BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE LATERALES DE RIEGO LOCALIZADO ALIMENTADOS POR UN PUNTO INTERMEDIO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

FERNANDO RAÚL ZAVALETA ROSAS

DIRECTOR DE TESIS

DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2025

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE LATERALES DE RIEGO LOCALIZADO ALIMENTADOS POR UN PUNTO INTERMEDIO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

FERNANDO RAÚL ZAVALETA ROSAS

DIRECTOR DE TESIS

DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ

COODIRECTOR

M.C. BENJAMÍN BARRIOS DÍAZ

ASESOR

M.C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2025

La presente tesis titulada: “Diseño y evaluación de laterales de riego localizado alimentado por un punto intermedio” y realizada por Fernando Raúl Zavaleta Rosas, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el Título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁHULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por: Firma

Director: Dr. Juan Manuel Barrios Díaz

Codirector: M. C. Benjamín Barrios Díaz

Asesor: M. C. Fabiel Vázquez Cruz

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2025.

DEDICATORIA

Con todo mi corazón:

A mi madre Leticia Rosas Hernández, una mujer tan bella e inteligente y sin duda podría elegirla una y mil veces que fuese mi mama. Eres el ejemplo de resiliencia que a pesar de todo siempre puedes y es lo que admiro de ti.

Ana Cristina Rojas García una maravillosa y hermosa mujer que siempre me apoyo, me ayudo y me hizo ser fuerte cuando no podía, la admiro porque a pesar de todo siempre estuvo ahí en las buenas y en las malas.

Allison Denisse Ibáñez Rosas (raza) mi hermana pequeña, que las veces que te pedí ayuda siempre estuviste ahí, sin preguntar, sin cuestionar, sin criticarme, te agradezco profundamente tu amor y cariño que por sangre tenemos, te quiero y gracias por ser mi hermana.

Francisco Zavaleta Rosas (pancho) mi hermano mayor que realmente no lo parece, pero solo te puedo dar las gracias por los consejo, los momentos buenos y malos que hemos tenido pero que a pesar de eso siempre estamos, quizá no nos demostramos amor, pero realmente y de corazón te quiero hermano.

Héctor Ibáñez Nieves (torin), eres una gran persona y admiro tus ganas de salir adelante, y la verdad te agradezco por los malos y buenos momento que de ahí surgió mi personalidad, y el coraje de ser alguien, lo cual te agradezco, también por enseñarme a trabajar y no ser inservible, al igual por apoyarme económicamente para la universidad y por los consejos que me dabas para echarle aún más ganas, por eso te agradezco infinitamente.

Floriberta Rosas Hernández (beti) mi tía que nunca deja solo a nadie, eres una persona muy fuerte, con coraje y es lo que admiro que a pesar de la tormenta siempre llegas tú, gracias por todo el apoyo que me disté durante todo este tiempo

estudiando y no solo eso, también por cuidarme de pequeño, por siempre estar ahí y no dejarme solo cuando estuve a punto de perecer, te quiero mucho tía.

Juana Hernández Perdomo mi abuelita hermosa, eres una mujer fuerte, con mucho carácter el cual tiene mi mamá y mi tía, gracias por cuidarme desde pequeño hasta el momento, que realmente me hace muy feliz que me bendigas siempre que salgo y esperas a que suba al transporte, espero que nunca me falta abuelita hermosa.

Agradezco infinitamente su confianza, su amor y las ganas de verme salir adelante, las amo incondicionalmente.

Gracias por todo el sacrificio que hicieron por mí.

Son la pieza clave del éxito que tendré

AGRADECIMIENTO

Expreso mis agradecimientos:

A la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por todo lo que me impartieron a lo largo de mi formación profesional y por los extraordinarios momentos que viví en mi segunda casa.

A mi consejo particular

Dr. Juan Manuel Barrios Díaz a quien admiro por la riqueza de conocimientos, por enseñar super bien que a cualquier duda siempre la resolvía a detalle, y la verdad le agradezco mucho por la confianza la cual estaré siempre agradecido.

M. C. Benjamín Barrios Díaz quien me consiguió todo el material de mi proyecto a precios accesibles le agradezco por economizar mi tesis.

M.C Fabiel Vázquez Cruz quien considero un amigo, y un gran profesor, tuve la dicha de hablar y coincidir con él en algunas cosas, y solo puedo darle las gracias por la confianza que me tuvo.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Sistema de riego presurizado	5
4.2 Componentes de un sistema de riego	7
4.2.1 Bomba	7
4.2.2 Tuberías	7
4.2.3 Piezas esenciales	8
4.2.4 Reguladores de presión	9
4.2.5 Válvulas	10
4.2.6 Cintilla	10
4.2.7 Manómetro	11
4.3 Diseño hidráulico	12

4.4 Sistema de riego localizado..... 13

4.5 Diseño de laterales..... 14

4.6 Emisores de riego..... 15

4.7 Calculo del coeficiente de uniformidad y variación..... 17

4.8 Coeficiente de uniformidad de la cintilla..... 18

4.9 Uniformidad de los emisores..... 20

4.10 Etapas de un modelo de simulación..... 21

V. MATERIALES Y MÉTODOS..... 22

5.1 Ubicación del sitio experimental..... 22

5.2 Materiales de los sistemas de riego utilizados..... 23

5.3Formula para determinar carga-gasto..... 23

5.4 Fórmula para convertir PSI a kg/cm^2..... 23

5.5 Diseño experimental..... 24

5.5.1 Diseño de riego para el cálculo de carga-gasto..... 24

5.5.2 Diseño del sistema de riego por goteo alimentado por un extremo..... 25

5.5.3 Diseño del sistema de riego por goteo alimentado por un punto intermedio.. 26

5.6 Variables para validar el modelo de simulación 26

5.7 Validez del modelo de simulación 27

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 28

6.1 Carga-Gasto..... 28

6.2 Conversión de PSI a Kg/cm^2..... 29

6.3 Coeficiente de variación de los manómetros..... 29

6.4 Curva del coeficiente de variación de la cintilla..... 30

6.5 Comparación de datos de campo y el modelo de simulación en el sistema de riego alimentado por un extremo 31

6.5.1 Caso sin pendiente 32

6.5.2 Caso con pendiente leve en contra 32

6.5.3 Caso con pendiente leve a favor 33

6.5.4 Caso con pendiente fuerte en contra 33

6.5.5 Caso con pendiente fuerte a favor 34

6.6 Comparación de datos de campo y el modelo de simulación en el sistema de riego alimentado por un punto intermedio..... 35

6.6.1 Caso sin pendiente 36

6.6.2 Caso con pendiente leve 36

6.6.3 Caso con pendiente fuerte 37

6.7 Comparación de datos de ambos sistemas para la validez del modelo de simulación 40

VII. CONCLUSIÓN..... 41

VIII. LITERATURA CITADA..... 42

IX. ANEXOS..... 44

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido **Página**

Cuadro 1. Muestras en L/Hr de los tratamiento 28

Cuadro 2. Conversión de presiones PSI a kg/cm^2..... 29

Cuadro 3. Coeficiente de variación de los manómetros en % 30

Cuadro 4. Sesgo de la cintilla 31

Cuadro 5. Comparación de los datos en campo y del modelo de simulación sin pendiente contemplando que al menos tres presiones se acercan al que nos arrojó el modelo 32

Cuadro 6. Comparación de los datos de campo y el modelo de simulación con pendiente leve en contra obteniendo resultados cercanos al del modelo, con sus diferentes cargas de gotero 33

Cuadro 7. Comparación de los datos de campo y el modelo de simulación con pendiente leve a favor 33

Cuadro 8. Comparación de los datos de campo y el modelo de simulación con pendiente fuerte en contra teniendo en cuenta la carga de gotero para las presiones 34

Cuadro 9. Comparación de los datos de campo y el modelo de simulación con pendiente fuerte a favor 34

Cuadro 10. Comparación de presiones de campo y del modelo de simulación en un terreno casi plano alimentado por un punto intermedio con esa carga de gotero 35

Cuadro 11. Comparación de datos en campo y del modelo de simulación con una pendiente leve y con las diferentes cargas de gotero para las tres presiones iniciales 36

Cuadro 12. Comparación de los datos en campo y del modelo de simulación contemplando la carga de gotero y la pendiente fuerte..... 37

Cuadro 13. Parámetros para la validación del sistema de riego en un terreno casi plano 37

Cuadro 14. Parámetros para la validación del sistema de riego alimentado por un extremo con pendiente leve en contra 38

Cuadro 15. Parámetros para la validación del modelo de simulación con un sistema de riego alimentado por un extremo con pendiente leve a favor. 38

Cuadro 16. Parámetros de validación del modelo de simulación con un sistema de riego alimentado por un extremo con pendiente fuerte en contra …….. 38

Cuadro 17. Parámetros de validación del modelo de simulación con un sistema de riego alimentado por un extremo con pendiente fuerte a favor 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido **Página**

Figura 1. Componentes de un sistema de riego presurizado 6

Figura 2. Accesorios de PVC 9

Figura 3. Manómetro de glicerina 0-30 PSI 11

Figura 4. Sistema de riego localizado 14

Figura 5. Localización del punto de alimentación intermedio en lateral o terciaria con desnivel 15

Figura 6. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias 22

Figura 7. Diseño de riego alimentado por un punto intermedio para medir la carga-gasto de la cintilla de riego 24

Figura 8. Sistema de riego por goteo alimentado por un extremo 25

Figura 9. Diseño del sistema de riego alimentado por un punto intermedio 26

Figura 10. Diseño de riego por goteo alimentado por un extremo 27

Figura 11. Diseño de riego por goteo alimentado por un punto intermedio 27

Figura 12. Comparación de caudal de fabricante y resultados en campo T1R1 30

Figura 13. Comparación de caudal de fabricante y resultados en campo T1R2 30

Figura 14. Comparación de caudal de fabricante y resultados en campo T2R1 31

Figura 15. Comparación de caudal de fabricante y resultados en campo T2R2 31

RESUMEN

Los sistemas de riego localizados son los más utilizados, y son de amplio aspecto, los laterales de riego son donde se conectan los emisores y transportan el agua a los cultivos, también se les puede llamar tuberías con salidas múltiples a los sistemas de riego alimentado por un punto intermedio con ramificaciones con manguera ciega o cintilla. El objetivo de la presente investigación fue diseñar laterales de riego localizado alimentados por un punto intermedio, mediante un modelo de simulación y validar en campo la uniformidad del riego. El trabajo se realizó en San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, donde se obtuvo la carga-gasto de la cintilla Aqua-Traxx Azul, y posteriormente se realizaron cinco casos alimentados por un extremo donde se hicieron aguas arriba y aguas y tres casos alimentados por un punto intermedio teniendo en cuenta que todos los casos se hicieron en terreno plano (0.29%), pendiente leve (4.01%) y pendiente fuerte (10.34), manteniendo las presiones de 5, 7 y 10 PSI. Se realizaron comparaciones donde nos arrojaron una mejor uniformidad en los casos alimentados por un extremo ya que hay mejor distribución de agua inclusive en presiones bajas.

Palabras clave: Riego, uniformidad, modelo de simulación, carga-gasto.

ABSTRCT

Localized irrigation systems are the most used, and they are broad in appearance, the irrigation laterals are where the emitters are connected and transport water to the crops, irrigation systems fed by an intermediate point with branches with blind hose or ribbon can also be called pipes with multiple outlets. The objective of this research was to design localized irrigation laterals fed by an intermediate point, using a simulation model and to validate irrigation uniformity in the field. The work was carried out in San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla within the facilities of the Faculty of Agricultural and Livestock Sciences, where the load-expenditure of the Aqua-Traxx Azul belt was obtained, and later five cases were fed from one end where upstream and water were made and three cases fed by an intermediate point taking into account that all the cases were made on flat ground (0.29%), slight slope (4.01%) and steep slope (10.34), maintaining the pressures of 5, 7 and 10 PSI. Comparisons were made where they showed us a better uniformity in the cases fed by one end since there is better distribution of water even at low pressures.

