	
<b>Count on it.</b>			
<b>Lateral</b>			
Tipo de Producto	Custom	Modelo	Gotero 2GPH
Longitud	140 m	Presión de Entrada:	0.8 bar
Caudal de Lateral	611.08 l/hr/Lateral	Caudal Gotero (Prom):	7.64 l/hr / Gotero
EU% Lateral Individual	91.10 EU%	Tiempo de Trayectoria:	11.39 Minutos
Presión Mínima:	0.66 bar	Presión Máxima:	0.80 bar
Coefficiente del Gotero:	2.60	Exponente del Gotero X	0.48
		Distancia entre Goteros:	175 cm
		Pendiente:	0.7 %
		Posición de Manifold:	50.0 %
		Caudal Promedio:	4.37 l/hr/m
		Caudal Got. MínMáx:	91.32 %
		Diámetro Interior:	13.970 mm
<b>Manifold</b>			
Diámetro y Cedula de Tuberia:	CL 100, 3"	Pendiente:	4.6 %
Presión de Entrada:	0.8 bar	Distancia entre Surcos:	60 cm
Uniformidad Emisión Bloque:	88.76 EU%	Caudal Mínimo de Lateral:	588.49 l/hr
Caudal de Lateral MínMáx:	92.84 %	Presión Mínima:	0.74 bar
Diámetro Interior:	84.582 mm	Coefficiente de Rugosidad:	150.00
Caudal:	71,739.6 m <sup>3</sup> /hr/ha	Tasa de Precipitación:	7.174 mm/hr

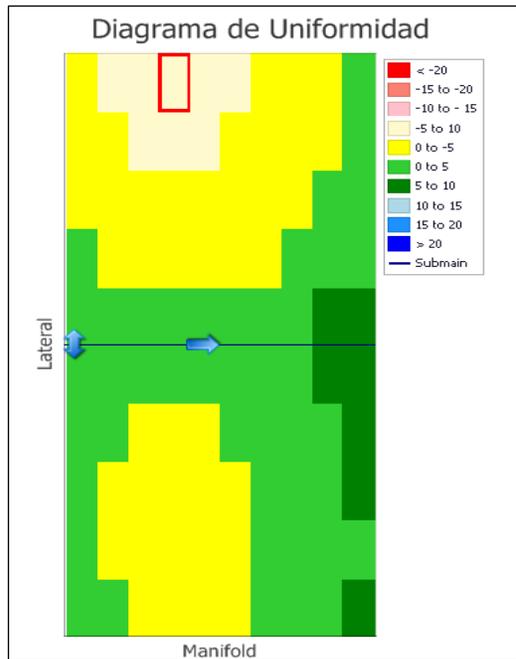
**Figura 4.21.**Reporte de las especificaciones generales de la línea regante de 106 de longitud del tercer bloque de riego.

En la figura 4.22, el caudal del gotero se distingue que del lado derecho del bloque tiende a ser lineal, mientras que el otro lado después de 10 metros va cayendo el caudal, eso se debe a la pendiente que se manejó en el diseño.



**Figura 4.22.**Gráfica del caudal del gotero en el bloque 3 de riego.

En la figura 4. 23, se aprecia el diagrama de uniformidad del bloque 1 de riego por goteo integrado que distribuye el agua a 11 líneas regantes, dicho diagrama indica con la variación de colores cuando en caudal es más homogéneo tienden a ser máximo tres colores, mayor a estos se ve afectado en la uniformidad del riego, una de las razones por la que se presenta así pudiera ser debido a la pendiente o a la dimensión del bloque.



**Figura 4.23.**Diagrama de la uniformidad del bloque 3 de riego.

**4.6. Resultados de análisis de variancia en la Uniformidad de emisión (%Eu) repartida para el diseño de tres bloques de riego aplicando 4 métodos de diseño**

En el cuadro 4.2., se presentan los resultados de los datos obtenidos por medio de los 4 método de diseños empleados para obtener la Uniformidad de Emisión EU%, de los 3 bloques de Riegos evaluados.

**Cuadro 4.2.**La uniformidad de Emisión (Eu%), en los tres métodos de diseños de los tres bloques de riego.

TRATAMIENTOS	MET. DE DISEÑOS	BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3
TRAT 1	CAMPO	81	79.5	73.7
TRAT 2	ELEMENTO FINITO	89	85.5	87.2
TRAT 3	AQUA FLOW	92.6	90.5	88.7
TRAT 4	IRRICAD	96.4	96.3	95.9

En el cuadro 4.3. Se puede observar mediante este análisis de varianza, que mientras mayor sea la uniformidad entre bloques y /o tratamientos, el cuadrado medio del error será un valor muy pequeño, aumentando el valor de F calculada en tratamientos y/o bloques y siendo mayor.

