



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

COMPLEMENTO DE EXCEL PARA EL DISEÑO EN SISTEMAS DE RIEGO POR
ASPERSIÓN PORTÁTIL

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

VICTOR ABEL ESCAMILLA MENA

DIRECTOR DE TESIS

MC. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Mayo de 2021



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

COMPLEMENTO DE EXCEL PARA EL DISEÑO EN SISTEMAS DE RIEGO
POR ASPERSIÓN PORTÁTIL

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA
VICTOR ABEL ESCAMILLA MENA

DIRECTOR DE TESIS
M.C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

ASESORES
DR. DELFINO REYES LÓPEZ
M.C. GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Mayo de 2021


La presente tesis titulada: **Complemento de Excel para el diseño de sistemas de riego por aspersión portátil** y realizada por **Victor Abel Escamilla Mena**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el Título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por: Firma

Director: M.C Fabiel Vázquez Cruz



Asesor: DR. Delfino Reyes López



Asesor: M.C Guillermo Jesuita
Pérez Marroquín



San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Mayo de 2021

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: Agrobiotecnología y Recursos Naturales y de la Línea de Investigación: **Biotecnología, Conservación y Protección Vegetal**. Dicho trabajo, fue financiado con: Recursos propios.

DEDICATORIA

A MI MADRE POR SIEMPRE RECIBIR SU APOYO, AMOR, COMPRENSIÓN Y TERNURA, A PESAR DE TODO Y SOBRE TODAS LAS COSAS.

A MI ABUELO, PADRE Y TÍA QUE SIEMPRE CREYERON QUE ESTE MOMENTO LLEGARÍA Y A PESAR DE HOY NO PODER VERLO, SÉ QUE ESTARÍAN ORGULLOSOS.

A MI PROPIA FAMILIA, QUE A PESAR DE TANTOS AÑOS DE ESPERA SIGUEN VIENDO CONMIGO QUE SE PUEDEN LOGRAR LAS COSAS CUANDO PONES EMPEÑO EN ELLO Y MÁS AÚN CUANDO SE CUENTA CON EL APOYO DE AQUELLOS QUE TE APRECIAN.

Y A TODAS LAS PERSONAS QUE ME HAN DADO PALABRAS DE ALIENTO EN MOMENTOS DIFÍCILES, AMIGOS, COMPAÑEROS, Y MAESTROS QUE ME HAN AYUDADO A MADURAR, A SER MEJOR PERSONA Y SOBRE TODO QUE HAN CONFIADO EN MÍ.

A TODOS ELLOS MUCHAS GRACIAS ...

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud al M.C. Fabiel Vázquez Cruz por siempre motivarme a trabajar en este proyecto que tanto yo había aplazado, por su apoyo y asesoría, así como también por siempre estar al pendiente como maestro a su alumno.

Al Dr. Delfino Reyes López, al cual le agradezco el que siempre apoye a sus alumnos brindándoles todos los medios que le son posibles para que logremos nuestros objetivos académicos, siempre procurando crear una aptitud de superación personal en cada uno de sus alumnos. Personalmente le agradezco el que me permitiera convivir con el no solo como maestro alumno, sino también como personas que se conocen y traban juntos.

Al M.C. Guillermo J. Pérez Marroquín por asesorame y aportar de la mejor manera su opinión para que el trabajo llegara a buen término.

A todo mis maestros y a la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica por desarrollarme no solo como profesionista sino también como persona.

Y a la familia Martínez Huerta, por apoyarme en los inicios de mi carrera universitaria, sin duda sin ellos esto no seria posible.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 General	3
2.2 Específicos	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 El riego agrícola en México	4
3.2 Definición de riego	5
3.2.1 Definición del riego por aspersión.....	5
3.2.2 Evapotranspiración.....	6
3.2.3 Sistemas de riego por aspersión semi fijo.....	7
3.2.4 Sistemas de riego por aspersión portátil.....	7
3.3 Beneficios e inconvenientes del riego por aspersión	8
3.3.1 Beneficios	8
3.3.2 Inconvenientes.....	9
3.4 Software para el diseño de riego presurizado	11
3.4.1 Irrigate Plus.....	11
3.4.2 AquaFlow.....	12
3.4.3 Epanet.....	12
3.4.4 Irri-Express.....	13
3.4.5 WinSIPP TM 3.....	13