Keywords: Irrigation, uniformity, simulation model, load-expenditure.

I. INTRODUCCIÓN

El año 1917 fue el punto de partida en México para el desarrollo institucional de la infraestructura hidroagrícola destinada a la agricultura de riego. Esto se logró mediante la creación del departamento de Irrigación y la promulgación del artículo 27 constitucional, cuyo objetivo era financiar proyectos de riego y regular las concesiones para su uso. Las aguas nacionales por individuos. La Dirección de Irrigación, que respaldó proyectos menores de irrigación, fue establecida en 1921. Se estimó en 1924 que una superficie contaba con Infraestructura de riego con una cobertura de 800,000 hectáreas. La ley de irrigación y aguas nacionales se promulgó en 1926, lo que dio origen a la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), la cual trabajó durante dos décadas. En el año 1937 comenzó la política de ejecución de obras de pequeña irrigación, y se calcula que hasta 1946 estas obras favorecieron un total de 42,000 hectáreas (Ojeda *et al.,* 2019*).*

En las tuberías laterales o regantes se conectan los emisores y suministran agua a los cultivos. Son responsables de llevar el agua desde la línea de distribución o secundaria a los emisores, que pueden incluir goteros, microaspersores, aspersores, cañones, etc. Se clasifican hidráulicamente como tuberías con múltiples salidas (Jiménez, 2017).

Una tubería con salidas múltiples es una estructura hidráulica cuyo diseño está limitado por la presión de entrada, la topografía del terreno y la uniformidad de aplicación de agua. La pérdida total de energía a lo largo de la tubería, así como las características hidráulicas de la salida, también afectan el diseño de la tubería (Jiménez y Ramírez, 2018).

Debido a que el gasto disminuye cada vez que pasa por una salida, la pérdida de carga en una tubería con salidas múltiples igualmente espaciadas será menor que en una tubería similar que transmite el gasto completo sobre toda su longitud (Jiménez y Ramírez, 2018).

Para calcular las pérdidas por fricción en una tubería con múltiples salidas, se requiere un análisis tramo por tramo a partir de la última salida y algunos investigadores han propuesto expresiones que agilizan dicho análisis, entre las cuales destacan las de Christiansen, Scaloppi, Darcy-Weisbach, Montiel (Jiménez, 2018).

Se han creado expresiones donde la distribución de agua en un lateral de riego está influenciada por las pérdidas totales (fricción y menores) y el espaciamiento entre emisores para garantizar la uniformidad. Con este fin se utiliza el coeficientes de uniformidad, expresado en porcentaje y establecido por Christiansen, Keller y Karmeli (Bedoya-Cardoso y Ángeles-Montiel, 2014).

Los laterales son alimentados por un punto intermedio. Se debe determinar la posición ideal de una tubería porta lateral para alimentar laterales por puntos intermedios. La pendiente del terreno en el sentido de los laterales determinará esta posición. La posición se encuentra en el centro si la pendiente es cero. Si hay una pendiente, el portalateral se moverá hacia arriba para mantener la misma cantidad de presión en ambos lados (Sícoli *et al*., 2017).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Diseñar laterales de riego localizado alimentados por un punto intermedio, mediante un modelo de simulación y validar en campo la uniformidad del riego.

2.2. Objetivos específicos

- Estructurar el sistema de riego para realizar las diferentes pruebas hidráulicas.
- Validar la relación carga-gasto de la cintilla de riego empleada en las evaluaciones.
- Realizar pruebas de campo para verificar el funcionamiento hidráulico de los laterales y su uniformidad de riego
- Ajustar y validar un modelo de simulación de funcionamiento hidráulico de laterales de riego.

III. HIPOTESIS

Será factible simular el funcionamiento hidráulico de laterales de riego alimentados por un punto intermedio, facilitando evaluar diferentes criterios para su diseño.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Sistema de riego presurizados

En un sistema de riego presurizado, usualmente se hallan dos clases de tuberías: las ciegas y las de salidas múltiples. Las ciegas se distinguen por ser tuberías donde el flujo que ingresa por un extremo es el mismo que se desvía al otro extremo. Se considera una tubería con salidas múltiples cuando sus salidas están igualmente espaciadas y se necesita extraer el mismo caudal en cada una de ellas (Jiménez, 2018).

Las tuberías con múltiples salidas suelen aparecer a menudo en la línea regante de los sistemas de riego presurizados, ya sea en los sistemas de aspersión tradicional (fijos, semifijos o portátiles) o en las aspersiones de movimiento intermitente (roll de lado, roll de potencia) y aspersión de movimiento constante (avance frontal) y aspersión localizada (goteo puntual, banda de riego, microaspersión). Esto hace que el diseño hidráulico de estas tuberías sea de gran relevancia (Jiménez y Ramírez, 2018).

El riego presurizado ha transformado el método de irrigación de las plantas. Se permite el flujo de agua en las tuberías, se presuriza y se riega las plantas con él. Este procedimiento economiza considerablemente más agua que los sistemas convencionales de riego superficial, donde el agua proveniente de canales o cuerpos de agua se vierte en surcos o cuencas abiertas y se reparte por gravedad. La tecnología de riego presurizado es relativamente reciente, creada en el siglo XX. Un progreso crucial en esta tecnología fue la creación del riego por goteo en Israel durante los años 60 (Liotta, 2015).

Existen numerosas variaciones en los sistemas de riego presurizado, en función del tipo de terreno, cultivo y la clase de accesorios de abastecimiento de agua requeridos. Sin embargo, los elementos fundamentales son los mismos: una estación de control, donde se ejerce la presión; las líneas principales y secundarias, que son tuberías de diversas dimensiones; los conductos colectores o alimentadores; y los laterales o tuberías de riego dotadas con emisores u otros (Chaney, 2021).

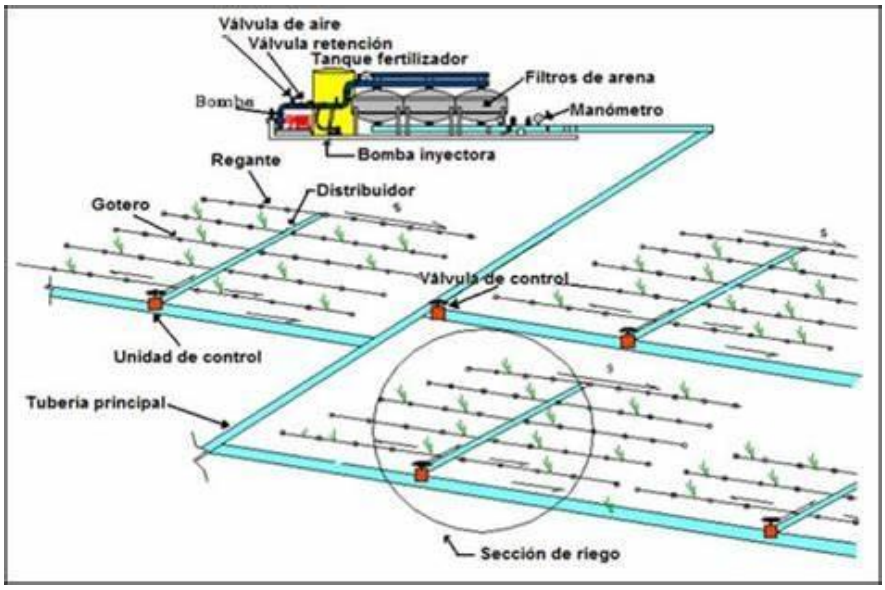

Figura 1. Componentes de un sistema de riego presurizado

Fuente: Adaptada de www.intagri.com (2019).

Los sistemas de riego presurizados pueden ser instalaciones sofisticadas con costos iniciales elevados, como brazos pulverizadores para granos y forraje, y sistemas de pivote central para agronegocios. Los sistemas de costo moderado incluyen riego por burbujeo, miniaspersores para huertos y microaspersores, que son aspersores rotatorios de baja capacidad que brindan un efecto de lluvia para campos densamente cultivados. Algunos ejemplos de sistemas de bajo costo son el riego por goteo, que incluye emisores de goteo, cintas de goteo y tuberías de pared porosa, así como sistemas de cuenca de manguera de movimiento manual para árboles, sistemas de riego de distribución de mangueras y aspersores movidos por manguera (Chaney, 2021).

4.2. Componentes de un sistema de riego

4.2.1. Bomba

Una bomba centrífuga es un aparato mecánico creado para incrementar la presión y la circulación de un líquido. Esto se realiza a través de la transformación de la energía cinética del motor en presión. Se fundamenta en el principio de la fuerza centrífuga: un fluido que se desplaza dentro de la bomba es acelerado radialmente hacia el exterior desde el punto de rotación, generando de esta manera un flujo constante (Guerra, 2023).

Para la correcta utilización de las bombas centrífugas es esencial entender sus curvas particulares, las cuales deben ser proporcionadas por el productor. La curva distintiva de una bomba es la función que se deriva de la interacción de dos variables que caracterizan su comportamiento (Guerra, 2023):

- Curva de altura manométrica en función del caudal.
- Curva de potencia en función del caudal.
- Curva de eficiencia en función del caudal.
- Curva de ANPA en función del caudal.

La altura manométrica (THD) representa la energía por unidad de masa que la bomba puede proporcionar al líquido, mientras que el caudal representa la cantidad de líquido que fluye por una sección durante un lapso específico.

4.2.2. Tuberías

Las tuberías que constituyen la red de distribución generalmente se fabrican en materiales plásticos, principalmente policloruro de vinilio (PVC) y polietileno (PE), debido a que son materiales livianos y de fácil manejo, con escasa rugosidad interna y poca resistencia a fertilizantes y otras sustancias químicas. La selección de uno y otro se basará, entre otros elementos, en el diámetro de la tubería y en si se planea su enterramiento o no. Por lo general, las tuberías principales, que tienen un diámetro mayor a 50 mm y se ubican en zanjas bajo tierra,

son de PVC. En cambio, para tuberías de un diámetro menor a 50 mm y ubicadas en la superficie del suelo, se emplea el PE (Aznar, 2016).

Las tuberías de plástico utilizadas en riego generalmente se categorizan según diversas de sus propiedades, tales como:

Presión: se refiere a la presión máxima operativa de la tubería a 20°C.

Presión de trabajo: se refiere al valor de la presión máxima interna a la que la tubería se encontrará en funcionamiento.

Diámetro: se refiere al diámetro exterior del tubo que el fabricante ha declarado.

Espesor: se refiere al grosor del tubo especificado por el productor.

El PVC es un material plástico bastante resistente y rígido, por lo que su uso debe limitarse a circunstancias en las que se puedan generar presiones externas o impactos. Por su limitada resistencia al aplastamiento, es crucial que la instalación disponga de los componentes apropiados (válvulas o ventosas) para asegurar que estas tuberías siempre estén repletas de agua o aire (Aznar, 2016).

En cambio, la dureza de este material puede provocar problemas de sobrepresión en el interior de las tuberías, con una mayor incidencia que las de polietileno. Los elementos del PVC pueden deteriorarse debido a la exposición constante a los rayos solares, por lo que, para prevenir su deterioro, las tuberías de PVC deben ser instaladas siempre en posición vertical (Aznar, 2016).

Pese a algunas limitaciones, las tuberías de PVC poseen el beneficio de un costo más bajo que las de PE para diámetros que superan los 50 mm. La normativa que rige a estas tuberías es la UNE 53-112-88, la cual establece fundamentalmente que deben ser cilíndricas, rectas, sin ondulaciones ni estrías u otros fallos que puedan modificar su uso habitual (Aznar, 2016)

4.2.3. Piezas esenciales

Las piezas especiales son un componente crucial de la red de distribución, pues se emplean para unir tuberías, modificar su diámetro, modificar su dirección o unir más de dos tuberías entre sí, operaciones que facilitarán la adaptación de la red al área de riego (Aznar, 2016).