**Cuadro 4.3.**Muestra el análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	F CAL.	FT
<b>TRATAMIENTOS</b>	3	519.769167	173.256389	49.9818094	4.76
<b>BLOQUES</b>	2	22.815	11.4075	3.29088869	5.14
<b>ERROR</b>	6	20.7983333	3.46638889	xxxxxxx	xxxxxxx
<b>TOTAL</b>	11	563.3825	xxxxxxx	xxxxxxx	xxxxxxx

Se concluye que si  $F$  calculada es  $> F$  Tabla entonces existe diferencia significativa en tratamientos; esto indica que los métodos proporcionaron diferente uniformidad.

Por lo mismo se acepta la hipótesis alternante la que se estableció inicialmente.

***Ha:***  $\%EU_{\text{Método en campo}} \neq \%EU_{\text{Algoritmo de diseño}}$ .

Con respecto a los bloques la  $F$  calculada es  $< F$  tabla, entonces no existe diferencia significativa en bloques de riego.

Por lo tanto en la evaluación se pretendió comprobar si las suposiciones que se hicieron en el diseño se cumplen en la operación del sistema de riego instalado en campo, en este caso los métodos de diseños no predicen fielmente el comportamiento hidráulico del sistema en campo, debido a la influencia de temperatura del agua, ausencia de filtro, la edad de los goteros.

#### **4.7. Manejo del agua en la huerta**

En el Cuadro 4.4, se muestran las horas de riego aplicado de marzo a septiembre, que corresponden a los meses del ciclo de producción del manzano en esta región. Los meses de mayor aplicación son marzo, abril, junio y agosto, debido al desarrollo de los árboles y a la demanda evaporativa de la atmósfera. En marzo la aplicación de riego disminuye por la ocurrencia de lluvias y en septiembre porque la huerta está en cosecha. Durante los meses de mayor consumo, los riegos se aplican cada tercer día con 8 h de duración.

Las horas de riegos aplicados, se obtuvieron dividiendo el volumen de agua semanal aplicado en un área correspondiente al ancho de 3.5 m (diámetro de copa de los árboles), tomando en cuenta la demanda de agua semanal por el volumen semanal de agua aplicada se obtuvo con base al gasto del emisor (8 L/h/m). En este caso se consideró la lluvia aportada al suelo.

**Cuadro 4.4.** Horas de riego aplicadas a los árboles de la huerta en los meses del ciclo de producción considerando la lluvia efectiva.

MESES	ETo (mm/semana)	LLUVIA EFECTIVA (mm/semana)	DEMANDA DE AGUA EN RIEGO (mm/semana)	VOL (m3/semana)	RIEGOS (hrs/semanas)
ENERO	13.44	12.175	1.265	0.012170755	0.760672172
FEBRERO	19.39	0	19.39	0.186554099	11.65963116
<b>MARZO</b>	<b>24.92</b>	<b>0</b>	<b>24.92</b>	<b>0.239759058</b>	<b>14.98494113</b>
<b>ABRIL</b>	<b>30.24</b>	<b>0.55</b>	<b>29.69</b>	<b>0.285651944</b>	<b>17.85324647</b>
<b>MAYO</b>	<b>31.57</b>	<b>24.375</b>	<b>7.195</b>	<b>0.069224174</b>	<b>4.326510891</b>
<b>JUNIO</b>	<b>33.53</b>	<b>16.775</b>	<b>16.755</b>	<b>0.161202368</b>	<b>10.07514802</b>
<b>JULIO</b>	<b>31.01</b>	<b>15.45</b>	<b>15.56</b>	<b>0.149705094</b>	<b>9.356568375</b>
<b>AGOSTO</b>	<b>32.27</b>	<b>9.8</b>	<b>22.47</b>	<b>0.216187241</b>	<b>13.51170253</b>
<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>24.57</b>	<b>18</b>	<b>6.57</b>	<b>0.063210956</b>	<b>3.950684719</b>
OCTUBRE	21.35	14.15	7.2	0.06927228	4.3295175
NOVIEMBRE	14.35	8	6.35	0.061094303	3.818393906
DICIEMBRE	12.25	21.125	-8.875	-0.085387706	-5.336731641

En el Cuadro 4.5 se muestran las horas de riego aplicado a los meses del ciclo de producción del manzano sin considerar la lluvia efectiva. Se puede apreciar que los meses de mayor aplicación son de Abril a Agosto, debido al desarrollo de los árboles y sin considerando la demanda evaporativa de la atmosfera.