3.5 Informática y desarrollo de software	14
3.5.1 Ejemplos de lenguaje de programación.....	15
3.5.2 Visual basic para aplicaciones (VBA) para Excel.....	17
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1 Metodología	20
4.2 Cinta de opciones.....	20
4.3 Código VBA aplicado a Custom UI Editor	22
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
5.1 Complemento DA	24
5.2 Diseño agronómico	25
5.3 Diseño hidráulico	27
VI. CONCLUSIÓN	30
VII. LITERATURA CITADA.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Secciones DisAsper.....21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista de la pestaña DisAsper en Microsoft Excel....24

Figura 2. Vista de la pestaña cálculo agronómico.....25

Figura 3. Vista de la pestaña selección de aspersores.....26

Figura 4. Vista de la pestaña diseño de la línea regante.....27

Figura 5. Vista de la pestaña diseño de la tubería principal.28

Figura 6. Vista de la pestaña potencia de bombeo.....29

RESUMEN

Desde la aparición de Microsoft Excel® a finales de los 80, ha venido ganando gran posición dentro de la sociedad y actualmente es de las más usadas dentro y fuera de las organizaciones, el objetivo del presente proyecto fue desarrollar un complemento, disponible para Microsoft Excel®, el cual permitirá realizar el diseño de sistemas de riego en sistemas de riego por aspersión portátil.

La interfaz fue creada con la herramienta Custom UI Editor Microsoft Office que permite instalar el complemento dentro de la cinta de opciones de Microsoft Excel® mediante una pestaña a la cual se denominó DisAsper.

Como resultado final tenemos el complemento DisAsper, el cual posee cuatro secciones de cálculo (diseño agronómico, cálculo hidráulico lateral, tubería principal y bombeo), y uno de ayuda.

Palabras claves: aspersión portátil, diseño agronómico, diseño hidráulico.

ABSTRACT

Since Microsoft Excel® appears at the end of the 80's, obtained a great place in the society and actually it's one of the most useful tools inside and outside the organizations, the objective of this project was the develop of a complement tool, available for Microsoft Excel®, this allows to do the Agronomic and Hydraulic designs in Irrigation systems by portable sprinkler.

The interface was created with the Custom UI Editor tool by Microsoft Office. It allows to install the complement tool In the Microsoft Excel® options window through a computer tab named DisAsper.

DisAsper has 4 calculation sections (Agronomic design, Lateral hydraulic calculation, Main pipe and Pumping), and one else of Help.

Keywords: Portatil sprinkler, Agronomic design, Hydraulic design.

Comentado [DV1]: Agradecimientos va con mayúsculas y minúsculas , tamaño 12, courier new

Comentado [DV2R1]: este parrafo esta con diferente tipo de letra

I. INTRODUCCIÓN

Conforme avanzan los años y surgen nuevos progresos en lo que a tecnología se refiere, es cada vez más habitual ver como muchas profesiones se actualizan y digitalizan. Pese a la antigüedad del sector, la agricultura poco a poco ha adoptado como propias estas innovaciones tecnológicas, hasta el punto de existir herramientas digitales que satisfacen y solucionan las problemáticas agrícolas (Becerra,2010).

Particularmente el desarrollo de herramientas y tecnología en la agricultura tiene como objetivo la incorporación y adopción de tecnologías de riego, las cuales permiten mejorar la eficiencia de aplicación y optimizar el uso de los recursos en las zonas de riego. Esto debido a la problemática sobre el uso responsable y sostenible de los recursos naturales especialmente en el uso del agua (Becerra, 2010).

El correcto diseño de un sistema de riego por aspersión es de gran importancia porque permitirá conocer la capacidad del sistema, así mismo una correcta planificación y cálculo hidráulico favorecen y garantizan la efectividad y eficiencia (Fernández, 2010).