Existen diversas clases de componentes especiales para llevar a cabo estas operaciones, entre los que sobresalen acoples en forma de "T", codos de 45° y 90°, casquillos de reducción, cruces, tapones y enlaces de tres piezas. Estos componentes pueden emplearse tanto en tuberías de PVC como en las de polietileno, aunque tendrán variaciones en el material de producción, que usualmente será el mismo de la tubería donde se instalen, y en la manera en que se efectúe la unión, que también dependerá del material (Aznar, 2016).

Figura 2. Accesorios de PVC

Fuente: Adaptado de ferselec.com (2020)

4.2.4. Reguladores de presión

Los reguladores de presión facilitan el establecimiento y mantenimiento de una presión específica desde el lugar donde se ubican la red de riego. Pueden ser fijos (presión preestablecida) y regulables, en esta situación, el usuario efectúa la regulación a medida,

escogiendo una presión apropiada al rango definido para el funcionamiento adecuado de los emisores (Aznar, 2016).

Por lo general, se emplean reguladores de presión para el riego cuando la presión existente en la instalación supera la que los emisores del sector a regar requieren para su operación, y se ubican en la entrada de cada uno de los sectores de riego que los necesiten (Aznar, 2016).

4.2.5. Válvulas

Las válvulas se emplean para regular la corriente de agua que fluye por una tubería, al abrir, cerrar o dejar un flujo intermedio de agua. Normalmente se categorizan según el tiempo de funcionamiento, ya sean manuales (impulsadas directamente por el usuario) o automáticas (impulsadas por aparatos hidráulicos o electromagnéticos) (Aznar, 2016).

Las válvulas que se operan manualmente son las de esfera o bola, así como las de compuerta. Las válvulas de esfera resultan sencillas de operar, dado que se cierran rápidamente al rotar la llave a 90°. Se aconseja utilizar estas para caudales reducidos y en instalaciones que no tengan riesgo de sobrepresión. Las válvulas de compuerta se cierran de manera más pausada, después de múltiples giros de llave. Son más costosas que las de esfera y su uso es menos común debido a que se aconsejan en espacios con riesgo de sobrepresiones, situación poco habitual en jardines (Aznar, 2016).

4.2.6. Cintilla

La elección del flujo de agua estará determinada por la calidad del agua, la presencia de agua, la longitud requerida de la cintilla y la demanda de agua para el cultivo. Aqua-TraXX se puede adquirir en cuatro tipos de emisor. Se conocen estos cuatro flujos como Flujo Bajo, Flujo Medio, Flujo Alto y Flujo de Caña. Es beneficioso seleccionar el flujo más bajo que realice el trabajo, ya que los flujos bajos reducen la pérdida de fricción y posibilitan tiradas más extensas y una uniformidad superior. No obstante, los caudales reducidos pueden necesitar un nivel de filtración más elevado (Boswell, 2000).

Frecuentemente, para la elección inicial de la cintilla, resulta beneficioso revisar la tabla de flujo estándar. El flujo estándar se refiere al flujo por cada 100 pies de tubería en gpm, excluyendo

las pérdidas debido a la fricción. La figura 16 ofrece información estándar del caudal para los diferentes flujos y espacios de salida de Aqua-TraXX (Boswell, 2000).

4.2.7. Manómetro

Los manómetros son los instrumentos empleados para registrar la presión en diferentes ubicaciones de la instalación, con el fin de identificar si algún componente está experimentando presiones laborales más altas que las nominales, o si, en cambio, no posee suficiente presión para funcionar, o si está experimentando una considerable pérdida de carga (como un filtro excesivamente sucio). Son los más empleados con los manómetros de tipo Bourdon. Su operación generalmente es mecánica. Los rangos de medición que ofrecen los diferentes modelos de manómetros disponibles en el mercado suelen variar, por lo que es necesario seleccionar el tipo de manómetro en base al intervalo de presiones con las que se planea trabajar (Aznar, 2016).

A menudo, lo que verdaderamente importa es conocer la diferencia de presión entre dos o más puntos de la red, como en el punto de entrada y salida de los filtros para establecer el momento de su limpieza. Para evitar errores, se mide en puntos de conexión rápida, o tomas manométricas, utilizando el mismo manómetro (Aznar, 2016).

Figura 3 Manómetro de glicerina 0-30 PSI

4.3. Diseño hidráulico

En un sistema de riego exitoso, un conjunto de recursos genera el máximo rendimiento para conseguirlo, se requiere un proceso de optimización que respalde el diseño y funcionamiento de los sistemas de uso de agua en la agricultura mediante la mezcla de variables que cumplan con las características requeridas por las condiciones de riego, es imprescindible la selección correcta de los procedimientos y tácticas vinculadas con la presencia de agua, las particularidades climáticas, suelo y agricultura; además, de las circunstancias sociales y financieras, así como de las limitaciones en la distribución del sistema (Holzapfel *et al*., 2007).

El objetivo del diseño hidráulico es establecer los diámetros y/o longitudes de las distintas tuberías que conforman el sistema de riego (regantes, distribuidoras y conducción) siguiendo un criterio de optimización. Para este propósito, se utilizan las ecuaciones de la pérdida de carga permisible. Para las tuberías con salidas múltiples, dado que el flujo circulatorio disminuye en cada salida, se calcula la pérdida de carga por fricción de manera segmental, desde la última salida aguas bajas hasta la primera aguas altas, y se prolonga el cálculo hasta alcanzar una longitud y/o diámetro que satisfaga una pérdida de carga permisible, que depende de la carga operativa del emisor y de la inclinación del suelo (Jiménez y Ramírez, 2018).

La relevancia de un modelo para el diseño y análisis hidráulico se vincula con anticipar el comportamiento del equipo ante diversas condiciones operativas que pueden derivar en: optimizar la uniformidad de distribución del agua en la parcela inundada, funcionar a menor presión con el objetivo de economizar energía, adaptar el flujo a las necesidades del suelo y los cultivos, modificar emisores y boquillas deterioradas, añadir reguladores de presión, y añadir reguladores (Raúl *et al*., 2010).

También aborda una variedad de aspectos del comportamiento del agua, como flujos, presiones, caudales y niveles, con el objetivo de crear sistemas y estructuras que satisfagan las necesidades específicas de cada proyecto.

Todo sistema de riego necesita un diseño agronómico que considere las propiedades del terreno, los cultivos a llevar a cabo, la distancia de plantación, entre otros aspectos. Esta

información ofrece datos fundamentales para el futuro diseño hidráulico, tales como caudal por planta, duración del riego, entre otros (Liotta, 2015).

En el diseño hidráulico, primero se establece la subunidad de riego, considerando la tolerancia de presiones y corrientes, pérdidas de carga, diámetros de tuberías, entre otros aspectos. Luego se proyecta la unidad de riego, se define el diseño y los diámetros de las tuberías primarias y secundarias, así como el cabezal de riego (Liotta, 2015).

Por lo general, se proyecta de forma que las unidades de riego que conforman una operación se encuentren en áreas distintas, con el objetivo de balancear presiones y disminuir los flujos para utilizar tuberías de diámetro reducido. Desde la perspectiva agronómica, esto no es lo más aconsejable, ya que debemos reunir áreas con cultivos parecidos en términos de necesidades de agua, fertilización y temporada de cosecha. Esta última circunstancia es la más importante al momento de diseñar (Liotta, 2015).

4.4. Sistema de riego localizado

Los sistemas de riego por goteo transportan agua a los cultivos por medio de una red de tuberías y se realiza en forma de gota, utilizando emisores que entregan volúmenes reducidos de agua periódicamente. Se empleó un software relacionado con el tema para recopilar la información, que fue adquirida mediante investigación documental. Desde la perspectiva agronómica, se les llama riegos localizados porque humedecen un área de volumen de suelo lo suficientemente grande para cultivar, lo que posibilita el riego en múltiples ocasiones al día, según el tipo de suelo y las necesidades de la planta; así se puede conservar la humedad. del terreno a niveles ideales (Rodríguez *et al.*, 1996).

El riego localizado es un método que dirige el agua a una región muy específica del suelo de un cultivo. Esto se puede lograr mediante el uso de emisores de agua en lugares concretos y tuberías que se encuentran sobre o bajo el suelo. El objetivo es concentrar el riego en las áreas del suelo que están más cerca de las raíces (Sícoli *et al*., 2017).

Buscando una mayor eficiencia, se utiliza una cantidad de agua más pequeña. El riego localizado evita el desperdicio y dirige el agua a donde la planta realmente necesita. Este sistema tiene muchas ventajas, aunque inicialmente puede requerir una instalación más costosa (Sícoli *et al*., 2017).

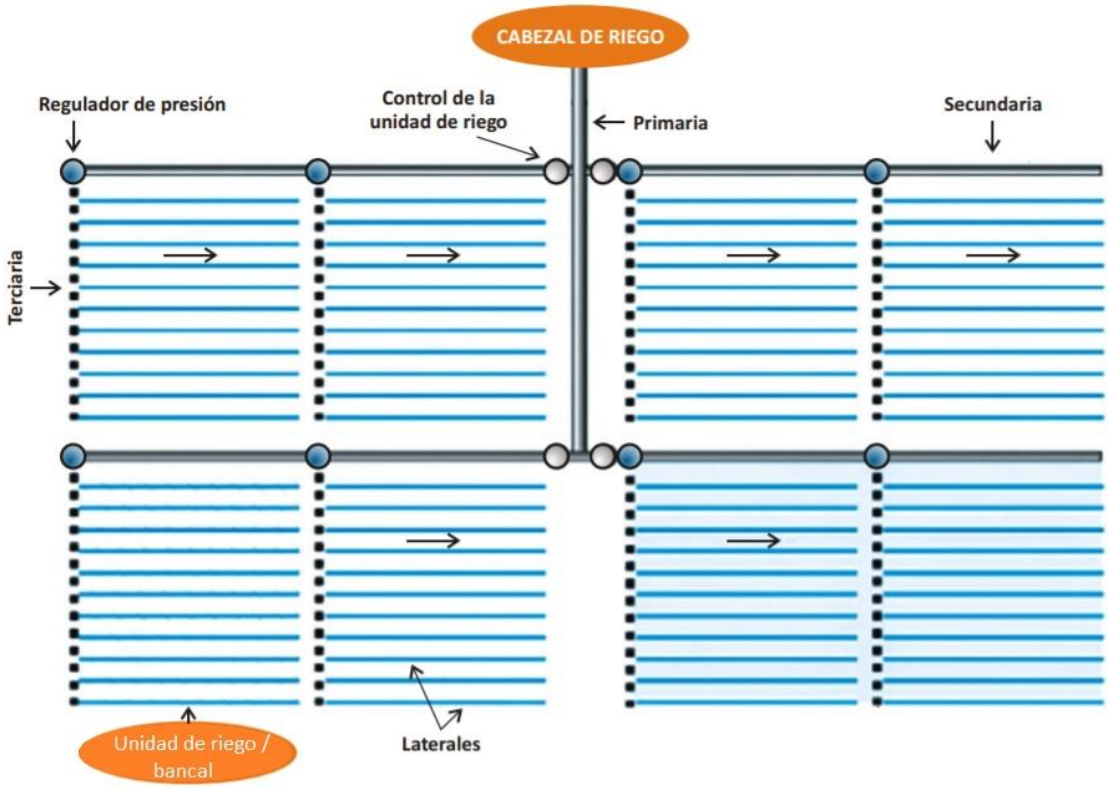

Figura 4. Sistema de riego localizado

Fuente: agrohuerto.com (2014)

4.5. Diseño de laterales

Las tuberías laterales o regantes se conectan a los emisores y suministran agua a los cultivos. Son responsables de llevar el agua desde la línea de distribución o secundaria a los emisores, que pueden incluir goteros, microaspersores, aspersores, cañones, etc. Se clasifican hidráulicamente como tuberías con múltiples salidas (Peña y Montiel, 2004).

