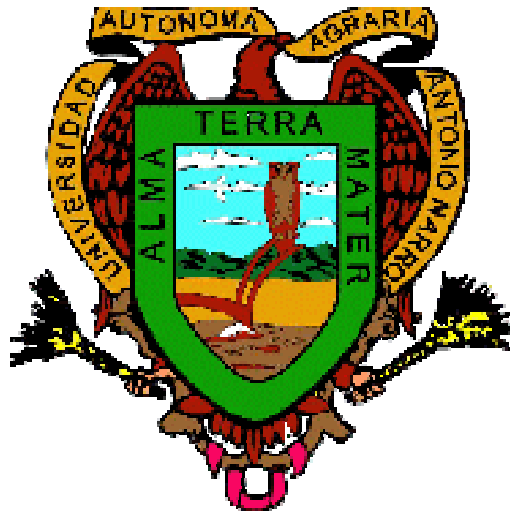


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



MODELO “UNIRIEGO” PARA DISEÑO DE UNIDADES DE RIEGO LOCALIZADO

POR:

JOEL BECERRA GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

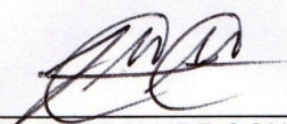
"ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

MODELO "UNIRIEGO" PARA DISEÑO DE UNIDADES DE RIEGO LOCALIZADO
TESIS DEL C. JOEL BECERRA GARCÍA QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACION DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

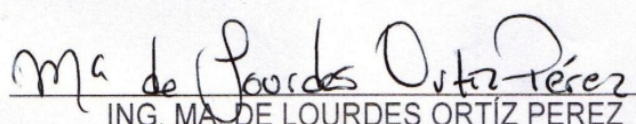
ASESOR PRINCIPAL:


M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO


ASESOR:

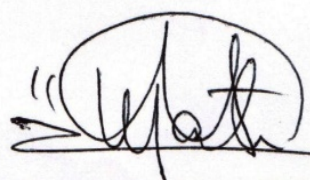

Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

ASESOR:


ING. MA. DE LOURDES ORTÍZ PEREZ

ASESOR:


M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ


M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISION DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
MODELO "UNIRIEGO" PARA DISEÑO DE UNIDADES DE RIEGO LOCALIZADO

TESIS DEL C. JOEL BECERRA GARCÍA Y QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

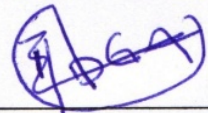
PRESIDENTE:


M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO


VOCAL:



Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

VOCAL:


M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ

VOCAL SUPLENTE:


M.C. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA


M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios;

A mis padres Rafael Becerra Solano y Juana Rosa García Pichardo porque siempre me han apoyado, por sus consejos, su paciencia y esfuerzo;

A mis hermanos Cinthía, Marilú, Rafael, Lalo y Rosy por todo lo que me han enseñado y por su buena vibra;

A mis compañeros, amigos y profesores que estuvieron en la Universidad Antonio Narro durante el período 2006-2010, por el aprendizaje, la convivencia y por ser parte importante en mi carrera profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	II
INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE ANEXOS	V
RESUMEN	VI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. METAS	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA	4
5.1 Sistemas de riego localizado.....	4
5.1.1 Ventajas.....	4
5.1.2 Desventajas.....	4
5.2 Descripción del sistema.....	5
5.2.1 Emisores.....	5
5.2.1.1 Régimen de Flujo.....	6
5.2.2 Sistema de filtración.....	6
5.2.3 Equipo de fertilización.....	7
5.2.4 Líneas regantes.....	7
5.2.6 Líneas de distribución.....	7
5.2.7 Tuberías de conducción.....	8
5.2.8 Aparatos de control y medición.....	8
5.2.9 Accesorios.....	8
5.3 Unidad de Riego.....	9
5.4 Aspectos agronómicos en el diseño de riego localizado.....	9
5.4.1 Diseño hidráulico.....	10
5.4.2 Cálculo de pérdida de energía por superficie.....	10
5.4.3 Pérdida de carga localizada.....	11
5.4.4 Diseño de la unidad de riego.....	11
5.4.4.1 Pérdida de carga permisible.....	12
5.4.4.2 Distribución de pérdida de energía en la unidad de riego.....	13
5.4.4.3 Diseño de línea regante.....	13
5.4.4.4 Diseño del distribuidor.....	15

5.5 Lenguajes de programación.....	16
VI. MATERIALES Y METODOS	17
6.1 Ubicación del área de estudio	17
6.2 Modificación de ecuaciones de diseño.....	17
6.2.1 Ecuación de pérdida de energía en tubería	17
6.2.2 Ecuación de pérdida de energía localizadas	17
6.2.3 Ecuaciones de diseño de riego	18
6.2.3.1. Ecuaciones para cálculo de una línea de riego	18
6.2.3.2. Ecuaciones para diseño del distribuidor	19
6.3 Sistematización de ecuaciones de diseño de riego localizado.....	19
6.4 Escenarios de diseño de unidades de riego	20
6.4.1 Superficie de la unidad de riego.....	20
6.4.2 Costo de la unidad de riego	20
6.4.3 Relación costo-superficie de unidades de riego	21
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
7.1 Ecuaciones de diseño resultante	22
7.2 Programa para calcular unidades de riego UNIRIEGO	23
7.2.1 Procedimiento de diseño de unidad de riego con el programa de	24
cómputo UNIRIEGO	24
7.3 Superficie de unidades de riego.....	29
7.4 Costo de la unidad de riego localizado	30
7.5 Relación costo superficie de la unidad de riego localizado ($\$/m^2$)	31
VIII. CONCLUSIONES	32
IX. LITERATURA CITADA	33
X. ANEXOS.....	35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Unidad de riego localizado. UAAAN UL 2010	9
Figura 2. Ventana de inicio del programa. UAAAN UL 2010	23
Figura 3. Datos de la unidad de riego localizado. UAAAN UL 2010	24
Figura 4. Pérdida de energía en el sistema de riego localizado. UAAAN UL 2010 ...	25
Figura 5. Pérdida de carga permisible y presión de operación del sistema de riego localizado. UAAAN UL 2010.....	26
Figura 6. Superficie de la unidad de riego localizado. UAAAN UL 2010	27
Figura 7. Costo de la unidad de riego localizado. UAAAN UL 2010.....	28
Figura 8. Superficie de unidades de riego con diferente pérdida de energía en línea regante. UAAAN UL 2010	29
Figura 9. Costo de la unidad de riego con diferente pérdida de energía en la línea regante. UAAAN UL 2010	30
Figura 10. Relación costo-superficie de riego localizado con diferentes de pérdidas de energía en la línea regante. UAAAN UL 2010.....	31

INDICE DE ANEXOS

Cuadro A1. Datos técnicos del emisor.	36
Cuadro A2. Datos técnicos para calcular el número de emisores por línea regante.	36
Cuadro A3. Datos técnicos para calcular el número de líneas regantes en el distribuidor.	36
Figura A1. Superficie de unidades de riego con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 16 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	37
Figura A2. Superficie de unidades de riego con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 19 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	37
Figura A3. Superficie de unidades de riego con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 22 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	38
Figura A4. Costo de la unidad de riego con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 16 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	38
Figura A5. Costo de la unidad de riego con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 19 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	39
Figura A6. Costo de la unidad de riego con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 22 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	39
Figura A7. Relación costo-superficie de riego localizado con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 16 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	40
Figura A8. Relación costo-superficie de riego localizado con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 29 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	40
Figura A9. Relación costo-superficie de riego localizado con diámetro del distribuidor de 2 pulgadas y 22 mm en línea regante. UAAAN UL 2010	41

RESUMEN

El diseño hidráulico de unidades de sistemas de riego es un proceso importante para realizar proyectos económicos y eficientes para una mejor producción y calidad de los cultivos, es necesario conocer cómo se comporta el agua a través de los conductos y accesorios para establecer las dimensiones adecuadas tanto del diámetro de la tubería como de su longitud.

En el presente trabajo realizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, se creó un programa de computo para el diseño de unidades de riego donde se puede calcular superficie y costo de manera práctica y rápida. Además se diseñaron unidades de riego con distintos porcentajes de pérdida de carga en línea regante y tubería de distribución con el objetivo de determinar el porcentaje de pérdida de carga permisible en líneas regantes que genere la mayor superficie de riego localizado para disminuir costos en accesorios en un proyecto de riego donde se requieren varias unidades.

Los datos obtenidos obedecen a una ecuación cuadrática convexa hacia arriba, lo que indica que poseen un valor máximo de área de riego localizada.

El programa denominado UNIRIEGO realiza los cálculos en base a la metodología propuesta por el CENID-RASPA (Diseño de Sistemas de Riego Presurizado, 2004), permite crear diferentes escenarios de diseño de unidades de riego de manera rápida para elegir el más económico.

PALABRAS CLAVE: Diseño, programa, hidráulica, riego, goteo

I. INTRODUCCIÓN

El uso de sistemas de riego localizado se ha intensificado en los últimos años debido a la escasez del recurso agua. En México el uso del recurso hídrico se reparte en el sector agropecuario con un 77%, área industrial 9% y uso público un 14% (CONAGUA, 2008) por lo que las políticas agropecuarias están encaminadas a incrementar la productividad mediante tecnologías y estrategias para mejorar la gestión del agua.

La superficie dedicada a labores agrícolas en México varía entre 20 y 25 millones de hectáreas, de la cual solo 6.46 millones de hectáreas tienen infraestructura de riego (CONAGUA, 2008).

Los sistemas de riego localizado constituyen una alternativa para ahorro de agua debido a una alta eficiencia de aplicación, requerimiento, distribución y conducción. El uso eficiente de agua resulta de mayor importancia en las zonas agrícolas donde el recurso es escaso.

El diseño de un sistema de riego se divide en dos secciones, diseño agronómico y diseño hidráulico. En ocasiones el fracaso en los proyectos de riego se debe a un mal diseño ó falta de conocimiento para operarlo.

En el diseño hidráulico se utilizan comúnmente las ecuaciones de pérdida de carga propuestas por Manning, Hazen-Williams y Darcy-Weisbach, existen diferentes metodologías para el diseño hidráulico de sistemas de riego, en el presente trabajo se utilizó la propuesta por el CENID-RASPA (Diseño de Sistemas de Riego Presurizado, 2004), utilizando la ecuación de Manning, para el diseño de unidades de riego.

En la actualidad se siguen utilizando los criterios de pérdida de energía propuestos por Keller y Karmeli (55% de pérdida de energía permisible en líneas regantes y 45% de pérdida de energía en la tubería de distribución) sin considerar que los precios de las tuberías han variado desde hace mucho tiempo. Actualmente en el mercado existe gran cantidad de proveedores, lo cual indica que dicho criterio

de distribución de pérdida de energía antes mencionado no garantiza una unidad de riego con una área máxima y costo mínimo. Para ello se creó un programa de cómputo que permite calcular la unidad de riego de mayor superficie para diámetros propuestos de líneas regantes y tubería de distribución, con el fin de reducir el número de accesorios de control en un proyecto de riego disminuyendo por lo tanto el costo global.

II. OBJETIVOS

Modificar las ecuaciones de diseño propuestas por Ramírez et al 1978. Para facilitar su resolución.

Sistematizar las ecuaciones de diseño de riego localizado para determinar la pérdida de energía óptima en la línea regante que nos genere un área máxima de riego.

III. HIPÓTESIS

El comportamiento de las áreas de riego localizado con diferentes pérdidas de energía en la línea regante obedece a una ecuación cuadrática convexa hacia arriba.

IV. METAS

Modificar las ecuaciones de diseño propuestas por Ramírez et al 1978.