El cálculo de todos estos sistemas se lleva a cabo mediante métodos numéricos, usando formulas y parámetros predefinidos, los cuales al realizarse manualmente pueden presentar errores afectado el resultado final, es por ellos que se vuelve necesario el uso de programas y softwares para garantizar los resultados correctos que conlleven a la solución del problema (Cuscó,2017).

Considerando los aspectos anteriores, la difusión de la computación y del sistema operativo Windows, se facilita la explotación de las tecnologías informáticas. Por tanto, considerando que Windows se ha convertido en el estándar para el

desarrollo de herramientas y aplicaciones automatizadas, es posible desarrollar nuevos softwares que brinden mayores facilidades en el uso de la computación aplicada para la agricultura (Becerra, 2010).

Desde la Aparición de softwares como Microsoft Excel, el cual es propio del ecosistema del sistema operativo Windows, se ha facilitado en gran medida la manera en que se hacen cálculos que impliquen el uso de fórmulas matemáticas, ya que no solo es una herramienta de fácil acceso y prácticamente gratuita, sino que además hoy día el uso de dispositivos computacionales móviles como son los teléfonos celulares, tabletas y laptops se ha popularizado dentro de la población en general (Chaos, 2017).

Por lo anterior, el presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un complemento para Microsoft Excel el cual permita realizar el cálculo hidráulico en sistemas de riego por aspersión portátil.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo **General**

- Desarrollar un complemento de Excel para el cálculo agronómico e hidráulico de sistemas de riego por aspersión portátil.

Comentado [DV3]: 2.1. Objetivo general

2.2 Objetivos **Específicos**

- Crear una interfaz con la herramienta Custom UI Editor For Microsoft Office que permita instalar el complemento dentro de la cinta de opciones de Microsoft Excel® mediante una pestaña denominada Dis Asper.
- Generar un complemento como herramienta para el apoyo en el diseño de riego por aspersión portátil.

Comentado [DV4]: Objetivos especificos

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El riego agrícola en México

La agricultura en general y la agricultura de riego en particular son actividades que han cambiado de modo significativo el paisaje de nuestro planeta y alterado muchos de los delicados ecosistemas que existían antes del aceleramiento del desarrollo humano que ocurre en los últimos 200 a 250 años, periodo por completo insignificante, comparado con la edad estimada de la tierra (Palacios y Escobar, 2016).

Comentado [DV5]: Palacios y Escobar, 2016

En el caso particular de México, el riego es indispensable o necesario en la mayor parte del país, que cuenta con una precipitación pluvial media anual del orden de 772 mm. Sin embargo, y como suele suceder, el agua que se precipita no está distribuida espacialmente de manera homogénea en el territorio nacional; existen amplias regiones con precipitación media anual de menos de 200 mm en el noroeste del país y zonas con más de 3 000 mm en el sureste. También hay amplias fluctuaciones temporales con periodos de estiaje prácticamente sin lluvias y regiones con precipitaciones mensuales del orden de 500 mm. Estas condiciones naturales han propiciado el avance de la irrigación en la medida que el crecimiento poblacional y el desarrollo económico han elevado la demanda de productos agrícolas. Aunque en el país existen regiones donde la agricultura de temporal es exitosa, se estima que en general la agricultura de riego en cultivos como maíz grano, sorgo grano, trigo y frijol es de 2 a 3 veces más productiva que la de temporal. Un dato más revelador de la importancia de la agricultura de riego es que en 2014, el valor total de la producción agrícola se estimaba en \$238559104.00 de los cuales 64% (\$152310412.00) correspondía a la producción bajo riego y tan sólo 36% (\$86 248 692.00) eran de agricultura de temporal. Debe agregarse que la superficie

cosechada de riego ese año fue de 4 119 605 ha, mientras que la superficie cosechada de temporal fue de 10 980 356 ha. Esto explica el acelerado desarrollo que tuvo la irrigación en nuestro país desde la fundación de la Comisión Nacional de Irrigación en 1926 y la creación de la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1947. Las cifras marcan la importancia por cuidar el potencial productivo de las tierras de riego y mejorar la eficiencia en el uso del agua, lo cual permitiría incrementar la superficie de riego y la producción de cultivos, pues el aumento de la población y la urgencia de elevar su poder adquisitivo continuarán extendiendo la demanda de todo tipo de productos agrícolas (Palacios & Escobar, 2016).