Se debe determinar la posición ideal de una tubería porta lateral para alimentar laterales por puntos intermedios. La pendiente del terreno en el sentido de los laterales determinará esta

posición. La posición se encuentra en el centro si la pendiente es cero. Si hay una pendiente, el portalateral se moverá hacia arriba para mantener la misma cantidad de presión en ambos lados como se muestra en la figura número 5.

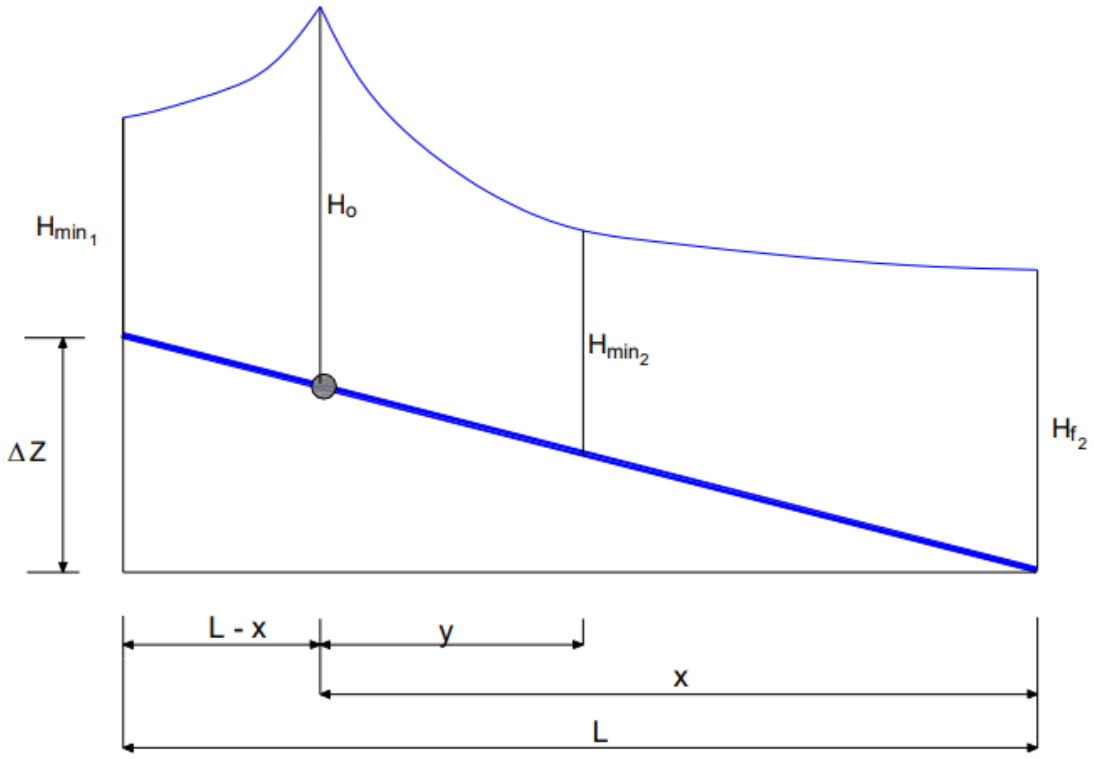

Figura 5 Localización del punto de alimentación intermedio en lateral o terciaria con desnivel

4.6. Emisores de riego

Los goteros son los sistemas más empleados para el riego localizado. Estamos hablando de emisores de bajo flujo que operan a presiones cercanas a 1kg/cm2. Se producen en materiales plásticos y se distinguen por liberar la presión del agua dentro de ellos, de manera que cuando alcanza el orificio de salida, se expulsa gota a gota. Se logra la pérdida de presión mediante la circulación del agua a través de una serie de conductos ondulados y sinuosos, similares a un laberinto, que atraviesan el interior de los recipientes (Aznar, 2016).

Los emisores son aparatos responsables de hacer la distribución del agua en la superficie de irrigación. Una de las particularidades más destacadas de los emisores de riego es el método de distribución del agua, ya sea de manera específica a través de goteo continuo, o creando una lluvia de gotas de agua de grosor variado, lo que determinará el tipo de sistema de riego al que se adhieren (Aznar, 2016).

Las características clave que el fabricante debe proporcionar para cualquier tipo de emisor son:

- Presión nominal: es la presión a la que se proyecta el emisor y a la que debería operar.
- Caudal nominal: flujo de agua que el emisor suministra cuando opera a la presión nominal.
- Coeficiente de variación de fabricación: cifra que muestra la variabilidad que ocurre durante el proceso de producción de los emisores.

Además de estos atributos, en caso de ser emisores de riego localizado, el productor deberá proporcionar otros datos como:

- Diámetro mínimo de paso, que señala la medida del flujo de agua más corto dentro del emisor.

- Estructura hidráulica, la cual puede ser laminar o turbulenta. Un emisor de sistema laminar es más susceptible a las fluctuaciones de presión, viscosidad y temperatura del agua, y también a las obturaciones.

- Exponente de descarga (x), es una información que muestra la reacción del emisor ante las fluctuaciones de presión. Si su valor se aproxima a 1 indica que es un emisor con un régimen cercano al laminar, y por lo tanto susceptible a las fluctuaciones de presión. Si este exponente alcanza el valor de 0.5, el emisor se caracteriza por un régimen turbulento. Los emisores con autocompensación poseen un valor de x inferior a 0.2 (Aznar, 2016).

- Si se utilizan goteros autocompensantes, el espectro de presiones para los que son compatibles.

Para los sistemas de riego por aspersión, otros datos proporcionados por las tiendas de productos son las propiedades de las boquillas acoplables, incluyendo información de presión, caudal y alcance (Aznar, 2016).

El análisis del comportamiento hidráulico posibilita establecer la relación entre presión y caudal y el coeficiente de variación por producción de los emisores, factor que incide en el coeficiente de uniformidad de los sistemas de riego y, por ende, en su eficacia (Aznar, 2016).

Para conocer el gasto se utilizará la ecuación 1

$$Qi = \frac{V}{t} \tag{1}$$

En donde; Qi representara el flujo del emisor en litros por hora del primer emisor (lh-1), V representa el volumen recogido en Litros (l) y t representa el tiempo en horas.

Al finalizar la recolección de los datos se realizarán lecturas de presión con un manómetro al inicio (H_1) y al final de línea regante (H_2). La diferencia de H_1 y H_2 será la pérdida de carga de cada línea regante.

4.7. Cálculo de coeficiente de uniformidad y variación

Para obtener el coeficiente de uniformidad (CU) utilizaremos la ecuación 2 propuesta por Christiansen (1942)

$$CU = 100\left[1 - \frac{\sum_1^n (qi - qm)}{n * qm}\right] \tag{2}$$

donde CU representara el Coeficiente de Uniformidad en porcentaje, qm representara el caudal medio en l h-1, qi representara el caudal de cada observación en l h-1 y n la cantidad de observaciones.

El Coeficiente de Variación (CV) se calculará con la ecuación 3, según la American Society of Agricultural Engineers ASAE, (2003)

$$CV = \frac{S}{qm} \tag{3}$$

donde CV representara el coeficiente de variación, y S representara la desviación estándar (valor adimensional) que se determinara utilizando la ecuación 4.

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (qi - qm)^2}{n-1}\right) \wedge \frac{1}{2} \tag{4}$$

donde qi representara el gasto observado (l h-1), qm representara el gasto medio (l h-1) y n representara la cantidad de emisores.

El coeficiente de variación por fabricación (CVF) es una característica estadística distintiva que se basa en el diseño del emisor, los materiales empleados en su producción y el cuidado y las tolerancias aceptadas en el proceso de esta. Su valor oscila entre 0.02 y 0,20. El CVF se destaca como uno de los elementos que más influye en el funcionamiento de los transmisores (Goldberg, 1974).

El modelo Carga-Gasto se establecerá mediante la ecuación general del emisor (Karmeli y Keller, 1975; Burtn y Stuart, 1994).

$$Q = kH^x \tag{5}$$

donde Q representara el flujo del emisor en l h-1, H representara la carga hidráulica mca, K representara el coeficiente de descarga que se basa en la geometría del emisor y x es el exponente que se basa en el sistema de flujo.

Por lo tanto, se obtendrán las ecuaciones del emisor empleando dos pares de valores utilizando las ecuaciones 6 y 7.

$$x = \frac{\ln(\frac{Q1}{Q2})}{\ln(\frac{H1}{H2})} \tag{6}$$

$$K = \frac{Q1}{H_1^x} \tag{7}$$

donde Q1 y Q2 representan el gasto del emisor desde el inicio hasta el final de la línea regante, mientras que H1 y H2 representan las cargas hidráulicas desde el inicio hasta el final de la línea regante.

4.8. Coeficiente de uniformidad de las cintilla

Las cintillas de riego son una clase de línea regante, normalmente fabricadas en polietileno flexible, con emisores incorporados a una separación preestablecida (Muñoz, 2004).

La elección correcta depende del cultivo que se va a regar y las condiciones del suelo (pendiente, textura, etc.). No obstante, hay parámetros hidráulicos esenciales para realizar una elección correcta como:

1) Calibre: se relaciona con el grosor de la pared o la lámina que conforma la cinta, 2) Distancia entre emisores: señala la separación entre los vasos.

3) Gasto del emisor: cantidad de agua que circula por el emisor durante un tiempo específico.

4) Diámetro: representa el tamaño interno de la cintilla de irrigación.

Estos atributos hidráulicos son suministrados por los proveedores y son indispensables para el diseño hidráulico, estableciendo la longitud a la que se puede ampliar la cintilla, teniendo en cuenta una pérdida de carga aceptable. No obstante, los costos de diseño de los emisores de las cintillas no siempre se alinean con los costos registrados en terreno, debido a varios factores que intervienen en la distribución del agua sobre las líneas de riego. La evaluación hidráulica es un método que permite verificar el funcionamiento adecuado y la correspondencia de los parámetros técnicos de los catálogos (Muñoz, 2004).

Para ello, es necesario calcular de forma constante el coeficiente de uniformidad (CU) y el coeficiente de variación (CV), con el fin de identificar la eficiencia del funcionamiento del sistema y efectuar mejoras (como establecer la longitud de las cintillas de riego) para cubrir de la mejor forma las demandas de agua en los cultivos (Muñiz, 2000).

Para calcular la longitud máxima de la cintilla utilizaremos una ecuación basada en un programa de Excel la cual es la siguiente:

$$Lm = Ee * \hat{N} \tag{8}$$

Donde Lm es la longitud máxima, Ee es el espaciamiento entre emisor y N^ es el número de salidas optimas.

4.9. Uniformidad de los emisores (UE)

El objetivo del diseño de riego es proporcionar al cultivo una distribución eficaz de agua y nutrientes. Un factor crucial para una mejor distribución es la uniformidad en la utilización del agua. La uniformidad en las emisiones es un indicador de la uniformidad en la utilización del agua, y se aplica tanto en la planificación como en la operación de un sistema de microirrigación. La uniformidad de los emisores puede ser relevante para una única línea lateral, un bloque subprincipal o para todo un sistema de riego (Bedoya-Cardoso y Ángeles-Montiel, 2018).

La uniformidad de emisores es representada como:

$$UE = (1 - 1.27CV/\sqrt{n})\,(\frac{Qm}{Qa}) \qquad (9)$$

Donde UE se expresa en decimales, n que, en el caso de un emisor de fuente puntual, el número de emisores por planta. Para un emisor de fuente de línea en un cultivo anual, ya sea el espaciamiento entre plantas dividido por la misma longitud unitaria de la línea lateral utilizada, Qm es la tasa de fluido mínimo para la presión mínima, Qa representa el caudal medio del emisor para la presión media y Cv coeficiente de variación del fabricante expresado en decimales.