En dos meses sistematizar las ecuaciones de diseño de riego localizado.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Sistemas de riego localizado

El riego localizado, se considera como la aplicación del agua al suelo en una zona más o menos restringida del volumen radicular, dentro del cual se encuentra el riego por goteo. Estos sistemas aplican agua con un caudal no superior a 20 litros por hora por punto de emisión o líneas regantes.

El riego por goteo consiste en llevar el agua necesaria para los cultivos por medio de tuberías especiales a través de una red diseñada en el terreno. Esta agua llega al sistema radicular de la planta por emisores que funcionan como goteros. Con este sistema se establecen una serie de particularidades que se traducen en un incremento en producción y alternativas económicas importantes (Rodríguez, 1992).

Para realizar proyectos de riego localizado se deben usar coeficientes de uniformidad de 80 y 90%, y eficiencias de aplicación del orden de 95% (Rendón, 2007).

5.1.1 Ventajas

Los sistemas de riego localizado presentan diferentes ventajas entre ellas esta el ahorro importante de agua, mano de obra, abonos y productos fitosanitarios, la posibilidad de regar cualquier tipo de terreno ya que la pendiente del terreno no es un obstáculo para este tipo de riego por la regulación de caudales que puede aplicarse. Además hay aumento en producción, precocidad de cosecha, calidad del producto, control de maleza y fertilización a través del agua de riego.

5.1.2 Desventajas

El taponamiento de emisores es un problema en la mayoría de los sistemas de riego que no cuentan con las medidas adecuadas para evitar la obstrucción por sales y material orgánico debido al área reducida de salida. En este tipo de sistema se requiere mayor conocimiento técnico para operar, ya que una mala proyección e instalación puede ocasionar la pérdida de cosecha por falta de agua o nutrientes y la inversión inicial en los sistemas de riego presurizado es elevada.

5.2 Descripción del sistema

Las instalaciones de riego localizado están comprendidas por las siguientes partes:

5.2.1 Emisores

Dispositivos instalados en el lateral que controlan la salida del agua y deben cumplir con una serie de características que se mencionan a continuación:

- 1.-Caudal uniforme y poco sensible a la variación de presión.
- 2.- Poca sensibilidad a las obstrucciones.
- 3.-Poca variación en la fabricación.
- 4.-Resistencia a productos químicos y al ambiente.
- 5.-Bajo costo.
- 6.-Estabilidad de la relación caudal-presión en su vida útil.

Existe gran variedad de emisores de diferente forma y configuración para disipar la presión. Los más utilizados operan con caudales entre 1 y 4 litros por hora, (Liotta, 2005). Los principales goteros que se utilizan en la actualidad son de laberinto, tipo vórtex (de botón) y cintas perforadas.

Los goteros se usan generalmente en tuberías regantes de polietileno con pared gruesa para cultivos en hileras y perennes formando franjas de humedecimiento a lo largo del cultivo, duran generalmente más de cinco años. Las cintas plásticas de goteo o cintillas, se usan para cultivo de hortalizas o anuales, tienen duración de seis meses a tres años dependiendo del calibre (Peña, 2007).

La relación entre el caudal y presión del emisor se debe conocer con el fin de controlar la operación del mismo. Esta relación se ajusta a la siguiente ecuación experimental:

$$q = Kh^x \dots \dots \dots (1)$$

q = Caudal del emisor (lph).

K = Coeficiente obtenido mediante regresión y representa el caudal correspondiente a una presión (adimensional).

h = Presión hidráulica a la entrada del agua en el emisor (m).

x = Exponente de descarga obtenido por regresión (adimensional).

Este exponente de descarga caracteriza el régimen de flujo dentro del emisor y de sus dispositivos de auto compensación.

Otro aspecto hidráulico de los emisores es la pérdida de carga por conexión, dependiendo de la instalación en la tubería, sobre la línea, interlínea o sobre línea con alargadera.

5.2.1.1 Régimen de Flujo

Para flujo laminar el valor de x varía entre 0,7 y 0,95, suelen tener un largo y estrecho conducto, en este caso se encuentran los microtubos. En flujo transitorio o parcialmente turbulento el valor de x se sitúa entre 0,55 y 0,65, son los goteros de laberinto, en donde un largo conducto tortuoso aumenta la turbulencia del flujo en el interior del gotero. Por último los de régimen de flujo completamente turbulento el exponente x suele ser próximo a 0.5, son los llamados goteros de orificio y goteros vórtex (Castañón, 2000).

5.2.2 Sistema de filtración

Utilizado para prevenir los efectos perjudiciales inherentes al uso de agua con partículas sólidas en suspensión, orgánicas o minerales, que pueden obstruir los conductos estrechos de un emisor, la sección de tuberías al sedimentarse y dañar otros dispositivos con elementos móviles. La precipitación a partir de las sustancias disueltas en el agua y las aportadas por los fertilizantes son, a veces, causantes de una obstrucción lenta y continua de graves consecuencias que debe eliminarse con tratamientos periódicos, las algas y bacterias son otra importante causa de obstrucción (Montalvo, 2005). Entre los sistemas de filtrado más utilizados están los hidrociclones, filtros de malla y filtros de arena. En diseño se considera una pérdida

de carga por filtro de 3 mca cuando esta limpio y se permite que llegue hasta 6 mca antes de hacer un lavado de filtro para que siga funcionando de manera eficiente.

5.2.3 Equipo de fertilización

Se encuentra en el cabezal de riego, antes de los filtros de malla o en el inicio de unidades cuando se riegan simultáneamente distintos cultivos. La fertirrigación debe terminar, al menos 15 minutos antes que el agua de riego deje de salir por el emisor mas alejado, con el fin de lavar los productos químicos y evitar su precipitación. Los métodos de inyección son: venturi, tanque de fertilización y bomba de inyección accionada eléctrica o hidráulicamente.

5.2.4 Líneas regantes

Tuberías que se ubican dentro del cultivo a lo largo de la hilera de plantas y a cierta distancia en el caso de doble línea. Normalmente son de 16 y 22 mm en función del caudal a distribuir y longitud de riego. El material es polietileno de baja densidad. También se denominan tuberías porta emisores. Los laterales de riego se conectan a las tuberías de Distribución.

En el dimensionado de estas tuberías influye el caudal de goteros y número, inclinación del terreno, rugosidad de las paredes, espaciamiento de goteros y coeficiente de reducción por división del caudal. (Medina, 1982).

5.2.6 Líneas de distribución

Líneas que llevan el caudal a cada una de las líneas regantes por lo que también tienen salidas múltiples. Tienen pérdida de carga por fricción, localizadas en las uniones de las regantes y conexiones de tubos del distribuidor. De acuerdo con los sistemas de riego pueden ser de cloruro de polivinilo (PVC) o aluminio.

5.2.7 Tuberías de conducción

Las tuberías más empleadas son de cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno. El PVC se usa en diámetros superiores a 50 mm para las líneas de distribución primaria, secundaria y terciaria. Los diámetros más comunes son de 40, 50, 63, 75, 90, 110 y 160 mm. En instalaciones grandes las tuberías principales tienen diámetro superiores a los 200 mm (Liotta, 2005).

5.2.8 Aparatos de control y medición

Los manómetros son un componente importante del sistema ya que permite determinar la presión en los puntos que se desee, tanto en el cabezal como en el campo.

Contadores o caudalímetro que cumplen con la función de medir el caudal instantáneo y totalizado, se instala en el cabezal a la salida de los filtros.

Controlador de Riego (automatización), no es absolutamente necesario sin embargo presenta ventajas principalmente en instalaciones grandes, como mejor control de frecuencia y láminas de riego, programación del retro lavado y fertirrigación, control de fallas y averías, almacenamiento de datos de riego, ahorro de tareas manuales. Los controladores se instalan en el cabezal de riego y manejan las operaciones de riego en forma secuencial. Funcionan con válvulas solenoides conectadas al controlador y a cada válvula de campo por medio de mandos hidráulicos, de esta manera cada válvula inicia y finaliza el riego en función de la orden enviada por el ordenador, (Liotta, 2005).

5.2.9 Accesorios

Conjunto de piezas que se utilizan para pegar y ensamblar las tuberías y construir los cabezales de campo. Se utilizan accesorios de PVC, tales como tés, codos, curvas, coples, reducciones, etc. En unión de válvulas, filtros, reguladores de presión se utilizan piezas de rosca de polipropileno

5.3 Unidad de Riego

Es el conjunto de tuberías regantes, conexiones y distribuidores (Figura 1) regulados por una unidad de control autónoma que consiste en accesorios y conexiones para supervisar, controlar la presión y el gasto de operación de una sección de riego, deben funcionar independientes de las otras secciones, sus componentes son niples, coples, válvulas de cierre y regulación de presión, manómetro y accesorios hidráulicos necesarios en su instalación, (Peña, 2007).

En la unidad de riego la presión se puede regular en la entrada de cada subunidad. El objetivo hidráulico es controlar una aplicación de agua lenta, localizada y uniforme que se consigue gracias a la baja presión y poco desigual en los puntos de inserción de los goteros (Losada, 2009).

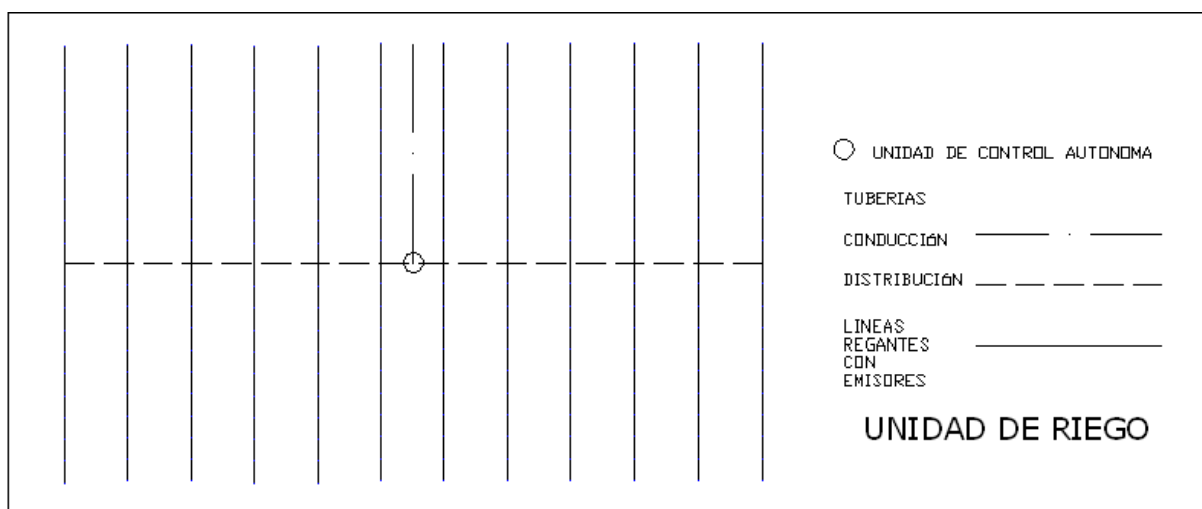


FIGURA 1. Unidad de riego localizado. UAAAN UL 2010

5.4 Aspectos agronómicos en el diseño de riego localizado

La caracterización hidráulica de los sistemas de riego depende de algunos aspectos agronómicos, como espaciamiento entre hileras, espaciamiento entre plantas, marco de plantación, ciclo de cultivo, tipo de suelo y requerimiento diario máximo de riego. La selección de gotero debe fundamentarse en la velocidad de infiltración del agua en el suelo radical y su redistribución. La variabilidad de condiciones climáticas, edáficas, de cultivo, tecnológicas e incluso económico-sociales impide establecer normas generales de proyecto en sistemas de riego. (Losada, 2005).