3.2 Definición de riego

La palabra riego está tan enraizada en nuestra cultura que incluso el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española lo define con escueto acción y efecto de regar.

Desde el punto de vista de la Agronomía podríamos definir el riego como la operación consistente en aportar agua a un vegetal, añadiendo que el fin de la operación es asegurar la producción u orientar la fisiología de la planta hacia un estado concreto (Zapata, 2020).

3.2.1 Definición del riego por aspersión

El riego por aspersión es un método mediante el cual el agua se aplica sobre la totalidad de la superficie del suelo en forma de lluvia, utilizando para ello una red de riego que permite conducir el agua con la presión adecuada hasta los elementos encargados de aplicarla, los aspersores (Fernández, 2010).

También puede definirse al riego por aspersión como una práctica donde el objetivo del riego es proporcionar agua a los cultivos mediante una especie de precipitación artificial, de

intensidad controlada, para que el proceso de infiltración también sea controlado. Todo para favorecer que la superficie del suelo se mantenga en condiciones óptimas (Tarjuelo, 2005).

Así mismo los sistemas de riegos por aspersión se definen como pequeñas obras civiles y estructuras hidráulicas que permiten la captación, conducción y distribución de agua para beneficiar una zona agrícola explotable, suministrando la cantidad de agua necesaria para el desarrollo exitoso de los cultivos agrícolas, todo esto aplicando riego sobre suelo y cultivos simulando el comportamiento de la lluvia (Sevilla, 2014).

3.2.2 Evapotranspiración

El cultivo consume agua para poder desarrollarse adecuadamente lo que le permitirá obtener altas producciones y calidades. Las necesidades de agua de los cultivos se consideran representadas por la evapotranspiración (ET), que incluye por una parte el agua que los cultivos extraen del suelo a través de las raíces y pasa a la atmósfera a través de las hojas, y por otra la evaporación directa desde el suelo.

Definir la evapotranspiración de referencia (ETr) permite calcular la evapotranspiración de los cultivos (ET), que multiplicada por un coeficiente de cultivo (K) puede servir para estimar la ET de diferentes cultivos (Santos et al., 2010)

Los valores para la evapotranspiración se calculan después de numerosos ensayos sobre los cuales se arrojan distintos valores de ET para distintas etapas de desarrollo del cultivo, así como meses del año. En este caso para el diseño de los sistemas de riego siempre se elegirá el mayor de los valores obtenidos de ET. A este valor máximo de ET se le denomina como evapotranspiración de diseño (ETd). Este valor representa las

necesidades netas de riego máximas, y es la cantidad de agua necesaria para obtener la máxima producción (Fernández *et al.*, 2010).

3.2.3 Sistemas de riego por aspersión semi fijo

Los sistemas de aspersión suelen clasificarse según el grado de movilidad de los diversos componentes que integran el sistema. De esa manera se facilita la comprensión de su funcionamiento y además se ofrece una mejor idea acerca de los costos necesarios e inversiones a realizar (Fernández, 2010).

Los sistemas semifijos suelen tener fija la red de tuberías principales, que normalmente va enterrada, y las tomas o hidrantes, donde se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales de riego pueden llevar directamente acoplados los aspersores o bien ir dotados de mangueras, que desplazan los aspersores sobre patines a una determinada distancia del lateral (30 a 45 m), pudiéndose realizar varias posturas de riego sin necesidad de cambiar la tubería. Existe otra variante en la que todas las tuberías son fijas, desplazándose únicamente los tubos porta aspersores y los aspersores (Tarjuelo, 2005).

3.2.4 Sistemas de riego por aspersión portátil

Los sistemas completamente portátiles se usan en parcelas pequeñas que tiene equipo de bombeo, tuberías de conducción, distribución y regantes de diámetros de 50 a 75 mm, y tramos de tubo con longitudes aproximadas de 3, 6 y 9 m que permiten su transporte inclusive de manera manual. Por lo común, la planta de bombeo está montada en un remolque y se traslada con un tractor (Peña, 2012).