La ecuación 9 incorpora dos factores distintos e independientes en una expresión de la uniformidad de las emisiones. El primer factor, (1-1.27Cv / n) expresa la variación del caudal resultante de la variación de fabricación Cv, que se calcula para una población de muestra de dispositivos de emisión como la desviación estándar dividida por la media. Para los sistemas de cinta Aqua-TraXX (Cv = 0,03 y n = 1), este factor es igual a 0.96. El segundo factor, (Qm/Qa), expresa la variación del caudal causada por las variaciones de presión dentro del campo y es una función del diseño del riego. Por lo tanto, para un sistema Aqua-TraXX típico, UE es igual a 0.96 (Qm/Qa), (Bedoya-Cardoso y Ángeles-Montiel, 2018).

4.10. Etapas de modelos de simulación

La simulación implica mucho más que la creación y puesta en práctica del modelo. Como cualquier proyecto, necesita de planificación, coordinación y comprensión de las necesidades de cada tarea implicada. Para modelar sistemas, se necesitan competencias o habilidades de ingeniería, organización, análisis y estadística. El modelador debe tener la capacidad de comprender el sistema que se está analizando y de organizar relaciones complejas entre causa y efecto. No existen normas rígidas para llevar a cabo un proyecto de simulación; sin embargo, se presentan etapas generalmente recomendadas (Torres, 2013).

- Definir el problema, los objetivos y los requerimientos.
- Diseño del modelo conceptual.
- Obtención y análisis estadístico de los datos para el modelo.
- Construcción del modelo de simulación.
- Verificación del modelo.
- Validación del modelo.
- Diseño del experimento de simulación, ejecución y análisis estadístico.
- Entrega de documentación y presentación de resultados.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del sitio experimental

La evaluación del diseño se realizó dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ubicada en la localidad de San Juan Acateno en el Municipio de Teziutlán, Puebla, con coordenadas 19°52’33.3” Latitud Norte y 97°21’38.1” Longitud Oeste a una altura de 1676 msnm (Figura 12).

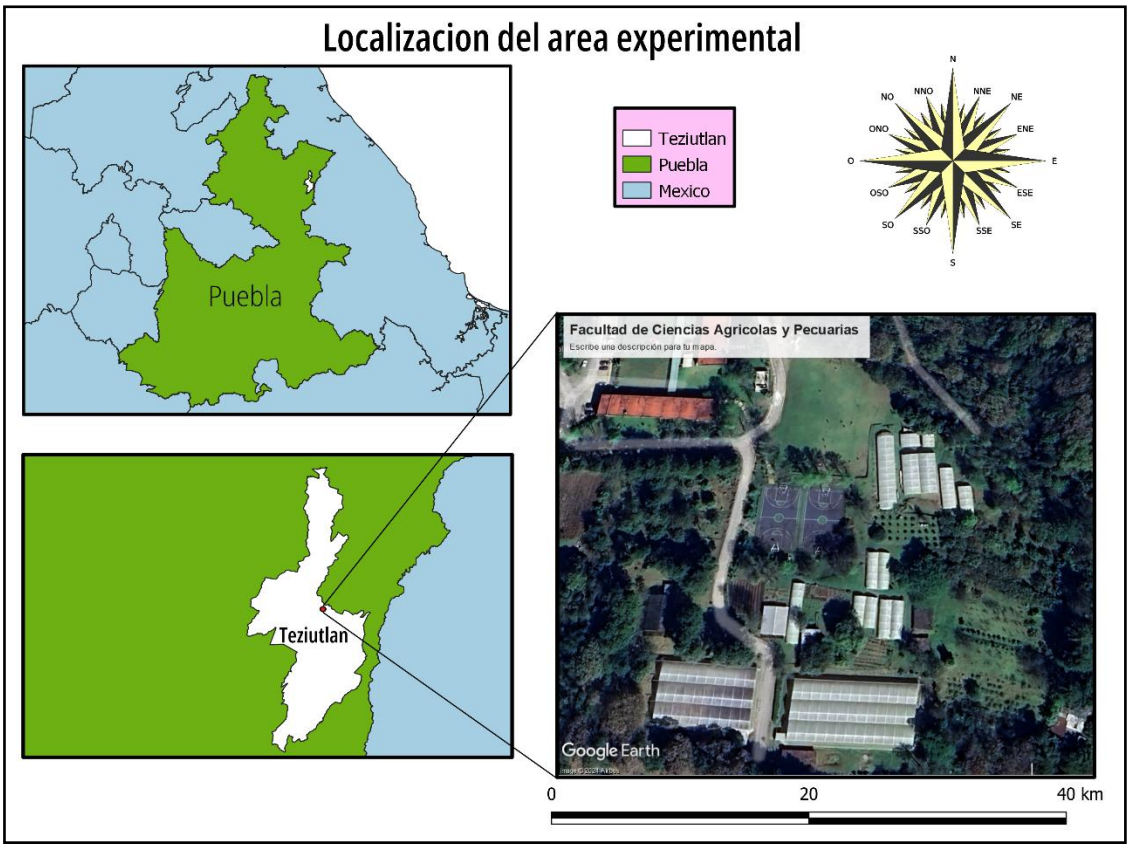

Figura 6. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Fuente: Elaboración propia

5.2. Materiales de los sistemas de riego utilizados

Para cada sistema de riego se utilizó el mismo material como fue, el tinaco, la bomba, el filtro de malla, tubería principal de una pulgada, que en cada caso se modificó en la parte final ya que cada sistema fue diferente, también la cintilla Aqua Traxx azul de espaciamiento entre emisor de 10 cm que por cada caso la longitud fue diferente, los manómetros solo cambiaban de posición.

5.3. Fórmula para determinar carga-gasto

$$Q = \frac{\frac{\frac{V\ ml}{1000}}{seg} * 3600\ seg}{N} \tag{10}$$

Donde V es el volumen en mililitros y N es el número de emisores.

5.4. Fórmula para convertir PSI a kg/cm^2

$$\frac{Kg}{cm^2} = P * 0.0703 \tag{11}$$

Donde P es la presión del manómetro en PSI y 0.0703 es la constante de conversión.

Todos los datos recolectados se ingresaron en el modelo de simulación en la hoja de cálculo de Microsoft Excel elaborada por el Dr. Barrios (2024) para el diseño de laterales de riego presurizado, y así poder validar y calibrar este modelo.

5.5. Diseño experimental

Para cada caso se realizaron estructuras diferente contemplando todos los ángulos referenciados al campo, teniendo en cuenta pendientes y presiones para observar la uniformidad de riego, donde estos datos nos brindaron el funcionamiento del modelo de simulación.

5.5.1. Diseño de riego para el cálculo de carga-gasto

Se realizó un sistema de riego alimentado por un punto intermedio como se muestra en la figura 6, para saber cuánta agua arroja cada línea a diferentes presiones, las cuales fueron de 7, 10, 14 y 21 PSI, para eso utilizamos 2.20 metros de tubo de PVC hidráulico de una pulgada, 7 líneas de 50 centímetros de cintilla Aqua -Traxx Azul, con espaciamiento entre cada emisor de 10 cm, y para capturar el agua se utilizaron recipientes de un litro y probetas de 500 ml con espaciamiento de 5 cm entre línea para medir el contenido de agua que arrojaban los emisores.

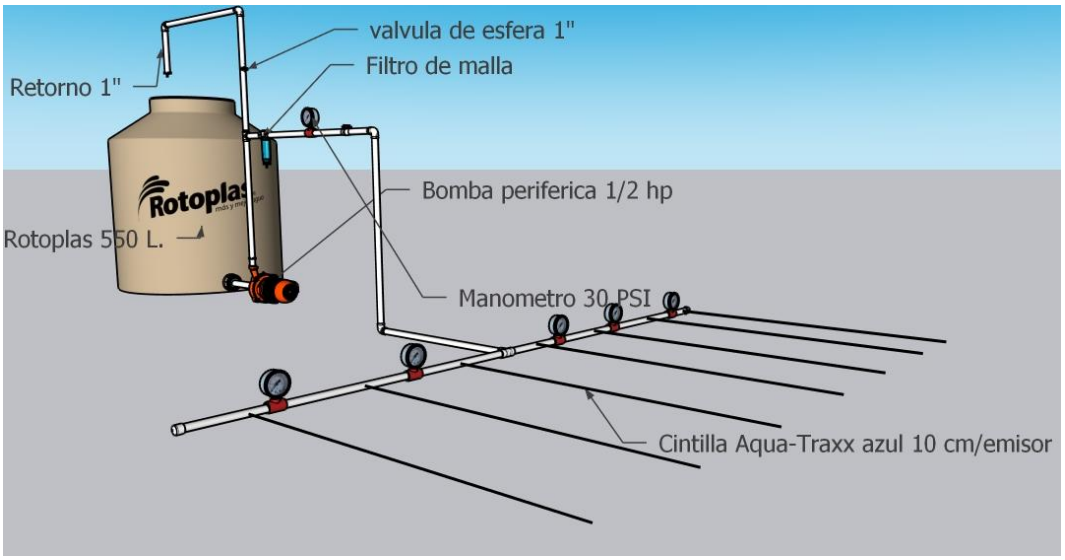

Figura 7. Diseño de riego alimentado por un punto intermedio para medir la carga-gasto de la cintilla de riego

Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Diseño de riego por goteo alimentado por un extremo

Se realizó un sistema de riego alimentado por un extremo como se muestra en la figura 7, donde se ocupó la estructura anterior y se modificó la parte final poniendo dos accesorios (codo), se adaptó 1.20 metros de tubo PVC y el otro codo se utilizó para incorporar un manómetro en la parte final de la línea de riego, se hicieron cinco diferentes casos, dos en pendiente fuerte (10.34 %), dos en pendiente leve (4.01 %) y una sin pendiente (0.29 %), cabe mencionar que en las pendientes se hicieron aguas arriba y aguas abajo excepto en el caso que no hubo pendiente, ahí solo se realizó en un sentido, al igual se sometieron a diferentes presiones (5, 7 y 10 PSI) teniendo en cuanta que por cada presión se realizaron tres repeticiones obteniendo 9 datos por presión.

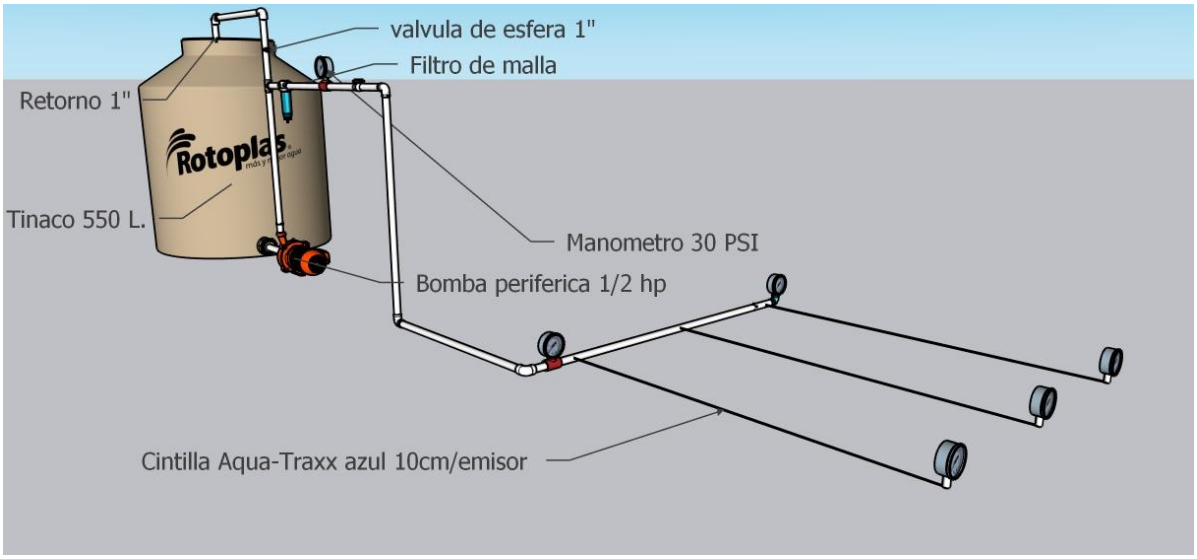

Figura 8. Sistema de riego por goteo alimentado por un extremo

Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Diseño de riego por goteo alimentado por un punto intermedio

Como tercer diseño de riego, se realizó alimentado por un punto intermedio como se muestra en la figura 9, el cual, se modificó la parte final adaptando un accesorio (codo) y se le hicieron modificaciones a la línea regante para poder incorporar la cintilla aguas arriba, al igual, se hicieron los mismos casos, pendiente fuerte (10.34 %), pendiente leve (4.01 %) y sin pendiente (0.29 %), también las mismas presiones (5, 7, 10 PSI) con las tres repeticiones y de cada presión se obtuvieron 9 resultados.