5.4.1 Diseño hidráulico

Un sistema de riego a presión se comporta como un conducto cerrado en donde el agua se mueve por efecto de un gradiente de presión, (Gómez, 1975). En el diseño de estos sistemas es necesario conocer las características de funcionamiento hidráulico de tales componentes, para alcanzar una aplicación y distribución del agua de riego eficiente. Menor costo y mayor uniformidad mejoran la producción, tanto en rendimiento por unidad de superficie como en calidad, (Román et al, 2004). El diseño hidráulico considera un porcentaje máximo de pérdida de carga permisible de 20 % de la presión de operación, esto equivale a un 10 % de pérdida de gasto entre el emisor mas favorecido y el mas alejado. La pérdida de carga permisible se divide entre el distribuidor y líneas regantes, el porcentaje para cada uno de ellos respectivamente esta dado por la forma de la unidad y costo de los materiales.

5.4.2 Cálculo de pérdida de energía por superficie

Cuando circula el agua por dentro de las tuberías debido al rozamiento de las paredes, se produce una pérdida de energía o de presión, conocida con el nombre de pérdida de carga (Moya, 2009). En el cálculo de la línea regante y de distribución se deben considerar tanto la perdida de carga por superficie o fricción como la pérdida de energía de forma en los accesorios, mejor conocida como localizada. Existen varias ecuaciones para calcular la pérdida de carga por fricción que son las propuestas por Manning, Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.

Las ecuaciones de Manning y Hazen-Williams son ecuaciones empíricas usadas para la determinación de pérdida de energía en tuberías, mientras que la ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación analítica utilizada para el mismo fin que las anteriores, estas ecuaciones se presentan a continuación:

$$hf = \frac{10.29q^2 n^2 L}{D^3} \dots \text{Ecuación de Manning} \dots (2)$$

$$hf = \frac{Lq^{1.85}}{(0.2785C)^{1.85} D^{4.87}} \dots \text{Ecuación de Hazen-Williams} \dots (3)$$

$$h_f = f \frac{LV^2}{2gD} \dots \text{Ecuación de Darcy-Wesbach} \dots (4)$$

Donde:

h_f = Pérdida de energía (m).

L = Longitud de la tubería (m).

q = Gasto de la tubería (m³/s).

D = Diámetro de la tubería (m).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

c = coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.

V = Velocidad del fluido (m/s).

f = Factor de fricción de Darcy-Wesbach.

5.4.3 Pérdida de carga localizada

Esta pérdida se produce en los accesorios del sistema, los más importantes son; filtros, contadores, válvulas de compuerta, válvulas chek, válvulas de globo, codos, tes, reguladores de caudal, reguladores de presión entre otros.

Su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida, la fórmula general de pérdida local es (Sotelo A, 1989):

$$h_l = K l \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

h_l = Pérdida de energía localizada (m).

Kl = Factor que depende del accesorio utilizado (adimensional).

V = velocidad media del agua.

g = Aceleración de la gravedad (m/s²).

5.4.4 Diseño de la unidad de riego

En el diseño se procederá de acuerdo a la metodología empleada por el CENID-RASPA (Diseño de Sistemas de Riego Presurizado, 2004).

5.4.4.1 Pérdida de carga permisible

Se establece una variación máxima entre gasto de los emisores más favorecidos (q_0) por la presión y gasto de los emisores menos favorecidos (q_f) de un 10 por ciento que equivale a una variación en presión de 20 % respectivamente. Es decir:

$$\frac{q_f}{q_0} = 0.9 \dots\dots\dots (6)$$

De acuerdo a la ecuación del gotero y relación de gasto se llega a la siguiente ecuación:

$$\frac{q_f}{q_0} = \frac{K h_f^x}{K h_0^x} = 0.9 \dots\dots\dots (7)$$

Sustituyendo y eliminando términos queda la siguiente ecuación:

$$h_f = (0.9)^{1/x} H_0 \dots\dots\dots (8)$$

H_f representa la carga en el último emisor y H_0 la carga en el primer emisor y la variación de carga referida entre el primero y el último emisor se define por:

$$\Delta H = H_0 - H_f \dots\dots\dots (9)$$

ΔH es la pérdida de carga permitida para obtener la diferencia de carga que se desea dentro de la unidad en (mca). La ecuación quedaría como:

$$\Delta H = (1 - 0.9^{(1/x)}) H_0 \dots\dots\dots (10)$$

Cuanto mayor sea ΔH , mayor es la pérdida admisible para conservar una misma uniformidad, pero se presenta el problema del costo de energía, así como la dificultad de que los goteros la disipen con un gasto lento sin que resulten

condiciones que faciliten su obturación. La presión de trabajo en los ramales debe ser por ello relativamente baja (Losada, 2009).

El valor de H_o es la presión de operación que se debe aplicar al inicio de la unidad para asegurar el gasto medio del emisor. La ecuación para calcular H_o es la siguiente (Ramírez et al., 1978).

$$H_o = \left[\frac{q}{k(0.9)^{1/2}} \right]^{\frac{1}{x}} \dots\dots\dots (11)$$

5.4.4.2 Distribución de pérdida de energía en la unidad de riego

Cuando la unidad de riego está formada por solo una línea de riego se utiliza la pérdida de energía al 100% o sea el valor de (Δh) , cuando la unidad de riego está formada por líneas de riego y tubería de distribución se recomienda repartir el valor de (Δh) , Keller y Karmeli recomiendan 55% de (Δh) en líneas regantes y 45% de (Δh) en la tubería de distribución.

5.4.4.3 Diseño de línea regante

Se toma en cuenta la pérdida de carga por fricción y conexiones en los emisores, para calcularla se utilizará la ecuación de Manning. En la pérdida de carga localizada se utiliza la fórmula general en función del caudal.

En el cálculo de la pérdida total de carga para tubería con salidas múltiples se añade la siguiente sumatoria (Ramírez et al., 1978).

$$H_{f(TOTAL)} = \left(\frac{10.29n^2 S q^2}{D^{16/3}} + \frac{K_l q^2}{2g A^2} \right) \sum_{i=1}^N i^2 \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

N = Número de emisores.

$H_f(TOTAL)$ = Pérdida de energía total en tubería (m).

- S = Separación entre emisores (m).
- Kl = Coeficiente de pérdida de carga localizada.
- g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).
- q = Gasto del emisor (lph).

La ecuación según la matemática básica para la sumatoria cuando el exponente “n” es igual a 2, es (Ángeles, 1999):

$$\sum_{i=1}^N i^2 = \frac{2N^3+3N^2+N}{6} \dots\dots\dots(13)$$

Igualando la ecuación a cero quedaría la ecuación 10 donde la incógnita es N (número de salidas) y se resuelve usando el método de Newton-Ramphson utilizado generalmente para encontrar las raíces de ecuaciones algebraicas, ecuación (14).

$$F(N) = 2N^3 + 3N^2 + N - \left(\frac{6 \cdot H_f \text{ SUB TOTAL}}{\frac{10.29N^2 S q^2}{D^{16/3}} + \frac{K_L q^2}{2gA^2}} \right) = 0 \dots\dots\dots(14)$$

Repartiendo la pérdida de energía en la línea regante (55% de acuerdo a (Keller y Karmeli) resulta:

$$F(N) = 2N^3 + 3N^2 + N - \left(\frac{6 \cdot \Delta H \cdot 0.55}{\frac{10.29n^2 S q^2}{D^{16/3}} + \frac{K_L q^2}{2gA^2}} \right) = 0 \dots\dots\dots (15)$$

$$F(N) = N - \frac{F(N)}{F'(N)} \dots\dots\dots (16)$$

Otra forma de solución es utilizando el coeficiente de salidas múltiples que esta dado por la siguiente ecuación:

$$CSM = \frac{\sum_{i=1}^N i^2}{N^3} \dots\dots\dots(17)$$

Despejando para “N” queda la ecuación (18) (Ramírez et al., 1978).

$$N = \left[\frac{\Delta h}{\left(\frac{10.29n^2 S q^2}{D^{16/3}} + \frac{K_l q^2}{2gA^2} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right)} \right]^{1/3} \dots\dots\dots (18)$$

Repartiendo la pérdida de energía en la línea regante (55% de acuerdo a (Keller y Karmeli) resulta:

$$N = \left[\frac{\Delta h(0.55)}{\left(\frac{10.29n^2 S q^2}{D^{16/3}} + \frac{K_l q^2}{2gA^2} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right)} \right]^{1/3} \dots\dots\dots (19)$$

5.4.4.4 Diseño del distribuidor

Diseño análogo al de las líneas regantes haciendo los ajustes apropiados, como número de líneas regantes, gasto y si el distribuidor tiene líneas regantes de un solo lado o en ambos lados. Resultan las siguientes ecuaciones:

$$F(N) = 2Nl^3 + 3Nl^2 + Nl - \left(\frac{6 * \Delta h * 0.45}{\frac{10.29n^2 S * ql^2}{Dd^{16/3}} + \frac{K_L * ql^2}{2g * Ad^2}} \right) = 0 \dots\dots\dots (20)$$

$$Nl = \left[\frac{\Delta h(0.45)}{\left(\frac{10.29n^2 * S l * ql^2}{Dd^{16/3}} + \frac{K_l * ql^2}{2gAd^2} \right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right)} \right]^{1/3} \dots\dots\dots (21)$$

Donde:

- Nl = Número de líneas regantes.
- Sl = Separación entre líneas regantes (m).
- Kl = Coeficiente de pérdida de carga localizada.
- g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).
- Dd = Diámetro del distribuidor (m).
- Ad = Área del distribuidor (m²).
- ql = Gasto de la línea regante (lph).

Si la unidad de riego es alimentada por el centro $q_l = 2 \cdot N \cdot q$, si es alimentada por un extremo entonces $q_l = N \cdot q$.

5.5 Lenguajes de programación

Un programa en sentido informático está constituido en sentido general por variables que contienen los datos con los que se trabaja y por algoritmos que son las sentencias que operan sobre estos datos. Los algoritmos y datos suelen estar incluidos dentro de funciones o procedimientos. Se puede hacer uso de estructuras de control para que en un programa se repitan operaciones (bucles) o compruebe si una condición es verdadera(true) o falsa(false), dependiendo si se requiere repetir una operación un número fijo de veces, continuar hasta que cambien ciertas condiciones iniciales o continuar hasta alcanzar una meta específica predeterminada (Cornell, 1994).

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 Ubicación del área de estudio

El trabajo se realizó en las instalaciones del departamento de riego y drenaje, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en el municipio de Torreón, Coahuila, México.

6.2 Modificación de ecuaciones de diseño

Las ecuaciones propuestas por Ramírez *et al.*, 1978, se modificaron debido a que son laboriosas de resolver por que se alimentan con el diámetro de la tubería y área de la misma, cuando una variable es función de la otra.

6.2.1 Ecuación de pérdida de energía en tubería

La ecuación de pérdida de energía en tuberías propuesta por Ramírez *et al.*, 1978, ecuación 22, se conservó en su forma original, es decir se utilizaron las constantes que dieron origen al valor de 10.29, dicha ecuación es la siguiente:

$$HF = \frac{4^2}{\pi^2} \frac{4^{\frac{4}{3}} q^2 n^2 L}{D^4 D^{\frac{4}{3}}} \dots\dots\dots (22)$$

6.2.2 Ecuación de pérdida de energía localizadas

La ecuación de pérdida de energía localizada, ecuación propuesta por Darcy-Weisbach, ecuación 5, se utilizó en función del diámetro. Resultando la ecuación 23 de la siguiente forma:

$$HL = KI \frac{8q^2}{g\pi^2 D^4} \dots\dots\dots (23)$$

6.2.3 Ecuaciones de diseño de riego

Las ecuaciones de diseño se generaron al hacer la suma de pérdida de energía en una línea de riego, estas son pérdidas de energía por rozamiento en la tubería (ecuación 22) y la pérdida de energía localizada, la que pertenece a los accesorios (ecuación 23).