**Cuadro 4.5.** Horas de riego aplicadas a los árboles de la huerta en los meses del ciclo de producción sin considerar la lluvia efectiva.

MESES	ETo (mm/día)	ETo (mm/semana)	VOL (m3/semana)	RIEGOS (hrs/semanas)
ENERO	1.92	13.44	0.129308256	8.081766
FEBRERO	2.77	19.39	0.186554099	11.65963116
<b>MARZO</b>	<b>3.56</b>	<b>24.92</b>	<b>0.239759058</b>	<b>14.98494113</b>
<b>ABRIL</b>	<b>4.32</b>	<b>30.24</b>	<b>0.290943576</b>	<b>18.1839735</b>
<b>MAYO</b>	<b>4.51</b>	<b>31.57</b>	<b>0.303739706</b>	<b>18.98373159</b>
<b>JUNIO</b>	<b>4.79</b>	<b>33.53</b>	<b>0.32259716</b>	<b>20.16232247</b>
<b>JULIO</b>	<b>4.43</b>	<b>31.01</b>	<b>0.298351862</b>	<b>18.64699134</b>
<b>AGOSTO</b>	<b>4.61</b>	<b>32.27</b>	<b>0.310474511</b>	<b>19.40465691</b>
<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>3.51</b>	<b>24.57</b>	<b>0.236391656</b>	<b>14.77447847</b>
OCTUBRE	3.05	21.35	0.205411553	12.83822203
NOVIEMBRE	2.05	14.35	0.138063503	8.628968906
DICIEMBRE	1.75	12.25	0.117859088	7.366192969

#### **4.8. Alternativas y recomendaciones agronómicas e hidráulicas de cómo mejorar la uniformidad del sistema de riego por goteo**

Una de las partes más importantes en la operación de un sistema de riego por goteo, es el manejo, en el cual se debe tener un cuidado especial para evitar fallas en el funcionamiento general del sistema.

##### **A) Cabezal de riego.-**

- Sistema de filtración se recomienda instalar un filtro (filtro de malla), se debe instalar después del tanque fertilizante, debido a que existen partículas inertes en el fertilizante que pueden tapar los goteros, y por lo tanto eso afecta a la uniformidad de aplicación. Y su limpieza se debe de realizar en periodos cortos de tal modo que antes de riego los filtros deben estar en perfectas condiciones. Una alternativa sería una instalación combinada de 3 filtros (arena, mallas e hidrociclón), lo cual encarece un poco más el sistema, pero favorece eficientemente su funcionamiento, por lo tanto se evita el problema del taponamiento, excepto el originario por la incrustación de sales.
- Manómetros. En el cabezal de riego estos dispositivos son esenciales ya que es un medio auxiliar para detectar las anomalías en el funcionamiento del equipo, se recomienda que no queden unidos en la tierra o en otra posición que lo estropee o lo quiebre, debido a que se oxida la caratula. Recordar que presiones más bajas o más altas que las de diseño presentarían obstrucciones, taponamientos, o fugas en el equipo que será necesario corregir para proporcionar el agua adecuada a los cultivos.
- Medidor volumétrico. Instalar este aparato es una alternativa ya que son algo caros y muchos usuarios deciden incluirlos.
- Válvulas: en las válvulas sería supervisar por si existen fugas, y en cada de que estén en mal estado o quebrados, cambiarlos.

##### **B) Tuberías:**

- Supervisar constantemente las posibles fugas que puedan ocurrir, sobre todo las tuberías que van enterradas. Las líneas laterales deben revisarse periódicamente

para observar la presencia de posibles fugas, rupturas, etc... se recomienda cuando existe fugas no se recomienda colocar goteros porque esto produce una variación en la uniformidad del diseño.

C) Goteros.