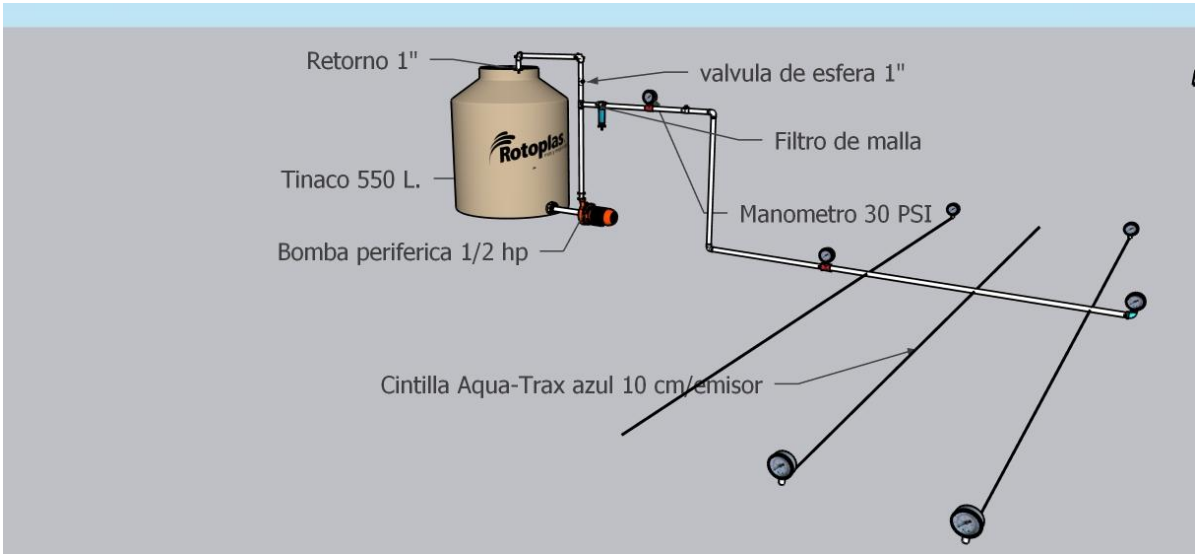

Figura 9. Diseño del sistema de riego alimentado por un punto intermedio

Fuente: Elaboración propia

5.6. Variables para validar el modelo de simulación

Para obtener los resultados de las presiones utilizadas en ambos diseños (alimentado por un extremo y un punto intermedio), el sistema se puso a las presiones antes mencionadas, esperando que las líneas se llenaran y sacaron todo el aire, y se capturaron los datos de los manómetros en fotografías de ambos diseños obteniendo 9 datos por presión, estos datos se metieron al modelo de simulación y los resultados obtenidos se compararon con los que se obtuvieron en campo y los que el modelo nos proporcionaba.

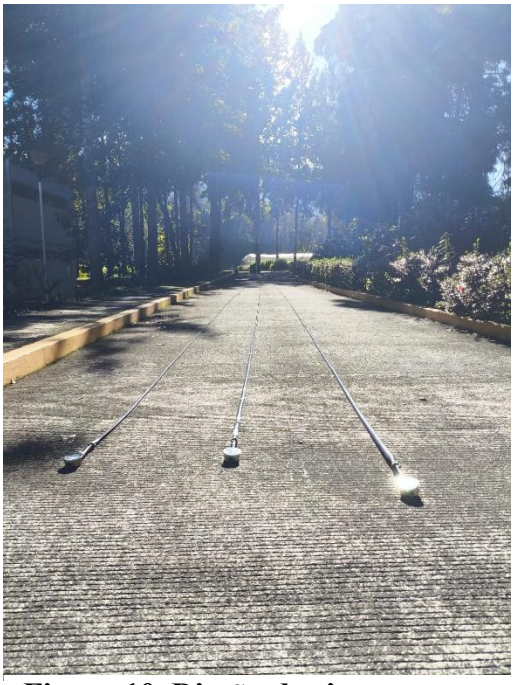

Figura 10. Diseño de riego por goteo alimentado por un extremo

Figura 11. Diseño de riego por goteo alimentado por un punto intermedio

5.7. Validez del modelo de simulación

Hay criterios que se deben cumplir con respecto a la validez de un sistema de riego, donde el modelo de simulación (diseño de laterales de riego presurizado) nos dio ese rango el cual debe de ser del 21%, al igual obtenemos el coeficiente de uniformidad y la uniformidad del emisor no menor al 90% (Bedoya-Cardoso y Ángeles-Montiel, 2018).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Carga-gasto

Al someter los emisores a diferentes presiones y medirlas con ayuda de los manómetros, se obtuvieron diferencias en cuestión al caudal de las siete cintillas, realizando dos tratamientos y dos repeticiones donde se ocupó el inicio y el final para garantizar la uniformidad en toda la cintilla, para todos los resultados obtenidos, hubo una conversión de ml a L/hr usando la ecuación 10 y los datos obtenidos fueron ingresados en una hoja de Microsoft Excel como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Muestras en L/Hr de los tratamiento

presion PSI inicio	T1R1	presion PSI Inicio	T1R2	presion PSI final	T2R1	Presiones PSI final	T2R2
7.1	1.1	7.9	1.01	7.2	1.23	7.2	1.38
7.1	1.0	8.2	1.27	7.8	1.32	7.8	1.23
7.1	1.3	8	1.24	7.9	1.38	7.9	1.39
7.1	1.2	6.9	1.20	6.4	1.37	6.4	1.21
7.1	1.1	8	1.28	7.5	1.17	7.5	1.14
	1.2		1.50		1.14		1.12
	1.4		1.20		1.16		1.12
9.96	1.3	10	1.17	10.2	1.29	10.2	1.44
9.96	1.3	10.1	1.50	10.7	1.38	10.7	1.36
9.96	1.5	10	1.38	10.5	1.44	10.5	1.52
9.96	1.5	8.9	1.35	9.1	1.49	9.1	1.43
9.96	1.2	10	1.50	10.1	1.35	10.1	1.36
	1.5		1.65		1.41		1.38
	1.6		1.35		1.42		1.36
14.2	1.9	14.1	1.53	14.8	1.53	14.8	1.50
14.2	1.5	14.8	1.80	15	1.66	15	1.71
14.2	1.5	14.2	1.65	14.8	1.72	14.8	1.77
14.2	1.8	13	1.66	13.3	1.86	13.3	1.83
14.2	1.5	14.1	1.78	14.5	1.65	14.5	1.71
	1.8		1.92		1.62		1.67
	1.9		1.59		1.53		1.64
21.3	2.3	21	1.74	21.5	2.31	21.5	1.97
21.3	1.8	21.2	2.00	21.8	2.34	21.8	2.07
21.3	1.9	21	1.98	21.1	1.70	21.1	2.25
21.3	2.3	19.9	2.07	20.1	2.19	20.1	2.19
21.3	1.9	21	2.19	21.2	1.86	21.2	2.12
	2.1		2.18		2.03		2.04
	2.3		2.38		1.83		1.99

6.2. Conversión de PSI a Kg/cm^2

Para realizar la conversión de las unidades PSI a kg/cm^2 utilizamos la ecuación 11 la cual fue programada en una hoja de Microsoft Excel obteniendo los siguientes resultados como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Conversión de presiones PSI a kg/cm^2

PSI Inicio	Kg/cm2	PSI inicio	kg/cm2	PSI final	kgcm2	PSI final	kg/cm2
7.1	0.5	7.9	0.6	7.2	0.5	7.2	0.5
7.1	0.5	8.2	0.6	7.8	0.5	7.8	0.5
7.1	0.5	8	0.6	7.9	0.6	7.9	0.6
7.1	0.5	6.9	0.5	6.4	0.4	6.4	0.4
7.1	0.5	8	0.6	7.5	0.5	7.5	0.5
9.96	0.7	10	0.7	10.2	0.7	10.2	0.7
9.96	0.7	10.1	0.7	10.7	0.8	10.7	0.8
9.96	0.7	10	0.7	10.5	0.7	10.5	0.7
9.96	0.7	8.9	0.6	9.1	0.6	9.1	0.6
9.96	0.7	10	0.7	10.1	0.7	10.1	0.7
14.2	1.0	14.1	1.0	14.8	1.0	14.8	1.0
14.2	1.0	14.8	1.0	15	1.1	15	1.1
14.2	1.0	14.2	1.0	14.8	1.0	14.8	1.0
14.2	1.0	13	0.9	13.3	0.9	13.3	0.9
14.2	1.0	14.1	1.0	14.5	1.0	14.5	1.0
21.3	1.5	21	1.5	21.5	1.5	21.5	1.5
21.3	1.5	21.2	1.5	21.8	1.5	21.8	1.5
21.3	1.5	21	1.5	21.1	1.5	21.1	1.5
21.3	1.5	19.9	1.4	20.1	1.4	20.1	1.4
21.3	1.5	21	1.5	21.2	1.5	21.2	1.5

6.3. Coeficiente de variación de los manómetros

Para obtener el CV realizamos pruebas con diferentes presiones, también cabe recalcar que para eliminar el sesgo se utilizó un comando en Excel (DESVEST. M) que es la desviación estándar muestral que estadísticamente nos hace tener un mejor parámetro de la variación del fabricante al de campo, el cuadro 3 muestra los resultados del CV de los manómetros.

Cuadro 3. Coeficiente de variación de los manómetros en %

promedio PSI	coeficiente de variación (CV, %)			
7.58	6.60	8.19		
9.96	5.15	6.11		
14.26	4.63	4.72		
20.98	2.50	3.04		
PROMEDIO	4.72	5.51	5.12	%

6.4. Curva del coeficiente de variación de la cintilla

Se hizo una comparación de los resultados dados por el fabricante anexo 1 y los que obtuvimos en campo, esto para tener la certeza de que el fabricante nos está proporcionando la ecuación correcta y se realizaron gráficas como se muestra en las siguientes figuras.