6.2.3.1. Ecuaciones para cálculo de una línea de riego

La suma de las pérdidas de energía de por fricción en la tubería y las pérdidas de energía en accesorios dieron origen a la ecuación 24 que representa la pérdida de energía en toda la línea regante.

$$HF_{(SUBI)} = \left[\frac{2 \cdot 4^{\frac{4}{3}} \cdot n^2 S}{D^{\frac{4}{3}}} + \frac{Kl}{g} \right] \left[\frac{8q^2}{\pi^2 D^4} \right] \sum_{i=1}^N i^2 \dots\dots\dots (24)$$

Resolviendo la sumatoria resultan las ecuaciones de diseño de una línea regante en función del diámetro de la tubería, ecuación 25 y 26.

La ecuación 25 se resuelve mediante el método de Newton-Ramphson.

$$F(N) = 2N^3 + 3N^2 + N - \frac{6\Delta h(\%lr)}{\left[2n^2 S \left(\frac{4}{D} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{Kl}{g} \right] \left[\frac{8q^2}{\pi^2 D^4} \right]} = 0 \dots\dots\dots (25)$$

Donde:

% Lr = Por ciento de pérdida de energía en la línea regante

La ecuación 26 se resuelve mediante iteraciones, donde un valor propuesto de "N" debe de ser igual a un valor calculado de "N".

$$N = \left[\frac{\Delta h(\%lr)}{\left[2n^2 S \left(\frac{4}{D} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{Kl}{g} \right] \left[\frac{8q^2}{\pi^2 D^4} \right] \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (26)$$

6.2.3.2. Ecuaciones para diseño del distribuidor

El distribuidor se diseña análogo al de líneas regantes haciendo los ajustes apropiados, como número de líneas regantes, gasto y si el distribuidor tiene líneas regantes de un solo lado o en ambos lados. Resultan las siguientes ecuaciones:

La ecuación 27 se resuelve mediante el método de Newton-Ramphson

$$F(NI) = 2NI^3 + 3NI^2 + NI - \frac{6\Delta h(\%Dd)}{\left[2n^2Sl \left(\frac{4}{DI} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{Kl}{g} \right] \left[\frac{8ql^2}{\pi^2 DI^4} \right]} = 0 \dots\dots\dots (27)$$

Donde:

%Dd = Porcentaje de pérdida de energía en el distribuidor (decimal).

La ecuación 28 se resuelve mediante iteraciones, donde un valor propuesto de "N" debe de ser igual a un valor calculado de "N".

$$NI = \left[\frac{\Delta h(\%Dd)}{\left[2n^2Sl \left(\frac{4}{DI} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{Kl}{g} \right] \left[\frac{8ql^2}{\pi^2 DI^4} \right] \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2NI} + \frac{1}{6NI^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (28)$$

6.3 Sistematización de ecuaciones de diseño de riego localizado

Se programaron las ecuaciones de diseño número 10,11, 26 y 28, en el lenguaje de programación Visual Basic 6.0. El programa determina automáticamente el porcentaje de pérdida de carga en la línea regante y distribuidor que nos da mayor superficie de unidades de riego, por lo tanto un menor costo global del proyecto. Sin embargo debido a que es muy común que las dimensiones de las unidades se tengan que ajustar a la forma y medidas del terreno donde se instalará, el programa permite cambiar estos porcentajes. Realiza también una estimación del costo parcial de la unidad por lo que es posible hacer iteraciones con diferentes diámetros de tubería de distribución y líneas regantes para elegir el diseño que sea más económico de una manera práctica y rápida.

6.4 Escenarios de diseño de unidades de riego

Se realizaron diseños de unidades de riego variando los porcentajes de pérdida de energía permisible (Δh) en la línea regante desde 1 por ciento hasta 99%, así mismo se variaron los diámetros de la cintilla de riego usando los de 16, 19 y 22 mm con diámetros de distribuidor de dos, dos y media y tres pulgadas de PVC, para cada uno de los valores se calculó la superficie (m^2) y costo de unidad de riego (\$).

6.4.1 Superficie de la unidad de riego

La superficie de la unidad de riego depende mucho de su forma, la superficie se determinó con la siguiente ecuación.

$$\text{Sup} = 4(N*S)(NI*SI) \dots \dots \dots (29)$$

Donde:

Sup= Superficie de la unidad de riego (\$).

6.4.2 Costo de la unidad de riego

El costo de la unidad de riego se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Cun} = \text{CLin}(4*N*S) + \text{Cdis}(2*SI*NI) + \text{Cad}(4N) \dots \dots \dots (30)$$

Donde:

Cun = Costo de la unidad de riego (\$).

CLin = Costo de la línea regante “cintilla” (\$/m).

Cdis = Costo del distribuidor (\$/m).

Cad = Costo de accesorios de inserción de la cintilla con el distribuidor (\$/pieza)

6.4.3 Relación costo-superficie de unidades de riego

La relación costo superficie de riego nos indica cual es valor en pesos (\$) por cada metro cuadrado (m²) de la unidad de riego localizado. Nos da una idea de que tan económico es el sistema de riego. Dicha relación se determina con la siguiente ecuación.

$$RCS = \frac{CUN}{SUP} \dots\dots\dots(31)$$

Donde:

RCS = Relación costo superficie (\$/m²).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Ecuaciones de diseño resultante

A continuación se presentan las ecuaciones de diseño resultantes (ecuación 26 y ecuación 28). La ecuación número 26, nos sirve para determinar la cantidad de goteros en una línea de riego, en dicha ecuación se aprecia que no posee el área del conducto.

$$N = \left[\frac{\Delta h(\%lr)}{\left[2n^2 S \left(\frac{4}{D} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{Kl}{g} \right] \left[\frac{8q^2}{\pi^2 D^4} \right] \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2N} + \frac{1}{6N^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (26)$$

La ecuación 28 que se presenta a continuación es útil para determinar el número de líneas regantes que se pueden instalar en un diámetro de tubería. En esta ecuación también desaparece el área del conducto y está en función del diámetro de la tubería. Esto facilita el cálculo de las variables de interés.

$$NI = \left[\frac{\Delta h(\%Dd)}{\left[2n^2 S I \left(\frac{4}{DI} \right)^{\frac{4}{3}} + \frac{Kl}{g} \right] \left[\frac{8qI^2}{\pi^2 DI^4} \right] \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2NI} + \frac{1}{6NI^2} \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (28)$$

7.2 Programa para calcular unidades de riego UNIRIEGO

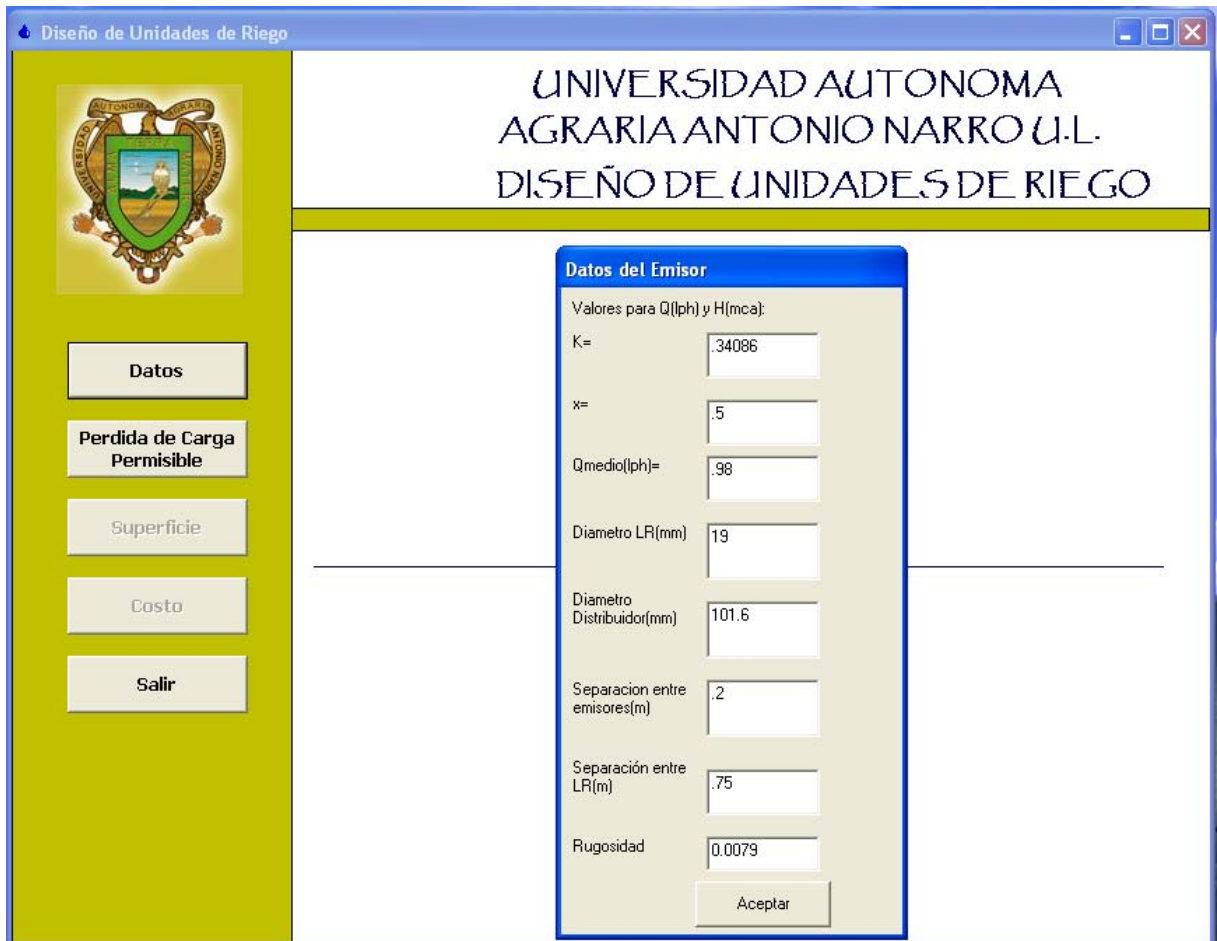
El programa de cómputo UNIRIEGO (Figura 2) calcula las unidades de riego de una forma manual o automática, es decir que el software puede determinar la superficie de riego ingresando la pérdida de energía en la línea de riego localizado de forma manual, o de forma automática determina la mejor cantidad de pérdida de energía en la línea regante para que la superficie de riego sea máxima



Figura 2. Ventana de inicio del programa. UAAAN UL 2010

7.2.1 Procedimiento de diseño de unidad de riego con el programa de cómputo UNIRIEGO

Para iniciar el diseño de unidades se da clic en el botón de Datos (Figura 3), para ingresar los valores del emisor (K, x, q), diámetros de líneas regantes y distribuidor, separación entre emisores y separación entre líneas regantes.



The screenshot shows a software window titled "Diseño de Unidades de Riego" from the "UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO U.L." The main window has a yellow sidebar with buttons for "Datos", "Perdida de Carga Permisible", "Superficie", "Costo", and "Salir". The "Datos" button is selected, opening a "Datos del Emisor" dialog box. This dialog box contains input fields for various parameters:

Valores para Q(lph) y H(mca):	
K=	.34086
x=	.5
Qmedio(lph)=	.98
Diametro LR(mm)	19
Diametro Distribuidor(mm)	101.6
Separacion entre emisores(m)	.2
Separación entre LR(m)	.75
Rugosidad	0.0079

An "Aceptar" button is located at the bottom of the dialog box.