- Cuando el sistema de filtrado es insuficiente para reventar los taponamientos de los goteros debido a las fuertes cantidades de carbonatos y bicarbonatos, esto debe prevenir aplicando a la red de riego por medio del tanque fertilizador una solución de ácido clorhídrico 0.5 N hasta completar 2 litros /ha , esta aplicación debe hacerse en forma periódica durante el ciclo vegetativo del cultivo y durante los últimos 10 o 15 min de riego, de tal forma que la solución acida se quede dentro de la tubería y actué disolviendo las pequeñas incrustaciones que se empiezan a formar en los orificios de los goteros. Los emisores deben ser inspeccionados con frecuencia para asegurarnos de que están descargando el agua adecuadamente. Recordar emisores tapados deben ser limpiados o reemplazados.

Unas alternativas sería hacer un nuevo rediseño del sistema de riego por goteo para en esta huerta; calendarios de riego más adecuados a los cultivos y la zona bajo las condiciones de riego por goteo; la utilización de sustancias químicas que eviten el taponamiento, por fijación se sales y materia orgánica; la relación que prevalece entre producción, eficiencia de aplicación y uniformidad de emisión. Como un medio de mejorar la uniformidad de emisión en todo el sistema. Se recomienda dividir las secciones de riego más pequeñas de tal forma que se tenga un mayor control de las distribución de presiones y del gasto, al mismo tiempo se recomienda una capacitación del funcionamiento y operación del sistema de riego a los usuarios de la región de tal manera para que conozcan la necesidad de mantener en buenas condiciones sus instalaciones con la finalidad de que si se encuentran en problemas en el transcurso del ciclo, puedan solucionarlos dentro del rango permisible de operación y no afectar las instalaciones con soluciones mal tomadas por efecto de su ignorancia.

## V. CONCLUSIONES

En la relación a la uniformidad de emisión se llegó a la conclusión que el 78 % de esta muestra de sistemas tienen problemas de diseño; incluyéndose en este, tres aspectos.

A) las unidades de carga no están diseñadas para cargar una carga extra, para solucionar los problemas de variación de presiones en los sistemas.

B) no existe un sistema de filtración requerida en el sistema, eso provoca una obstrucción de emisores frecuentemente.

C) se observó que la mayoría de los bloques de riego, la distribución de presiones es provocada por un mal diseño, ya que la literatura sobre diseño nos especifica que la máxima presión se debe de encontrar en la entrada de la subunidad y el menor el final del lateral más crítico; por lo que se encontró que en algunos bloques evaluados la máxima presión en la subunidad se encontró al final de los laterales.

En el 25% de esta muestra se encontró que la variación en los gastos a lo largo de las líneas laterales son provocadas por la calidad de los emisores de filtrado, con variaciones de gasto, resultando los goteros como principales factores. En lo que respecta a la operación en el manejo del agua, cabe destacar que ningún bloque de riego opera eficientemente, debido principalmente a que no conocen los calendarios de riego de los cultivos, perdiendo estos el principio básico del sistema de riego por goteo, que es el de regar a altas frecuencias y con aplicaciones bajas de volumen de agua.

Al aplicar el método estadístico de análisis de varianza: Para los bloques de riego diseñado con manguera de goteo integrado Rain Bird 16 mm/2 LPH/175 cm, los métodos de diseño si mostraron diferencias significativas en la uniformidad de emisión calculados, por lo que se concluye que la Hipótesis alternativa ( **$H_a$** : %EU Método en campo  $\neq$  %EU Algoritmo de diseño) se acepta.

En IRRICAD y MEF se permite diseñar bloques de cualquier tamaño y forma, con pendientes reales en campo, mientras que en AquaFlow 3.2 el diseño se limita

sólo a bloque rectangular y solo acepta pendientes ascendentes o descendientes, además AquaFlow3.2 sólo evalúa Eu% pero no evalúa Cu% y Du%.