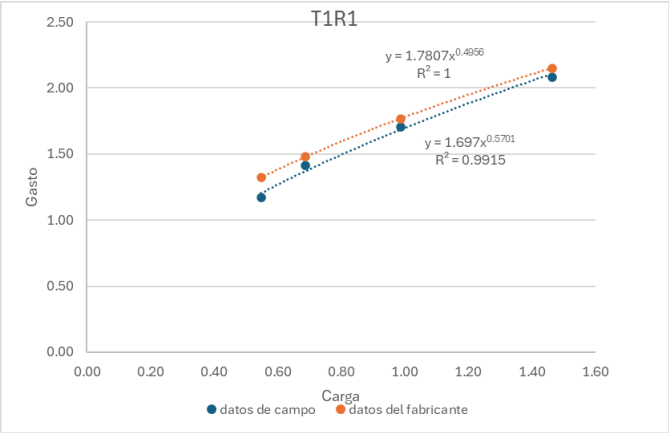

Figura 12. Comparación de caudal del fabricante y resultados en campo T1R1

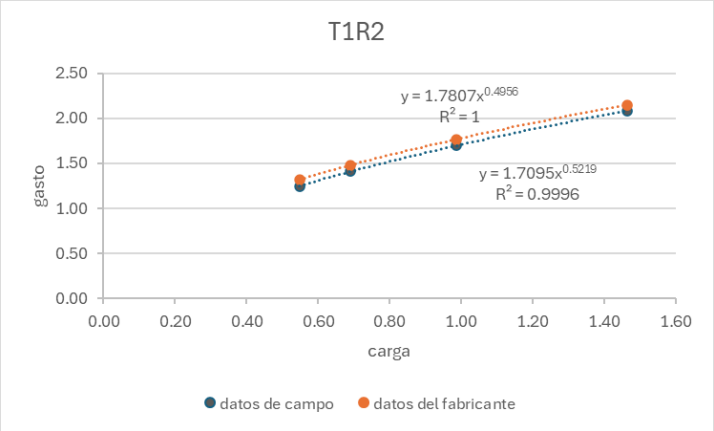

Figura 13. Comparación de caudal del fabricante y resultados en campo T1R2

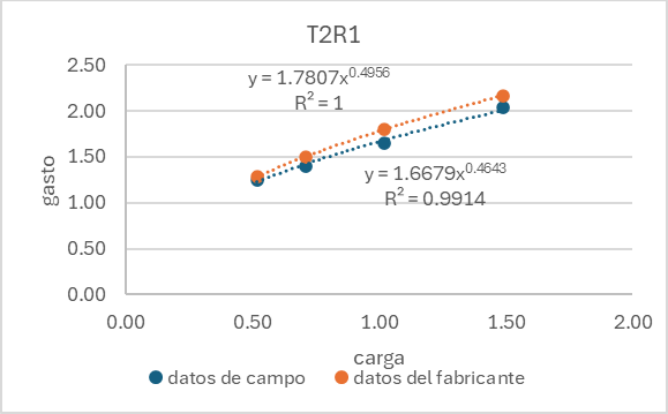

Figura 14. Comparación de caudal del fabricante y resultados en campo T2R1

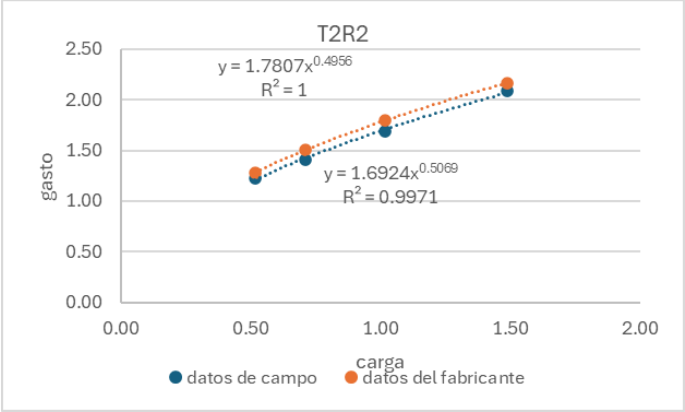

Figura 15. Comparación de caudal del fabricante y resultados en campo T2R2

Teniendo en cuenta que tuvimos un sesgo, el cual es de medición con el que concluimos que fue por el uso de probetas con espaciamiento de 5 milímetros entre marca lo que nos dio como resultado un sesgo de 3 milímetros como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Sesgo de la cintilla

p prom (kg/cm2)	q prom (L/H) exp	q prom (L/H) fabri	diferencia(L/H)	diferencia (mL)
0.53	1.22	1.30	0.08	3
0.70	1.40	1.49	0.09	3
1.00	1.69	1.78	0.10	3
1.47	2.06	2.16	0.10	3

6.5. Comparación de datos de campo y el modelo de simulación en el sistema de riego alimentado por un extremo

Se establecieron los sistemas de riego en sus respectivos espacios donde se trabajaron las presiones de 10, 7 y 5 PSI, y se capturaron en una base de datos para posteriormente compararlas con el modelo de simulación tomando en cuenta la pendiente que en cada caso fueron diferentes (10.34, 4.01, 0.29%) , la carga del gotero, que en este punto se modificaba en cada presión como se muestran en los siguientes cuadros y por último el coeficiente C, donde se utilizó el valor de 140 para todas las presiones y diseños, todos estos datos son para el funcionamiento y validez del modelo de simulación.

6.5.1. Caso sin pendiente

Con las distintas presiones de inicio (10, 7, 5 PSI) en un terreno casi plano (0.29%) se obtuvieron resultados con pequeñas diferencias entre los datos de campo y los que nos arrojó el modelo, así mismo se encontró la carga del gotero para las diferentes cargas, y así haciendo las comparaciones de datos de ambos lados como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Comparación de los datos en campo y del modelo de simulación sin pendiente contemplando que al menos tres presiones se acercan al que nos arrojó el modelo

CANCHA SIN PENDIENTE (0.29 %) 10PSI									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
9.1	8.1	8	9	8.1	8	9	8.1	8	8.63	12.28
7 PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion			PSI del modelo de simulacion	carga gotero
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
6.5	6	5.5	6.6	6	5.5	6.6	6	5.6	6.05	8.61
5 PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion			PSI del modelo de simulacion	carga gotero
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
4.7	4	3.7	4.7	4	3.9	4.8	4	3.9	4.34	6.17

6.5.2. Caso con pendiente leve en contra

Para este caso con el sistema de riego en posición y teniendo las mismas presiones de inicio se realizó la comparación con los resultados de campo y los que nos da el modelo con una pendiente del 4.01%, teniendo en cuenta que se utilizaron esas cargas de gotero para sus diferentes presiones, al tener la pendiente en contra los resultados bajaron, pero se mantuvieron con pequeñas diferencias de ambos lados como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Comparación de los datos de campo y el modelo de simulación con pendiente leve en contra obteniendo resultados cercanos al del modelo, con sus diferentes cargas de gotero

PASILLO DE SALONES, PENDIENTE LEVE (4.01 %) EN CONTRA 10PSI									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
6.2	6	7.1	6.2	6.1	7	6.3	6	7	6.97	9.91
				7 PSI					PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
4.2	4	4.8	4.2	4	4.8	4.1	4.1	4.8	4.4	6.25
				5 PSI					PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
2.1	1.8	2.9	2.5	1.9	2.9	2.5	1.9	2.9	2.7	3.82

6.5.3. Caso con pendiente leve a favor

Reacomodando el sistema de riego y teniendo en cuenta que la pendiente antes mencionada está a favor tendremos datos más altos ya que hay una carga a favor, al igual que hubo poca diferencia de ambos lados, el cuadro 7 nos muestra la comparación con la respectiva carga de gotera para las diferentes presiones.

Cuadro 7. Comparación de los datos de campo y el modelo de simulación con pendiente leve a favor

PASILLO DE SALONES, PENDIENTE LEVE (4.01 %) A FAVOR 10PSI									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
10.5	9.8	9.8	10.5	9.8	9.8	10.5	9.2	9.4	10.08	14.34
				7 PSI					PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
8.5	7.5	8	8.5	7.5	8	8.5	7.5	8	7.5	10.66
				5 PSI					PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
5.3	4.9	4.8	5.3	4.9	4.8	5.3	4.9	4.8	5.77	8.21

6.5.4. Caso con pendiente fuerte en contra

En este caso con una pendiente fuerte del 10.34% en contra alimentado por un extremo, hace muy notoria la diferencia al caso de sin pendiente ya que la eficiencia de la bomba no llena por

completo en la última presión, teniendo en cuanta que son líneas de 45 metros de los cuales solo hasta los 32 metros llego el agua sin registro de presión, dando comparaciones mas evidentes en las tres presiones iniciales como muestra el cuadro 8.

Cuadro 8. Comparación de los datos de campo y el modelo de simulación con pendiente fuerte en contra teniendo en cuenta la carga de gotero para las presiones

PASILLO DE CANCHA, PENDIENTE FUERTE (10.34 %) EN CONTRA									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
10PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
3	3.5	2.5	2.5	3.2	3	2.5	3.3	3	4.54	6.46
7 PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion			PSI del modelo de simulacion	carga gotero
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.98	2.83
llego a los 45 metros pero sin presion										
5 PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion			PSI del modelo de simulacion	carga gotero
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
solo llego a los 32 metros									0.31	0.44

6.5.5. Caso con pendiente fuerte a favor

En caso contrario con el anterior aquí hay una diferencia menos notoria de ambos lados teniendo en cuanta la misma pendiente ya que tenemos una presión a favor teniendo diferencias muy leves en ambos lados tal cual nos muestra el cuadro 9.

Cuadro 9. Comparación de los datos de campo y el modelo de simulación con pendiente fuerte a favor

PASILLO CANCHA, PENDIENTE FUERTE (10.34 %) A FAVOR									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
10PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
12.8	13.9	12.9	12.9	13.8	12.8	12.8	13.9	12.9	12.52	17.81
7 PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion			PSI del modelo de simulacion	carga gotero
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
10.3	11.2	10.1	10.2	11.1	10.2	10.4	11.2	10.1	9.93	14.12
5 PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion			PSI del modelo de simulacion	carga gotero
linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3	linea 1	linea 2	linea 3		
8.9	9.9	9	8.9	10	9	8.9	9.9	9	8.21	11.67

6.6. Comparación de datos de campo y el modelo de simulación en el sistema de riego alimentado por un punto intermedio

Se establecieron los sistemas de riego en sus respectivos espacios donde se cambió la distribución ahora son alimentados por un punto intermedio al igual se trabajaron las presiones antes mencionadas, y se capturaron en una base de datos para posteriormente compararlas con el modelo de simulación tomando en cuenta la pendiente que en cada caso fueron diferentes (10.34, 4.01, 0.29 %) , la carga del gotero, que en este punto se modificaba en cada presión y por último el coeficiente C, donde se utilizó el valor de 140 para todas las presiones y diseños, todos estos datos funcionamiento y validez del modelo de simulación.

6.6.1. Caso sin pendiente

En el cuadro 10 se compararon los datos que el simulador nos daba y los de campo, contemplando un terreno casi plano (0.29 %) obtuvimos resultados más uniformes tanto aguas arriba como aguas abajo, utilizando esos parámetros en la carga del gotero en las diferentes presiones dándonos esos resultaos.

Cuadro 10. Comparación de presiones de campo y del modelo de simulación en un terreno casi plano alimentado por un punto intermedio con esa carga de gotero

SIN PENDIENTE (0.29 %)									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
10PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
10.5		9.9	10.5		9.9	10.9		10	9.89	
Linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo		14.06
11.3		10	11.5		10	11.8		10.1	9.56	
7PSI									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
7		6.9	6.9		6.9	6.9		6.9	6.9	
Linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo		9.82
8.1		7.5	8.1		7.5	8.1		7.5	6.7	
5PSI									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
5		4.5	5		4.5	5		4.5	4.92	
Linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo		7
6.5		6	6.5		6	6.5		6	4.81	

6.6.2. Caso con pendiente leve

En este caso tenemos una pendiente del 4.01 % donde los datos en campo y las arrojadas por el modelo no tienen tanta diferencia tanto para aguas arriba como aguas abajo, manteniendo la carga de gotero en las diferentes presiones como se muestra en el cuadro 11.