Figura 3. Datos de la unidad de riego localizado. UAAAN UL 2010

Una vez que se han introducido y aceptado los datos de la figura 2, damos clic en el botón de pérdida de carga permisible (figura 4), elegimos el porcentaje de variación en gasto de la unidad de riego y seleccionamos los porcentajes de pérdida de energía en línea regante y distribuidor dependiendo de la forma de unidad de riego que se desea. Si la pérdida de energía en línea regante y distribuidor (hflr- hd) se elige que el programa la determine automáticamente, entonces se realiza el cálculo para obtener la mayor superficie.

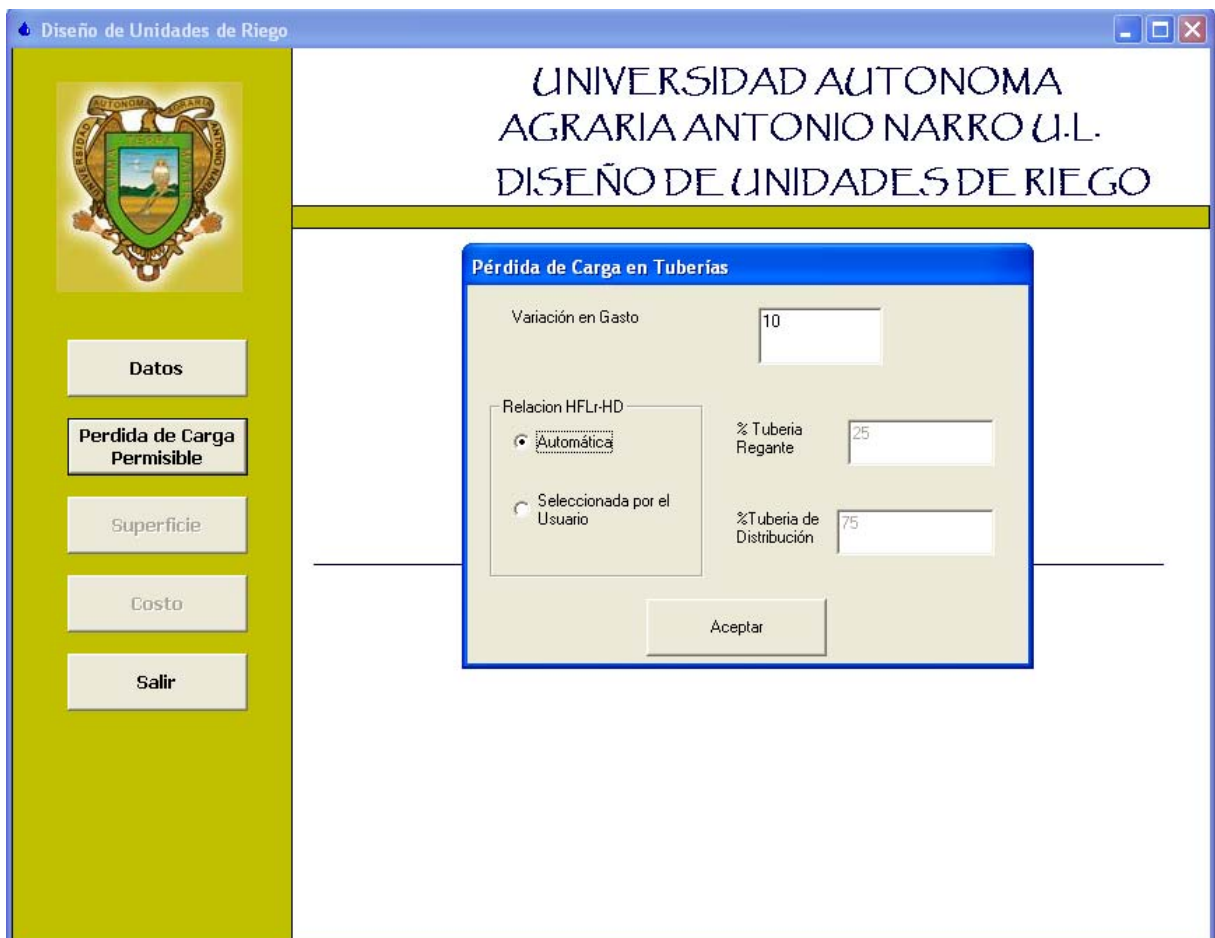


Figura 4. Pérdida de energía en el sistema de riego localizado. UAAAN UL 2010

En la figura 5 se muestran los resultados calculados correspondientes a la presión de operación del sistema, pérdida de carga permisible y porcentajes respectivos de pérdida de carga para línea regante y distribuidor.



Figura 5. Pérdida de carga permisible y presión de operación del sistema de riego localizado. UAAAN UL 2010

En la figura 6, el botón Superficie calcula el número de emisores y número de líneas regantes, determina la longitud de los laterales y distribuidor, y nos muestra la superficie total de la unidad de riego.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA
AGRARIA ANTONIO NARRO U.L.
DISEÑO DE UNIDADES DE RIEGO**

K=	0.34086	Presión de Operación(mca):	9.18454322960438
x=	0.5	Pérdida de Carga Permissible(mca):	1.74506321362483
Qm(lph)=	0.98	Pérdida de Carga en Línea Regante(mca):	0.436265803406208 25
		Pérdida de Carga en Distribuidor(mca):	1.30879741021862 75

UNIDAD DE RIEGO

Número de Emisores	325	Longitud de Lateral(m)	130
Número de Líneas Regantes	63	Longitud de Distribuidor(m)	94.5
		Superficie (ha)	1.2285

Figura 6. Superficie de la unidad de riego localizado. UAAAN UL 2010

Para calcular el costo del material necesario para la unidad de riego, damos clic en el botón Costo. Ingresamos valores unitarios de los materiales y calculamos (figura 7).

Costos			
	Costo Unitario \$	Cantidad	Costo Total
Lineas Regantes (metro)	1.13	16380	18509.40
Tuberia de Distribución (metro)	87	97.5	8482.50
Iniciales	4.5	260	1170.00
Conector con goma	9.2	260	2392.00
Tubo ciego polietileno	1.185	208	246.48
Goterros	0	82160	.00

Costo Unidad de Riego	Calcular
\$ 30,800.00	Salir

Figura 7. Costo de la unidad de riego localizado. UAAAN UL 2010

7.3 Superficie de unidades de riego

En la figura 8 se presenta la superficie calculada para porcentajes de pérdida de energía de carga en la línea regante, iniciando en 5% hasta 95%, donde se observa que cada uno de los diseños tiene un valor máximo de superficie, dichos valores máximos se encuentran de 20 al 30% de pérdida de energía en la línea regante, además se puede apreciar que a menos de 20% y más de 35% de la energía pérdida en la línea regante, la superficie de riego comienza a disminuir, esto indica que la superficie de riego obedece a una ecuación cuadrática (aX^2+bX+c) la cual posee un punto máximo de superficie. Sin embargo dentro de la figura no se aprecia explícitamente debido a que el número de emisores calculados obedece a una variable continua, es decir adquiere valores decimales, mientras que en realidad se comporta como una variable discreta, es decir adquiere valores en números enteros.

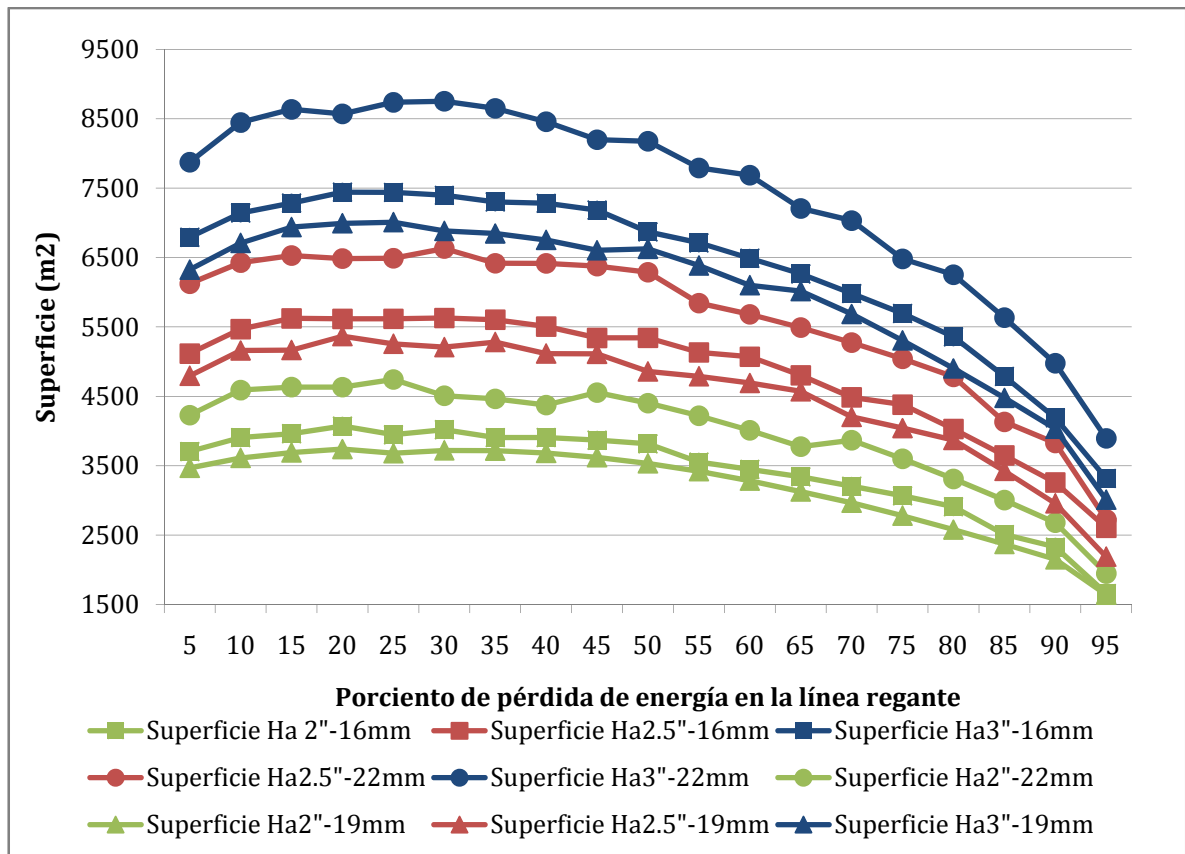


Figura 8. Superficie de unidades de riego con diferente pérdida de energía en línea regante. UAAAN UL 2010

7.4 Costo de la unidad de riego localizado

En la figura 9 podemos ver el costo de las unidades de riego diseñadas para cada uno de los porcentajes de pérdida de energía en la línea regante, en donde se observa que a menor pérdida de energía en la línea regante (menos del 20%) el costo de la unidad de riego aumenta considerablemente.