El MEF permite hacer evaluaciones con parámetros observados en campo, así que admite utilizar equipos de riego ya utilizados anteriormente y el software IRRICAD demostró ser el método más rápido y preciso para analizar el funcionamiento hidráulico del bloque de riego y cálculo de la uniformidad de emisión.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- 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.
- Bralts, V, Edwards, D, Wu, I, 1987. Drip irrigation design and evaluation based on statistical uniformity concept. *Adv. in Agron.*4:67-117.
- Bralts, V., Wu I. y Gitlin H. 1981. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity: *Transactions ASAE*, 2(24), 113-119.
- Bucca, Gabriel, 2007. Informe del Manzano. Centro de tesis, Documentos, Publicaciones y Recursos Educativos.
- Campo, C.R. 1997. Una comparación de las medidas de uniformidad de los sistemas de riego por goteo. . Vol. 40 (4): 1013-1020.
- Celigüeta T. 2011. Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural. (4ªEd.). España. Imprenta UNICOPIA C.B
- Christiansen J., E., 1942. Irrigation by Sprinkling, Bulletin 670. University of California. Agricultural Experimental Station Berkeley, California. 124 P.
- Contreras de la R. F. J. 2006. Riego por goteo para el manzano semienano en Arteaga, Coahuila. CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Desplegable para productores Núm. 3. 2 p.
- Escobar, Manuel A. et al. 1979. Funcionamiento hidráulico diseño y evaluación de sistemas de riego por goteo. CENAMAR. Boletín N° 4. 162 pág.
- Fernández, R. 2010. Módulo 4. *Riego localizado: manual y ejercicios*. Sevilla. Consejería de Agricultura y Pesca.
- García I. G. y Briones G. 1986. *Sistemas de riego por Aspersión y Goteo*. 2ª ed. México: Trillas: UAAAN, 2007 (reimp.2011). 277 P.

- Girona, G.J. 2002. Requerimientos hídricos del manzano, manejo y programación del riego. Memorias del VIII Simposio internacional sobre el manzano. Asociación de manzaneros de Cuauhtémoc, A.C. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua. 10 p.
- Gurovich, L A. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. Primera Edición, San José, Costa Rica, 433 p.
- INIFAP, 2014 <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/estaciones.aspx>.
- Loba, J. *et al.* 2011. *Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas*. Revista EIA, ISSN 1794-1237. Número 16, p. 29-41. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín, Colombia.
- López, J., Hernández, Pérez y González. 1992. *Riego Localizado*. Madrid. Ediciones Mundi, Prensa.
- Karmeli y Keller, J. 1974. *Trickle irrigation design*. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation
- Karmeli D. and Merriam, Farm Irrigation System evaluation Agriculture Engineering dept. UTAH State University Logan, UTAH.
- Martínez, C. A., P. Romero, J. I. Fernández. 2007. Técnicas de riego deficitario en el cultivo de la vid. *Vida rural* 444:17-21.
- Martínez, L. 2001. Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado. Gobierno Regional de Atacama, Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro experimental Huasco (Vallenar). Boletín INIA N° 65, 76 P.
- Medina, J. 1988. *Riego por goteo*. España. Ediciones Mundi-Prensa.
- Nakayama, F. S. y Bucks D. A. 1986. *Trickle irrigation for Crop Production: Design, operation and management*. Netherlands. Elsevier Science Publishers B. V.

- Orellana Bello, Stephanie, 2012. Software de Hidráulica de Tuberías para diseño de riego por aspersión. Pontificia Universidad Católica de Chile Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. <https://sites.google.com/site/softwareaspersion/software-3>
- Parchomchuk, P. 1976. Temperature Effects on Emitter Discharge Rates. Transactions of the Asae 19 (4). 690-692
- Pitchford, J. 1979. Drip System Emission Uniformity Evaluation By Mathematical Model, ASAE paper No 79.2098. Asae, St, Joseph, Mi, 49085.
- Pizarro, F. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia: Goteo, micro aspersión, exudación. Madrid. Mundi-Prensa.
- Provenzano, G., Pumo DI., Rallo G., 2005 Evaluación del rendimiento en instalaciones de micro irrigaciones a través de medidas uniformidad y Eficiencia de distribución. La ingeniería AIIA para el desarrollo de Sostenible 'mediterránea área. 9017.
- Rodríguez López, J. R. *et al.* *Riego Localizado*. IRYDA. Ediciones Mundi-Prensa. 1992.
- SAGARPA, 2013. Anuario estadístico de la producción Agrícola. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (consultado en febrero 2014).
- SIAP. 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [en línea] disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Tarjuelo, J. M. 1999. *El riego por aspersión y su tecnología*. (2ª ed.). Madrid, España. Ediciones Mundi-prensa.
- Valverde, C. J. 2007. Riego y drenaje. Primera Edición. San José C. R: EUNED, 224 p.