Cuadro 11. Comparación de datos en campo y del modelo de simulación con una pendiente leve y con las diferentes cargas de gotero para las tres presiones iniciales

PENDIENTE LEVE (4.01%)									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
10PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
10		9	9		9	9		9	9.33	
Linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo		13.27
11		11	11		11	11		11	10.7	
7PSI									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
6.8		6.5	6.8		6.5	6.8		6.5	6.36	
Linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo		9.04
8		8	8		8	8		8	7.85	
5PSI									PSI del modelo de simulacion	carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
4.8		4.5	4.8		4.5	4.8		4.5	4.37	
linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo		6.21
6		6	6		6	6		6	5.95	

6.6.3. Caso con pendiente fuerte

En el cuadro 12 se muestra la comparación de los datos ambos lados, teniendo en cuenta que en aguas arriba se obtuvieron resultados más cercanos al que nos arroja el modelo de simulación, sin embargo, en la línea de aguas abajo se sacaron promedios de las tres presiones acercándose a la del modelo, con la carga de gotero se obtuvieron esos datos.

Cuadro 12 Comparación de los datos en campo y del modelo de simulación contemplando la carga de gotero y la pendiente fuerte

PENDIENTE FUERTE (10.34%)									PSI del modelo de simulacion	Carga gotero
10PSI										
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
6.9		7.5	6.9		7.5	6.9		7.5	8.4	
Linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	promedio	11.94
13.3		12	13.8		12	13.8		12	12.82	12.63
7PSI									PSI del modelo de simulacion	Carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
4		4.5	4		4.5	4		4.5	5.42	
Linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	promedio	7.71
11		9.5	10.5		9.5	10.5		9.5	10.08	9.8
5PSI									PSI del modelo de simulacion	Carga gotero
1 repeticion			2 repeticion			3 repeticion				
linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba	linea 1 arriba	linea 2 arriba	linea 3 arriba		
0.9		1	0.9		1	0.9		1	3.43	
Linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	linea 1 abajo	linea 2 abajo	linea 3 abajo	promedio	4.88
9.2		7.1	9		7.2	9		7.2	8.12	7.9

6.7. Comparación de los sistemas de riego alimentados por un extremo y un punto intermedio para la validez del modelo de simulación

De ambos lados hay diferencias muy notorias dándonos datos diferentes y opciones de elegir entre los dos sistemas, ya que al ser casos completamente diferentes se pueden utilizar para cualquier sistema de producción, teniendo en cuenta los parámetros de variación que es del 21 % se puede ajustar dependiendo a las condiciones requeridas, y en los siguientes cuadros se muestran las diferentes variaciones de los casos anteriores.

Cuadro 13 Parámetros para la validación del sistema de riego en un terreno casi plano

Q promedio L/h	Q máximo L/h	Q minimo L/h	Variación %	CU %	UE %
10 PSI pendiente fuerte					
1.69	1.78	1.65	7.05	98.20	97.97
7PSI pendiente leve					
1.41	1.49	1.39	7.05	98.21	98.01
5 PSI sin pendiente					
1.2	1.26	1.17	6.98	98.25	98.07

Q L/h: Caudal en litros por hora; CU: Coeficiente de uniformidad; UE: Uniformidad del emisor

Cuadro 14 Parámetros para la validación del sistema de riego alimentado por un extremo con pendiente leve en contra

Q promedio L/h	Q máximo L/h	Q minimo L/h	Variación %	CU %	UE %
		10 PSI pendiente fuerte			
1.53	1.63	1.49	16.33	97.83	97.24
		7PSI pendiente leve			
1.32	1.49	1.18	20.57	94.3	89.5
		5 PSI sin pendiente			
1.09	1.26	0.93	26.46	92.42	85.3

Q L/h: Caudal en litros por hora; CU: Coeficiente de uniformidad; UE: Uniformidad del emisor

Cuadro 15 Parámetros para la validación del modelo de simulación con un sistema de riego alimentado por un extremo con pendiente leve a favor

Q promedio L/h	Q máximo L/h	Q minimo L/h	Variación %	CU %	UE %
		10 PSI pendiente fuerte			
1.75	1.79	1.73	3.40	99.12	98.12
		7PSI pendiente leve			
1.49	1.54	1.46	5.36	98.67	98.19
		5 PSI sin pendiente			
1.28	1.36	1.25	8.03	97.76	97.27

Q L/h: Caudal en litros por hora; CU: Coeficiente de uniformidad; UE: Uniformidad del emisor

Cuadro 16 Parámetros de validación del modelo de simulación con un sistema de riego alimentado por un extremo con pendiente fuerte en contra

Q promedio L/h	Q máximo L/h	Q minimo L/h	Variación %	CU %	UE %
		10 PSI pendiente fuerte			
1.49	1.78	1.20	32.32	90.47	80.68
		7PSI pendiente leve			
1.17	1.49	0.8	46.37	85.5	68.33
		5 PSI sin pendiente			
0.88	1.26	0.32	74.81	75.3	36

Q L/h: Caudal en litros por hora; CU: Coeficiente de uniformidad; UE: Uniformidad del emisor

Cuadro 17. Parámetros de validación del modelo de simulación con un sistema de riego alimentado por un extremo con pendiente fuerte a favor

Q promedio L/h	Q máximo L/h	Q minimo L/h	Variación %	CU %	UE %
10 PSI pendiente fuerte					
1.84	1.99	1.77	10.94	96.76	95.92
7PSI pendiente leve					
1.6	1.77	1.49	15.91	95.17	93.22
5 PSI sin pendiente					
1.41	1.61	1.26	21.71	93.32	89.58

Q L/h: Caudal en litros por hora; CU: Coeficiente de uniformidad; UE: Uniformidad del emiso

La validación del modelo de simulación va de la mano con la uniformidad del riego, el relieve y la presión, ya que estos datos son de suma importancia para que tenga una variación del 21 % o cercano a este dato, teniendo en cuenta que los resultados van a variar si hay una mala instalación en el sistema de riego, al igual que ya se tiene las cargas del gotero facilitando el uso del modelo, así mismo se puede tener una mejor eficiencia y ahorro de agua durante los ciclos productivos, ya que, al tener un riego uniforme no habrá encharcamientos en ciertos puntos.

VII. CONSLUSIONES

Para obtener la carga-gasto es necesario tener los equipos adecuados ya que si no se tiene una buena precisión lo valores varían, y en este caso una pequeña variación con los datos del fabricante a los tomados en campo.

La validación del modelo de simulación y la uniformidad del riego depende de la postura del sistema de riego ya que al ser alimentado por un extremo se enfoca en ciertos puntos de la línea regante y al igual hay mayores pérdidas por fricción, sin embargo, al ser alimentados por un punto intermedio la uniformidad tanto de riego y del emisor es mayor al caso antes mencionado, dándonos la validez del modelo de simulación.

VIII. LITERATURA CITADA

ASEA EP405. 2003. Desing and Installation of Microirrigation Sistems. American Society of Agricultural Engineers

Aznar A. S. 2016. Tipos de sistemas de riego. Componentes de las instalaciones. In: Bases para la optimización de una red de riego. Edición para UCAR. Unidad para el cambio rural Aplicación a la ciudad de Murcia. pp 58-80.

Bedoya-Cardoso M., Ángeles-Montiel V. 2014. ¿Es posible mejorar la uniformidad de riego utilizando diferentes espaciamientos entre emisores? Tecnología y Ciencias del Agua, 5(6): 167-175.

Bedoya-Cardoso M., Ángeles-Montiel V. 2018. Estrategias para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales de riego. Ingeniería y Región 16 (2): 65-71.

Boswell M. J. 2000. Design manual Aqua-Traxx. Toro Ag Irrigation. Fourth edition. pp 29.

Burt Ch. M and W. S. Stuart. 1994. Drip and microirrigation for tres, vines, and row crops. (whit special sections on buried drip). Irrigation Training and Research Center (ITRC) California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA, EUA. P. 29-34.

Chaney C. 2021. Que es el riego localizado. En línea: https://www.ehowenespanol.com/riego-presurizado-info_431087. Consultado: 02/09/2024

Christiansen J. E. 1942. Irrigation by Sprinkling. Bulletin. 670 Berkeley, California, EUA. University of California. pp 124.

Gil J, A; Khan, L y Hernández, R. 2002. Evaluación del comportamiento hidráulico de varios emisores importados para riego por goteo.

Goldberg D. 1974. Conceptos modernos de riego. Centro regional de ayuda técnica. México. pp 11-13.

Guerra M. E. 2023. Bombas de riego agrícola. En línea: https:/bloc.ponceag.com/bombas-riego-agrícola. Consultado: 02/09/2024.

Holzapfel E. A., Pardo V. P., A. Rodríguez. Orrego y López M.A. 2007. Análisis técnico-económico para selección de aspersores. Rev. Brasil. Eng. Agríc. Amb. 11: 557-563.

Jiménez J. S. I. y Ramírez R. C. 2018. Diseño hidráulico de tuberías con salidas múltiples mediante métodos numéricos. *In:* IV Congreso Nacional de Riego y Drenaje ComeII. Universidad Autónoma de Aguascalientes. pp 1-10.

Jiménez S. 2017. Sistema de riego presurizado: línea regante o lateral. En línea: https://www.hidraulicafacil.com.mx. Consultado 13/09/2024.

Karmeli. D. y Keller J. 1975. Trickle irrigation design (No. 04; TC805, K3.). Glendora, CA: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation.

Liotta M. 2015. Manual de capacitación: riego por goteo. 1ª edición especial. Rivadavia: Marta Laura Paz. pp 22.

Muñiz R. J. M. 2000. Evaluación de la uniformidad de distribución del agua en diferentes sistemas de riego sobre el cultivo de papa. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coah., México. 89 p.

Muñoz R. R. A. 2004. Caracterización hidráulica de cuatro marcas de emisores para riego localizado comercializados en Chile. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Taca, Chile. pp 35.

Ojeda B. O., Jiménez J. S. I., Marcial P., M de J e Iñiguez C. M. 2019. Las unidades de riego en México: situación y problemática. *In:* V Congreso Nacional de Riego y Drenaje. Colegio Mexicano de Ingenieros en irrigación A.C Texcoco. Estado de México. pp 13

Peña E., y Montiel, M. 2004. Tecnificación del riego presurizado. *In:* Curso Internacional de Sistemas de Riego (Vol. II). Universidad Autónoma Chapingo: Departamento de Irrigación de la UACh. pp. 33-49

Raúl A., Livio S. M., Pianucci A. 2010. Aspectos básicos del diseño hidráulico de un sistema de riego por aspersión de avance frontal. *In:* II Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Rio Cuarto.

Rodríguez G. R., Martínez T. H. C., Rodríguez R. B. 1996. Sistema de riego por goteo. *In:* XX Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia. Instituto Tecnológico de Estudios

Superiores de la Región Carbonífera. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera.

Sícoli S. Carlos E., Aliod R., Zorilla F., Morábito J. A. 2017. Diseño óptimo de traza y dimensionado de tubería secundaria con laterales partidos en sectores de riego por goteo con topografía y dimensiones irregulares. *In*: XXXV Congreso Nacional de Riegos. Tarragona.

Torres P. 2013. Simulación de Sistemas con el Software Arena, Lima, Perú: Universidad de Lima Fondo Editorial

IX. ANEXOS

ANEXO 1. DATOS DE FABRICANTE DE LA CINTILLA AQUA TRAXX AZUL (HIGH FLOW) EAXxx04134.

PART NUMBER	SPACING (Inches)	4 PSI	5 PSI	6 PSI	7 PSI	8 PSI	9 PSI	10 PSI	11 PSI	12 PSI	13 PSI	14 PSI	15 PSI
CANE FLOW													
EAXxx0884	8	0.59	0.66	0.73	0.78	0.84	0.89	0.94	0.98	1.03	1.07	1.11	1.15
EAXxx1256	12	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.59	0.63	0.66	0.68	0.71	0.74	0.77
EAXxx1642	16	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.44	0.47	0.49	0.51	0.53	0.55	0.57
EAXxx2428	24	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.31	0.33	0.34	0.36	0.37	0.38
HIGH FLOW													
EAXxx04134	4	0.95	1.06	1.16	1.25	1.34	1.42	1.50	1.57	1.64	1.71	1.77	1.84