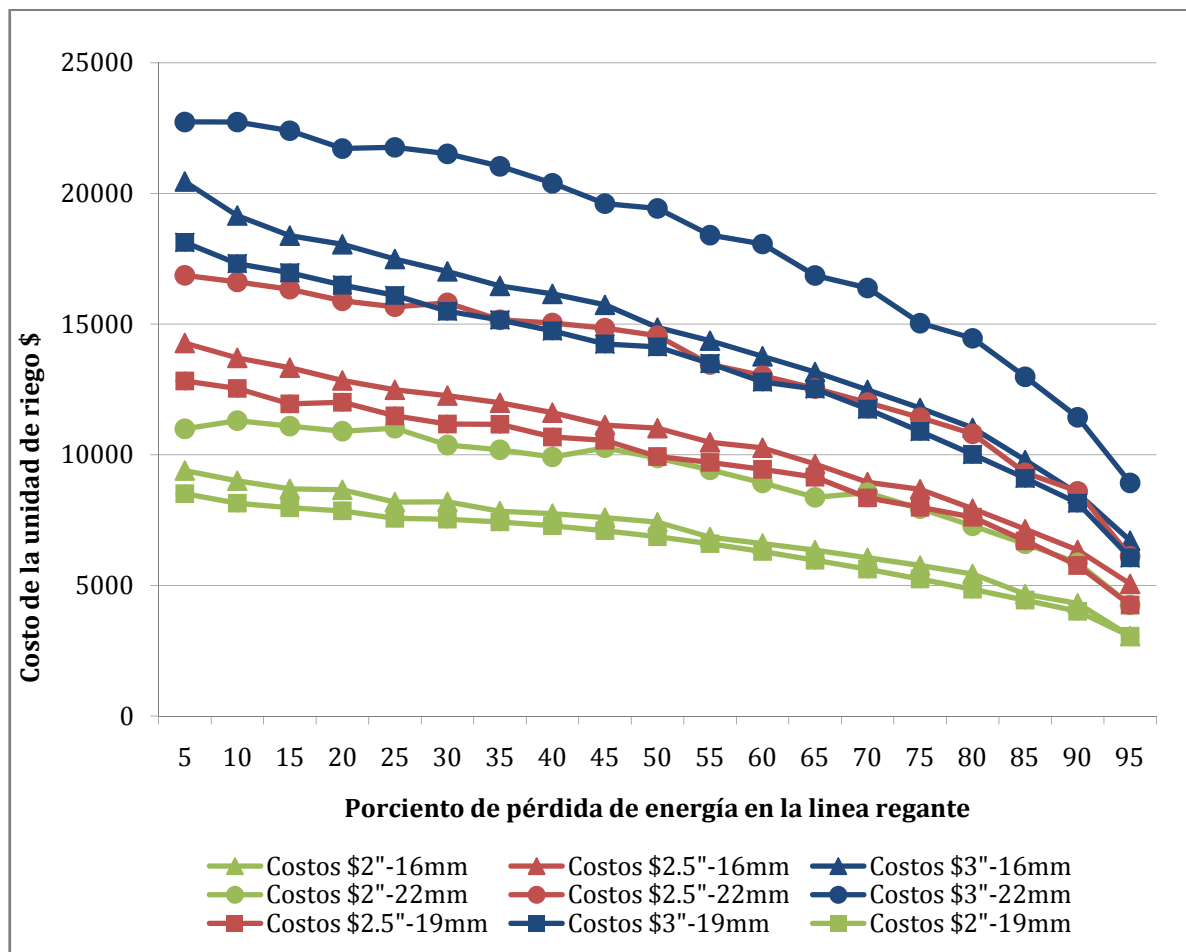


Figura 9. Costo de la unidad de riego con diferente pérdida de energía en la línea regante. UAAAN UL 2010

7.5 Relación costo superficie de la unidad de riego localizado ($\$/m^2$)

En la figura 10 se presenta el costo por metro cuadrado correspondiente a cada uno de los porcentajes de pérdida de carga. De acuerdo a los resultados el costo menor por unidad de superficie es cuando los laterales son de más longitud que el distribuidor. En el caso de la gráfica corresponde a una pérdida de carga de 95% por lo tanto únicamente 5 por ciento de carga permisible quedaría para el distribuidor por lo que quedaría de un tamaño reducido, esto provoca unidades menos costosas pero también de menor superficie por lo que en un proyecto se necesitaría de mayor número de unidades para completar una superficie dada, por lo tanto el número de accesorios de control, seguridad y tubería de conducción aumentaría por lo que el costo global del proyecto se incrementaría.

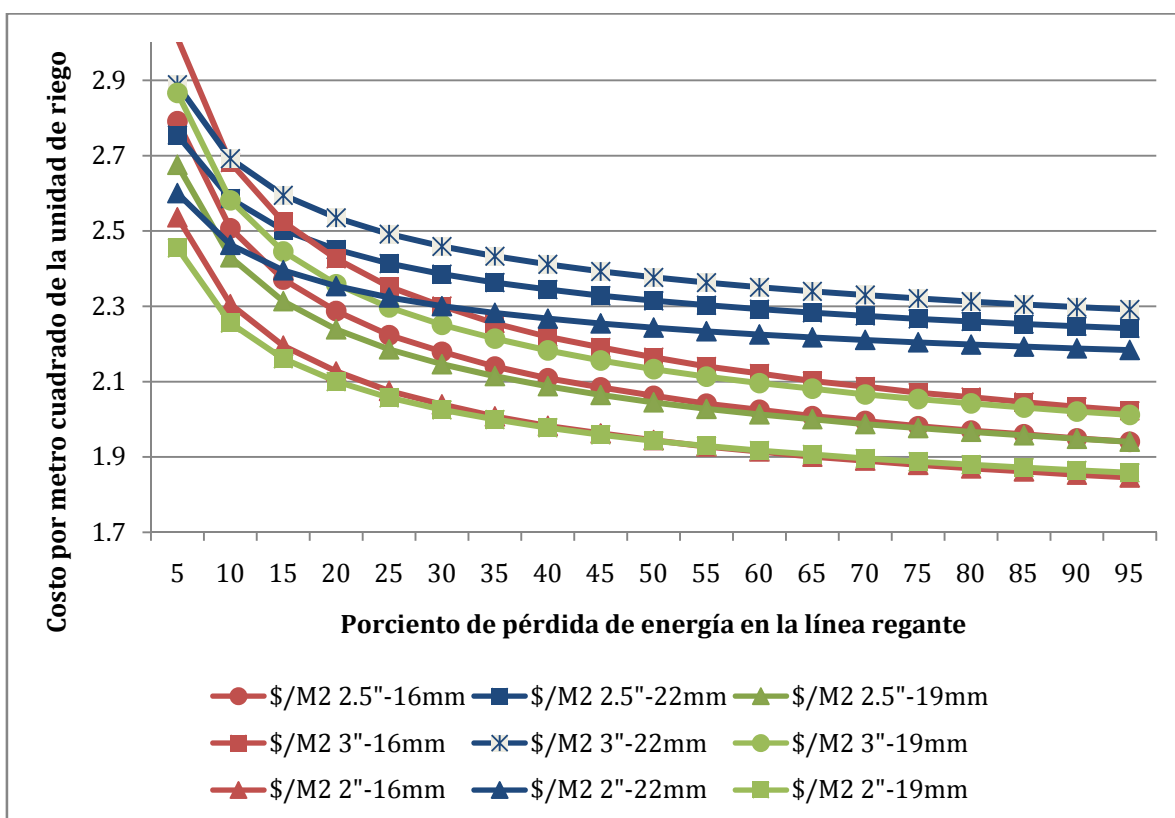


Figura 10. Relación costo-superficie de riego localizado con diferentes de pérdidas de energía en la línea regante. UAAAN UL 2010

VIII. CONCLUSIONES

El comportamiento de todas las áreas de riego localizado para cada combinación de diámetro de línea regante y diámetro de distribuidor, con diferente pérdida de energía en la línea regante si obedecen a una ecuación cuadrática convexa hacia arriba, lo que indica que poseen un valor máximo de área de riego localizada.

El programa UNIRIEGO permite determinar el porcentaje de pérdida de energía en línea regante óptimo para obtener una superficie de mayor área.

El uso del programa UNIRIEGO permite crear diferentes escenarios de diseños de unidades de riego localizado de manera rápida para poder elegir el más económico o que mejor se adapte para determinadas condiciones del proyecto.

IX. LITERATURA CITADA

Ángeles, V. (1999). Fundamentos de hidráulica para diseño y revisión de riego presurizado. Universidad Autónoma de Chapingo

Boswell, Michael J. (1986). Micro-Irrigation design manual. Ed. El Cajón, California, US: James Hardie Irrigation.

Castañón G. (2000). Ingeniería del riego. Utilización racional del agua. Ed. International Thomson Editores Spain, Madrid España.

Comisión Nacional del Agua. (2008). Estadísticas del Agua en México. El recurso hídrico en México

Coras, P. (1993). Riego por Aspersión. Chapingo: México.

Cornell, G.,(1994). Manual de visual basic 3 para windows. Ed. McGraw-Hill, Madrid, España.

Gómez, P. (1988). Riegos a Presión. Aspersión y Goteo. AEDOS. Barcelona, España.

Jaquez D. y Ramírez C. E. (1980). Análisis y diseño de sistemas de riego por goteo. Tesis Ing. Industrial Mecánico. Instituto Tecnológico Regional de la Laguna.

Karmeli, D. y Keller, J., (1974). Trickle irrigation design. Rain Bird. Glendora, Calif.

Liotta, M. (2005). Los sistemas de Riego por goteo y microaspersión. INTA

Losada, A. (2009). El riego. I. Fundamentos Hidráulicos. Ed. Mundi-Prensa, Madrid España.

Losada, A. (2005). El riego. II. Fundamentos de su hidrología y de su practica. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España.

Martínez, R. (1991). Riego localizado, diseño y evaluación. Universidad Autónoma de Chapingo: México.

Medina, J.A. (1981). Riego por Goteo, Teoría y Practica. Mundi-Prensa: Madrid, España.

Moya, J., (2009). Riego localizado y fertirrigación, Ed. Mundi-Prensa, España.

Peña, E. (2007). Manual para el diseño de zonas de riego pequeñas. Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

Peña, Escobar. Ramírez, Jaquez y Moreno. (1978). Funcionamiento hidráulico, diseño y evaluación de sistemas de riego por goteo. Boletín No. 4 del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego CENAMAR; de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos SARH, Representación en la Región Lagunera, Coah. y Dgo. México

Román, A. Et al. (2004). Diseño de sistemas de riego presurizado. INIFAP: Durango, México.

Rodríguez, S. (1992). Riego por goteo. AGT: México, DF.

Saldarriaga, J. (2007). Hidráulica de tuberías. Alfaomega. Bogota, Colombia.

Sotelo A. G.(1989). Hidráulica General. Vol. 1 Fundamentos. Ed. Limusa, México, DF.

Zimmermann, J. D. (1970). El Riego. Ed. CECOSA S. A. México.

X. ANEXOS

Cuadro A1. Datos técnicos del emisor.

Datos Emisor	
x=	0.5
K=	0.34086
Marca	Eurodrip
Tipo	Cintilla
Gasto Medio	0.98 LPH

Cuadro A2. Datos técnicos para calcular el número de emisores por línea regante.

NUMERO DE EMISORES POR LINEA REGANTE	
Separación entre emisores	0.2
Gasto emisor M3/s	2.72222E-07
Coefficiente C Manning	0.0079
Valor Ke	0.5
Numero Salidas Inicial	307
CSM	0.334963766
dHLR mca	0.785278446
Diámetro (m)	0.0161036
Área(m)	0.000203674
Gravedad	9.81
Ne=	307.8831137

Cuadro A3. Datos técnicos para calcular el número de líneas regantes en el distribuidor.