## **VII. APENDICES**

# **APENDICE A**

## Datos técnicos del sistema de riego por goteo por superficial

<b>3.5</b>	Espaciamiento entre plantas, en m, $E_p$
<b>6</b>	Espaciamiento entre hileras, en m, $E_h$
<b>3.5</b>	Diámetro de copa del árbol
<b>1.75</b>	Espaciamiento entre goteros, $E_e$ , en m
<b>6</b>	Espaciamiento entre regantes, $E_r$ , en m
<b>4.79</b>	Evapotranspiración máxima diaria, en mm/día
<b>1.2</b>	Coefficiente de localización, adim.
<b>0.9</b>	Eficiencia de aplicación, adim.
<b>0.825</b>	Uniformidad de Emisión, adim.
<b>134</b>	Humedad fácilmente aprovechada, en mm
<b>0.1</b>	Máximo déficit de agua permitido, adim.
<b>1</b>	Intervalo de riego propuesto, en días
<b>11.2</b>	Área del sistema, en ha
<b>19.5</b>	Tiempo de riego por día máximo
<b>8</b>	Caudal del emisor propuesto, en lph

DISEÑO AGRONÓMICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUPERFICIAL		
	DONDE:	ECUACION
Área de sombreado (A,m2): <u>0.45814 m<sup>2</sup></u>	A=Es la fracción de área sombreada, en m <sup>2</sup> d =Es el diámetro de copa del árbol, en m $E_p$ = Espaciamiento entre plantas, en m $E_h$ =Espaciamiento entre hileras, en m	$A = \frac{\left( \frac{\pi * d^2}{4} \right)}{E_p * E_h}$
Coefficiente de localización (Kl, adim.): <u>0.72907446</u>	Kl= Coeficiente de localización A=Fracción de área sombreada, en m2	$Kl = A + 0.5(1 - A)$
Necesidades Netas de Riego (Nnr, en mm/día): <u>4.1907</u>	Nnr = Necesidades netas de riego, en mm/día Etc = Evapotranspiración máxima diaria, en mm/día Vc =Corrección por variación climática, adim. Kl = Coeficiente de localización, adim.	$Nnr = Etc * Vc * Kl$
Necesidades Totales de riego (Ntr, en mm/día): <u>5.6440</u>	Ntr = Necesidades totales de riego, en mm/día Nnr = Necesidades netas de riego, en mm/día Ea = Eficiencia de aplicación, dcmal. EU = Uniformidad de Emisión, dcmal.	$Ntr = \frac{Nnr}{(Ea)(EU)}$
Volúmen de agua (NtrL, en lt/pta./día): <u>118.52541</u>	NtrL=Necesidades totales de riego, expresadas en volumen, lt/pta./día. Ntrmm= Necesidades totales de riego, en mm/día $E_p$ = Espaciamiento entre plantas, en m	$Ntr_L = Ntr_{mm} * E_p * E_h$

<p>Intervalo de Riego Máximo (I, en días): <u>2.3</u></p>	<p>I =Intervalo máximo de riego HA =Humedad fácilmente aprovechada, en mm MAD = Máximo déficit de agua permitido, dcmal. Ntr =Necesidades totales de riego, en mm</p>	$I = \frac{HA * MAD}{Ntr}$
<p>Intervalo de Riego propuesto (IR, en días): 1</p>	<p>IR=Intervalo de Riego propuesto, en días Cuando se maneja riego por Goteo se acostumbra tener un valor de riego por goteo de 1-3 días y para micro aspersión de 3-6 días</p>	
<p>Caudal Mínimo para regar la superficie (Qmin, en lps): <u>9.004779</u></p>	<p>Qmin = Caudal mínimo del sistema, en lps Sup = Superficie a regar, en ha Ntr = Necesidades totales de riego, en mm TR = Tiempo de riego por día, máximo 22 horas</p>	$Q_{min} = \frac{10(Sup)(Ntr)}{TR(3.6)}$
<p>Intensidad Horaria de Riego (Ih, en mm/hr): <u>0.7619</u></p>	<p>Ih = Intensidad horaria de riego, en mm/hr Qe = Gasto del emisor propuesto, en lph Ee = Espaciamiento entre emisores, en m Er = Espaciamiento entre regantes, en m</p>	$Ih = \frac{Qe}{Ee * Er}$
<p>Tiempo de riego por día(TRd, en hr): <u>7.407</u></p>	<p>TRd = Tiempo de riego diario, en hr Ntr = Necesidades totales de riego en volumen, lt/pta/día Qe =Gasto del emisor propuesto, en lph</p>	$TRd = \frac{Ntr}{Qe}$
<p>Número de Emisores totales (Ne): <u>10666.6666</u></p>	<p>Ne = Número de Emisores totales Sup = Superficie total bajo riego, en ha Ee =Espaciamiento entre emisores, en m Er =Espaciamiento entre regantes, en m</p>	$Ne = \frac{Sup * 10,000}{Ee * Er}$