NUMERO DE LINEAS REGANTES EN EL DISTRIBUIDOR	
Separación entre Líneas	0.75
Gasto de LR M3/s	0.000167144
Coefficiente C Manning	0.0079
Valor Ke	0.5
Numero LR Inicial	21
CSM	0.357520786
dHD mca	0.959784767
Diámetro (m)	0.0508
Área(m)	0.00202683
Gravedad	9.81
NLR=	21.22638271

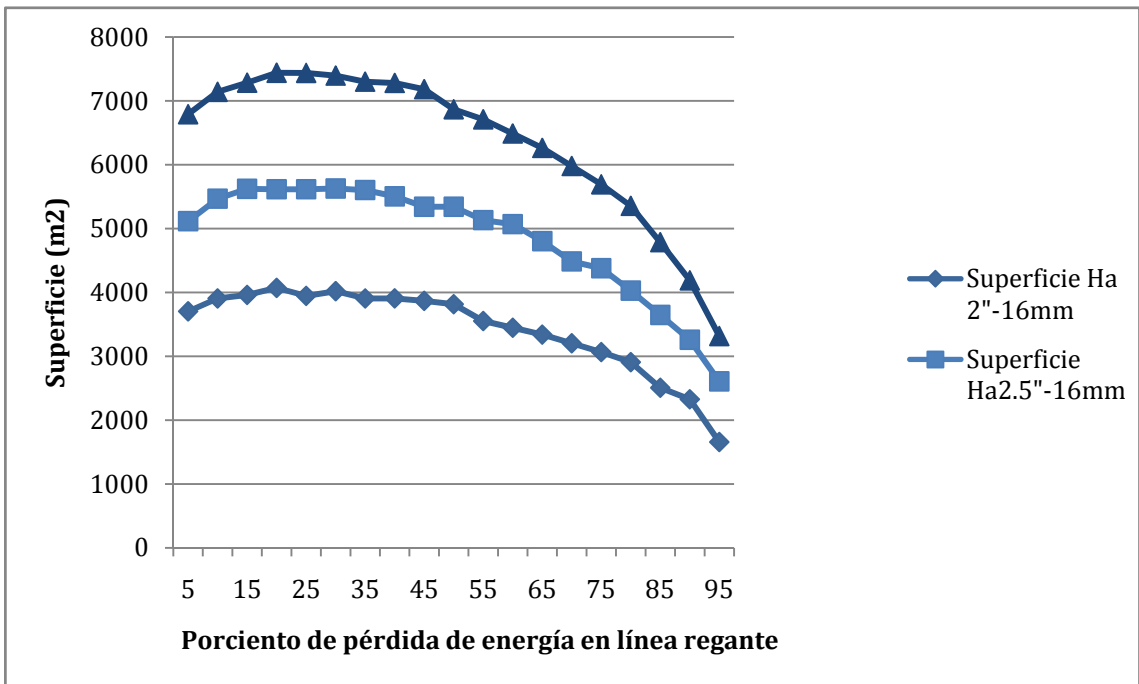


Figura A1. Superficie de unidades de riego con diferente diámetro de distribuidor y 16 mm en línea regante. UAAAN UL 2010

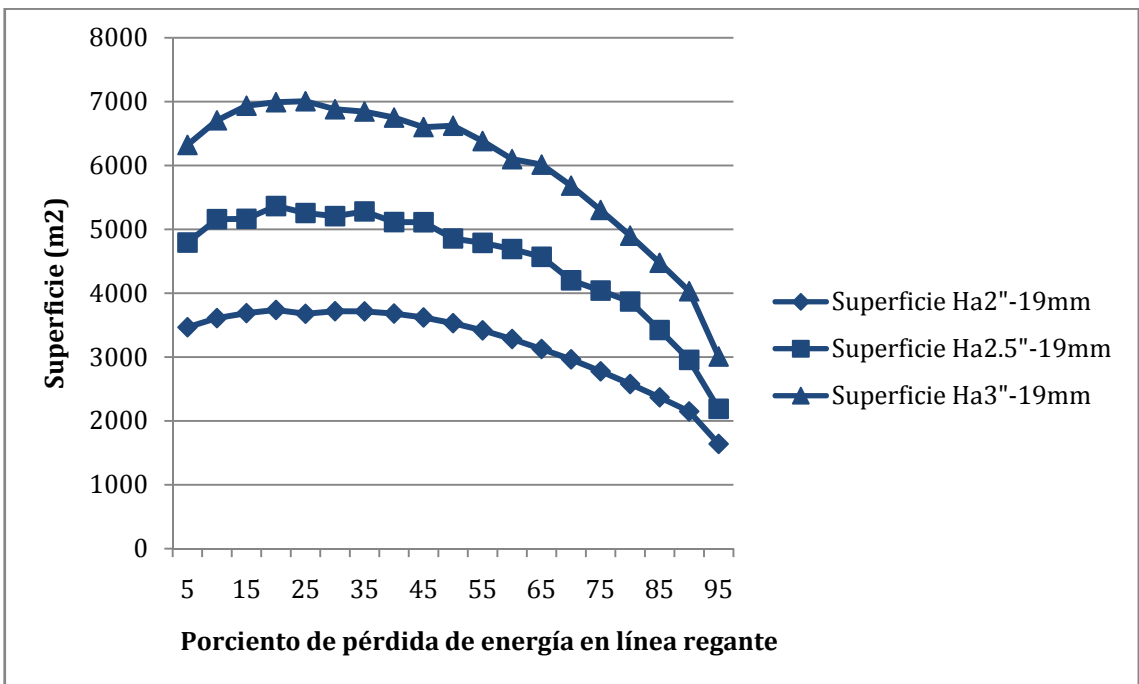


Figura A2. Superficie de unidades de riego con diferente diámetro de distribuidor y 19 mm en línea regante. UAAAN UL 2010

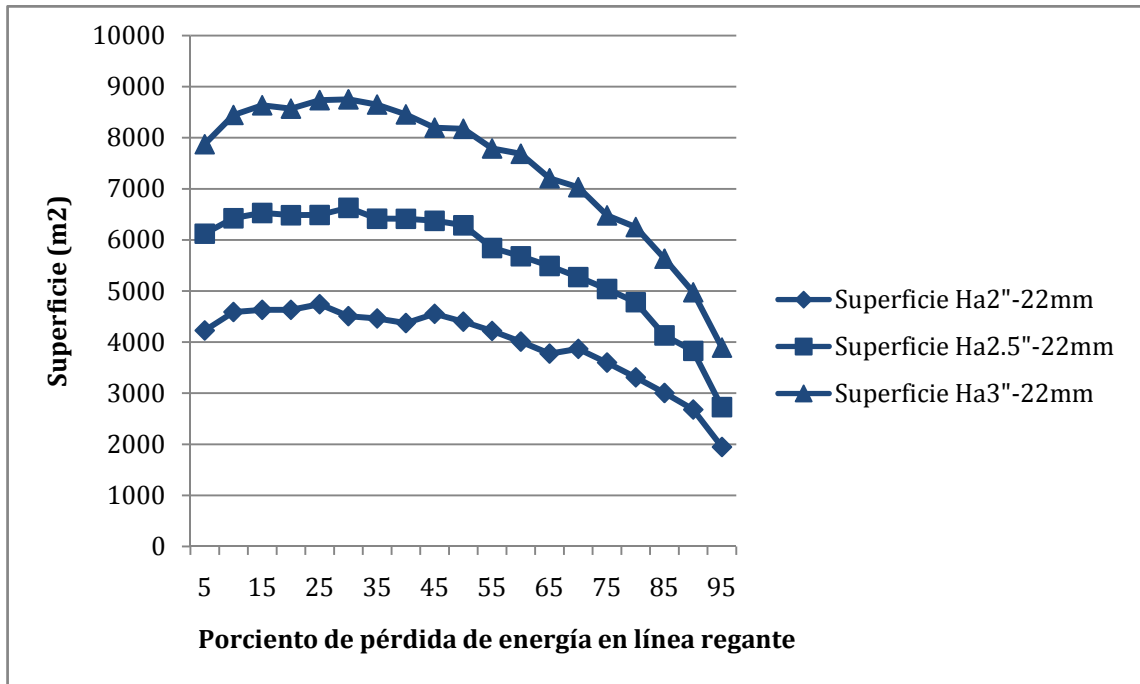


Figura A3. Superficie de unidades de riego con diferente diámetro de distribuidor y 22 mm en línea regante. UAAAN UL 2010

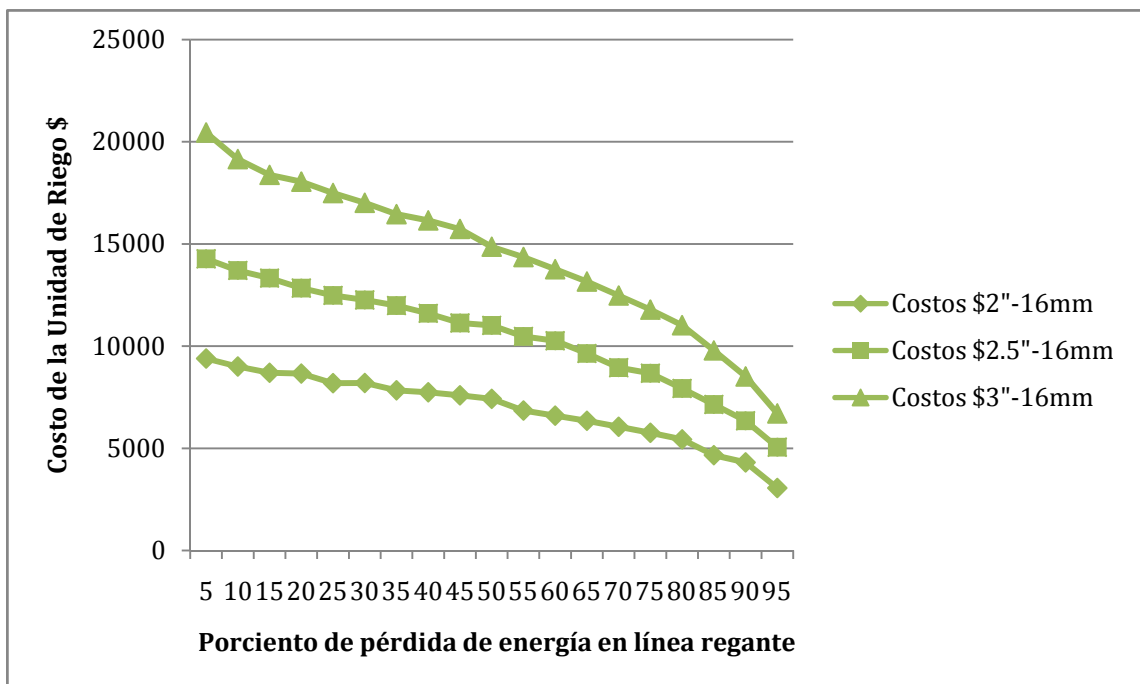


Figura A4. Costo de la unidad de riego con diferente diámetro de distribuidor y 16 mm en línea regante. UAAAN UL 2010

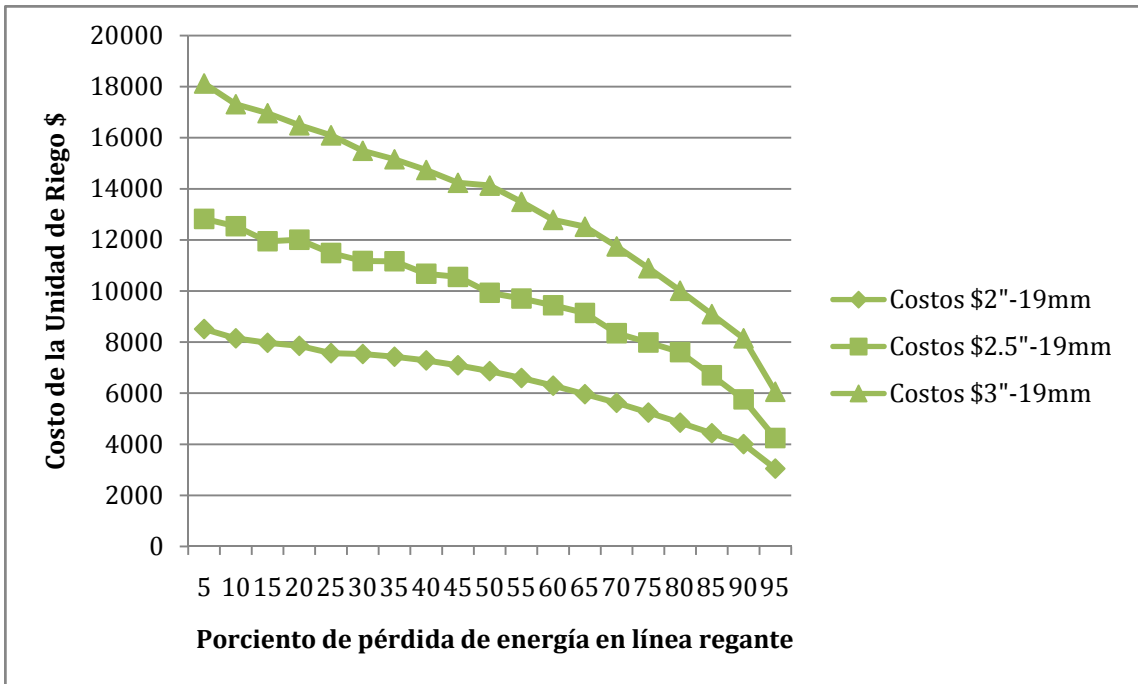


Figura A5. Costo de la unidad de riego con diferente diámetro de distribuidor y 19 mm en línea regante. UAAAN UL 2010