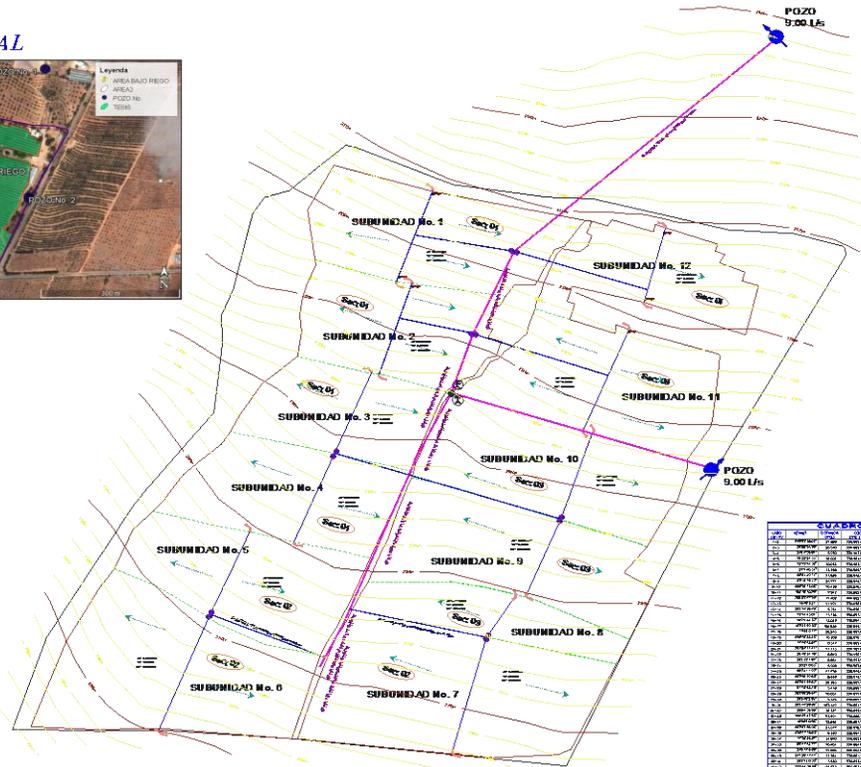
Caudal total de la parcela(Qmax, en lps): <u>23.703703</u>	Qmax = Gasto máximo para regar toda la superficie, en lps Ne = Número de emisores en toda la superficie Qe = Gasto del emisor propuesto, en lph	$Q_{max} = Ne * Qe / 3600$
Número máximo de secciones: <u>2</u>	Nseccmax= Número máximo de secciones Qmax = Gasto Máximo, en lps Qmin = Gasto mínimo, en lps	$N_{secc_{max}} = ENTERO(Q_{max} / Q_{min})$
Gasto por sección(Qsecc, en lps): <u>11.851851</u>	Qsecc = Gasto de la sección, en lps Qmax = Gasto máximo, en lps Nsecc = Número máximo de secciones	$Q_{secc} = Q_{max} / N_{secc}$
Número de secciones a regar por día(Seccdia, de manejo): <u>2</u>	Seccdia= Secciones diarias a regar Nsecc = Número de secciones IR = Intervalo de riego	$Secc_{dia} = N_{secc} / IR$
Tiempo de riego por sección(TRsecc, en hr): <u>7.40783842</u>	TRsecc = Tiempo de riego por sección, en hr TRd = Tiempo de riego diario, en hr IR = Intervalo de riego, en días	$TR_{secc} = TRd * IR$
Tiempo de riego revisado(TRrev, en hr, utilizando Nseccdia de manejo): <u>14.81567</u>	TRrev = Tiempo de riego revisado, en hr TRsecc = Tiempo de riego por sección, en hr	$TR_{rev} = TR_{secc} * Secc_{dia}$

# **APENDICE B**

# SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN LINEA: MANGUERA C/GOTERO INSERTADO



## POLIGONAL PERIMETRAL



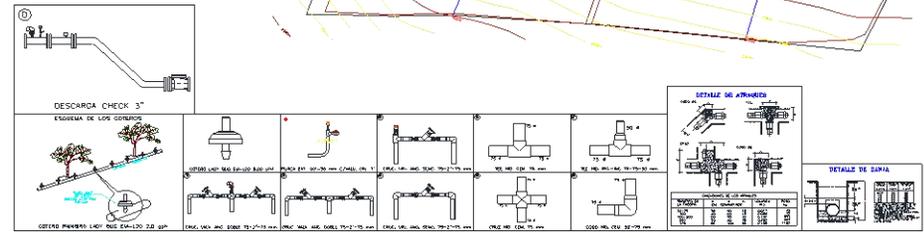
**CUADRO DE PRESIONES**

Presión de operación	8.00 mca
Pérdida en lateral	0.17 mca
Pérdida en secundaria	0.15 mca
Pérdida en principal	20.12 mca
Pérdidas localizadas	3.64 mca
Pérdida en descarga	5.00 mca
Desnivel topográfico	-28.00 mca
Presión total requerida	12.68 mca

**CUADRO DE ESPECIFICACIONES**

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES
1	TUBO HID. PVC RD-41 75 mm	1000	
2	TUBO HID. PVC RD-41 75 mm	1000	
3	LIMITE DEL TERRENO	1	
4	LINEA DIVISORA	1	
5	SENTIDO DEL RIEGO	1	
6	VALV. ANGULAR Plasson 2" RM-RM	1	
7	VALV. DE MARIPOSA 3"	1	
8	PURGA EXTENSION 90°-38 mm	1	
9	VALV. AIRE DOBLE EFECTO 2" PVC RM	1	
10	VALV. CINETICA EMEK 2" PVC RH	1	
11	POZO	1	
12	CURVA DE NIVEL	1	



## DATOS TECNICOS DEL SISTEMA GOTEO SUPERFICIAL

Area del terreno	12-00-00 ha
Area a regar	11-84-00 ha
Cultivo	MANZANO
Espaciamiento	@ 3.50 x 6.00 m
Tipo de sistema	Goteo en línea
Tipo de fuente	El Requerido/ Pozo
Gasto disponible	8.00 L/h @ 0.60 bar
Modelo del emisor	RAIN BIRD LADY BUG EM-120
Gasto del emisor	8.00 L/h @ 0.60 bar
Distribución del emisor	@ 1.75 x 6.00 m
Area de influencia del emisor	10.50 m <sup>2</sup>
Gasto total requerido	25.08 L/s
Número de secciones	Tres
Gasto por sección	Aprox. 9.00 L/s
Intensidad de aplicación	0.76 mm/hr
Evaporación	8.09 mm/día
Factor del cultivo	0.70
Etc max. día.	4.79 mm/día
Necesidades Totales de Riego	5.75 mm/día
No. Emisores/planta	2.00
Volumen de agua por planta	120.75 L/pla/día
Secciones diarias a regar	Una
Tiempo de riego/día (Trd)	7.33 hr:min
Intervalo de riego	@ 100 días
Tiempo de riego/sección (Trsec)	7.33 hr:min
Tiempo de riego/día total (Trev)	32.39 hr:min

**DATOS EQUIPO DE BOMBEO**

Tipo de bomba:	Turbina Vertical
Gasto:	9.00 L/s
Presión a la descarga:	1.20 kg/cm <sup>2</sup>
Filtración:	No considerada
Fertilización:	No considerada

- SIMBOLOGIA**
- TUBO HID. PVC RD-41 75 mm
  - TUBO HID. PVC RD-41 75 mm
  - LIMITE DEL TERRENO
  - LINEA DIVISORA
  - SENTIDO DEL RIEGO
  - VALV. ANGULAR Plasson 2" RM-RM
  - VALV. DE MARIPOSA 3"
  - PURGA EXTENSION 90°-38 mm
  - VALV. AIRE DOBLE EFECTO 2" PVC RM
  - VALV. CINETICA EMEK 2" PVC RH
  - POZO
  - CURVA DE NIVEL

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**  
**ANTONIO NARBO**

DISFRUTO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO CON MANGUERA DE GOTEOS INTEGRADOS A 1.75 m EN UNA HUERTA DE MANZANO EN 12.00 ha EN MUNICIPIO ANTEBAGA, COAHUILA.

DEPTO. RIEGO Y DRENAJE

TITULO: \_\_\_\_\_ N.º VISO: \_\_\_\_\_ N.º VISO: \_\_\_\_\_

PROYECTO: \_\_\_\_\_ N.º PROYECTO: \_\_\_\_\_ N.º PROYECTO: \_\_\_\_\_

ESTUDIO: COTEJO CON MANOERA FECHA: \_\_\_\_\_ ESCALA: 1:1,000.00 DISEÑO: A.T.P. 1:100.00 HOJA: \_\_\_\_\_ DE 1