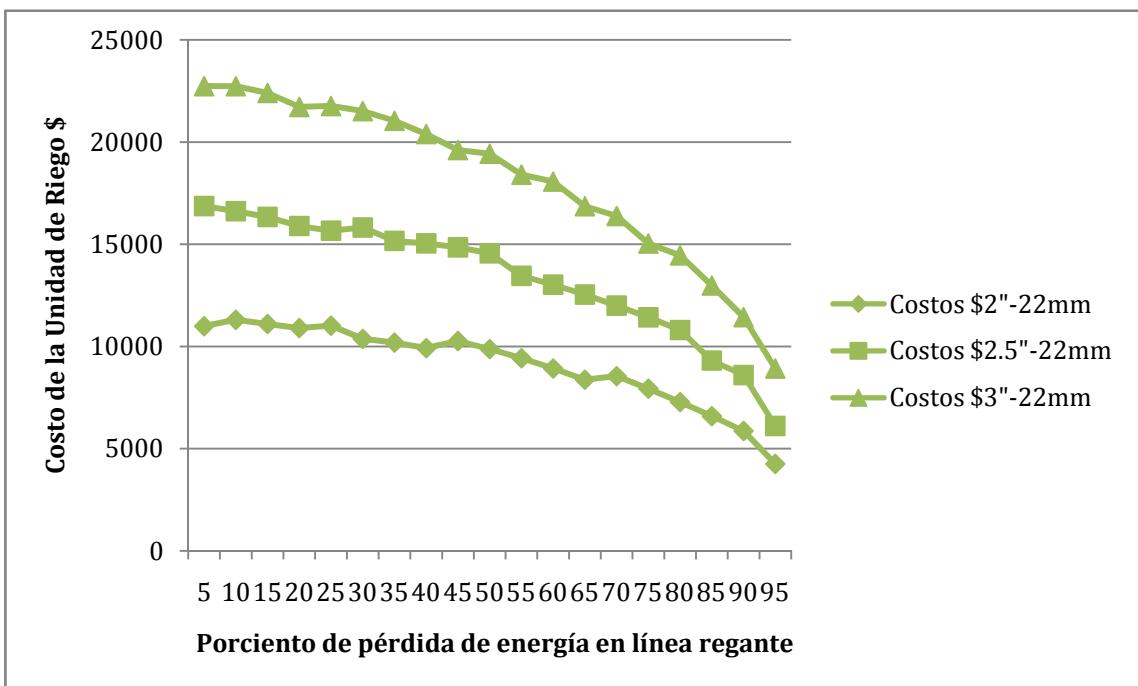


Figura A6. Costo de la unidad de riego con diferente diámetro de distribuidor y 22 mm en línea regante. UAAAN UL 2010

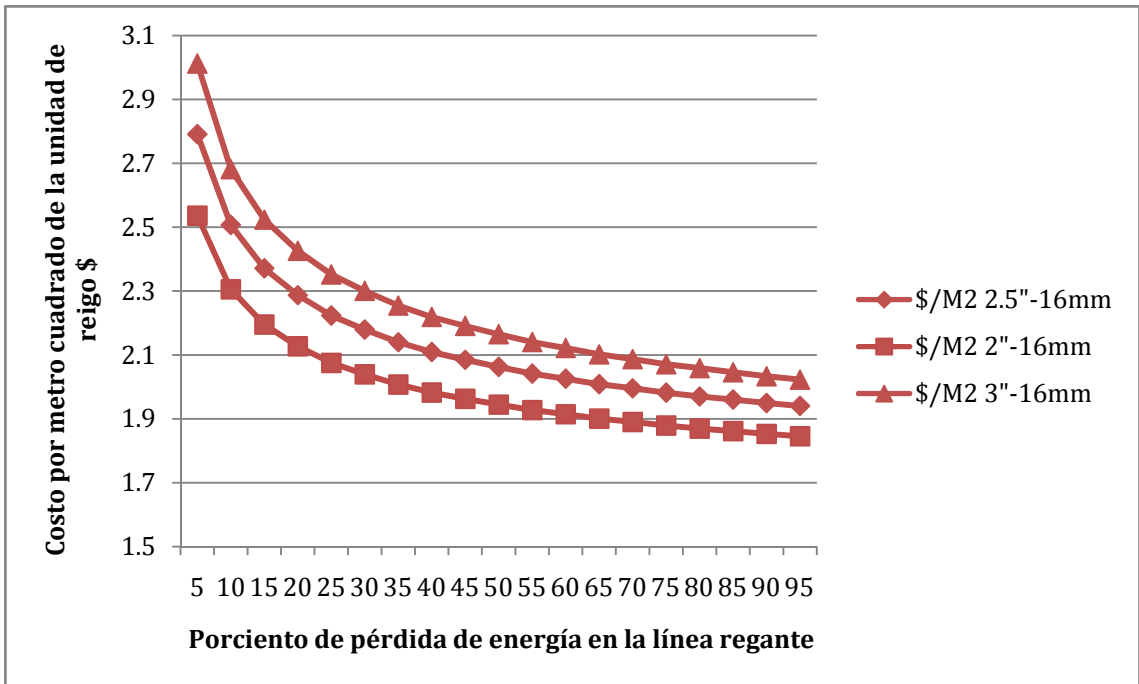


Figura A7. Relación costo-superficie de riego localizado con diferente diámetro de distribuidor y 16 mm en línea regante. UAAAN UL 2010

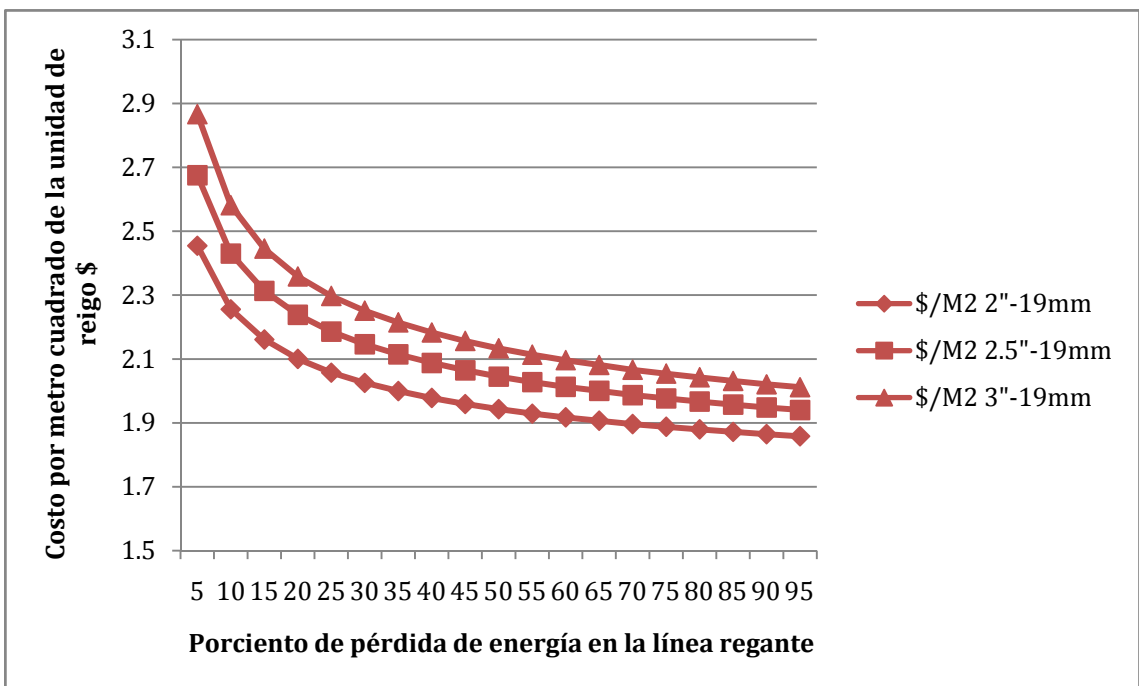


Figura A8. Relación costo-superficie de riego localizado con diferente diámetro de distribuidor y 19 mm en línea regante. UAAAN UL 2010

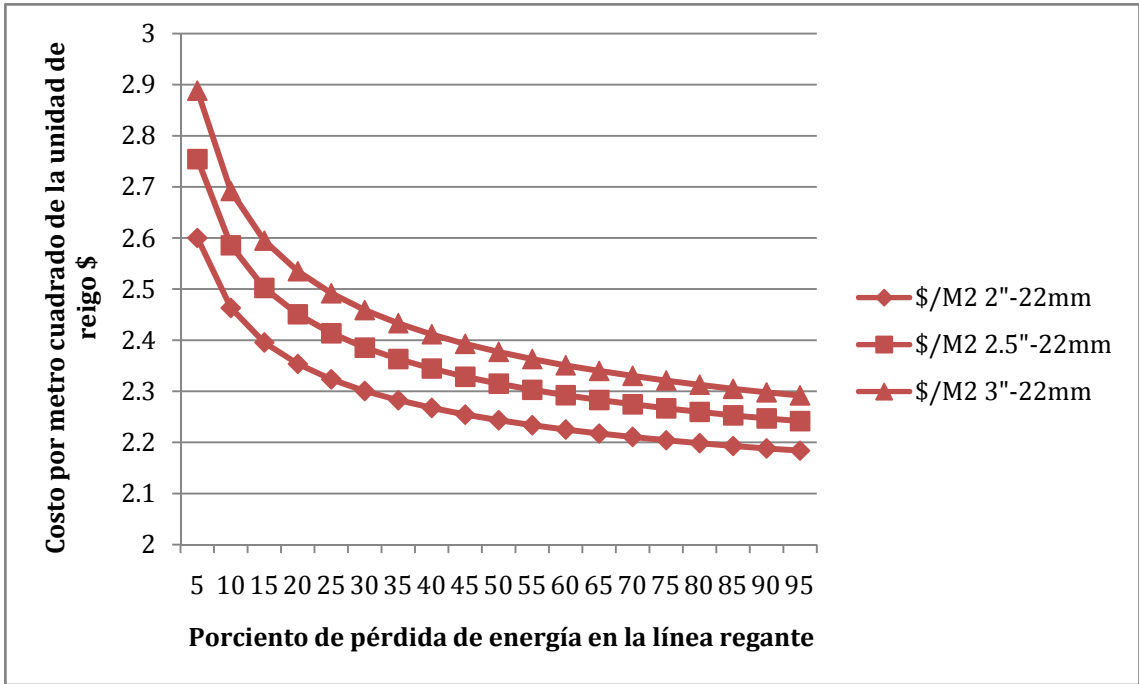


Figura A9. Relación costo-superficie de riego localizado con diferente diámetro de distribuidor y 22 mm en línea regante. UAAAN UL 2010