En los sistemas de riego portátiles movidos manualmente el espaciamiento entre aspersores varia de 6 m y 12 m; el

espaciamiento entre posiciones de tuberías regantes varía entre 12 y 18 m (Peña, 2012).

3.3 Beneficios e inconvenientes del riego por aspersión

Como todo sistema que pretende sustituir y mejorar metodologías que le preceden, los sistemas por aspersión cuentan con una serie de beneficios e inconvenientes los cuales lo hacen más o menos apto según el panorama sobre el cual pretenden ser implementados.

3.3.1 Beneficios

Uno de los beneficios más notorios es que los sistemas por aspersión permiten el riego de superficies y terrenos ondulado o poco uniformes sin necesidad de nivelación o preparación previa, al contrario de lo que ocurre con el riego por superficie como es el caso del riego por melgas por menciona un ejemplo (Fernández, 2010).

Se necesita mano de obra menos especializada y en menor número en comparación de los métodos de riego por gravedad o superficie. Al ser sistemas de operación más sencilla ya que solo se limita al manejo de la bomba, el operar válvulas, y en caso de los sistemas semi fijos, el reposicionamiento de los componentes como tuberías y aspersores. Principalmente el costo de mantenimiento de los sistemas se reduce si lo comparamos con el costo de reconstrucción y acondicionamiento de canales que se usan en el riego por gravedad o superficial (Fuentes, 1998; Palacios, 2002).

En el interior de las parcelas no necesita, en general ningún tipo de sistematización, lo que permite que permite una buena mecanización. Únicamente en el caso de sistemas con tuberías en superficie durante el riego dificultaría esta mecanización (Tarjuelo, 2005)

Puede utilizarse en todos los suelos independientemente de la permeabilidad de los mismos, en general cuanto más arenoso es un suelo, mayor es la ventaja de la aspersión con respecto a los riegos por gravedad, ya que se logra un mejor control de la humedad del suelo, en suelos de baja capacidad de retención de agua, pudiendo proporcionar los riegos con intervalos cortos (Pascual, 2008; Coras, 1999).

Es un método que se adapta muy bien a las primeras fases de desarrollo de cultivos, sobre todo durante la germinación de las semillas, donde son necesarios riegos ligeros pero frecuentes. También es un método muy útil para dar riegos de socorro y especialmente eficaz en la lucha contra heladas (Fernández et al, 2010).

En algunas modalidades permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios, así como en la lucha contra las heladas (Tarjuelo, 2005).

3.3.2 Inconvenientes

El principal inconveniente del riego por aspersión es de carácter económico. Dependiendo del tipo de sistema que se implante podrá hacer falta una gran inversión inicial y/o de mantenimiento. A esto hay que añadirle el alto coste energético que supone el funcionamiento de la instalación, al necesitar importantes sistemas de bombeo para dotar a la red de la presión adecuada (Fernández et al., 2010).

Se presentan limitaciones respecto a la calidad del agua, si éstas tienen elevados índices de salinidad disminuye la vida útil de los componentes, como así también al regar con estas aguas se pueden producir quemaduras en el follaje de los cultivos (Sevilla et al., 2014).

El posible efecto de la aspersión sobre plagas y enfermedades, así como las interferencias sobre los tratamientos de sanidad, por el lavado de productos fitosanitarios que protegen la parte aérea del cultivo. Es preciso establecer la programación de riegos adecuada para evitar estas interferencias (Tarjuelo, 2005).

A su vez requiere de un alto nivel de tecnificación en el diseño, instalación y operación del sistema, para lo cual debe considerarse la participación de un profesional competente en la materia. Aunado a eso la dependencia de equipos mecánicos, que están efecto a múltiples fallas, producto del uso forzado e intensivo a que están sometidos durante cortos periodos de tiempo (Miranda, 1984).

Algunos autores señalan inconvenientes como el de consumir más energía que los riegos superficiales; la existencia de perdidas por evaporación cuando las gotas son pequeñas y el ambiente seco, pero esta puede disminuirse regando por la noche; en algunos cultivos puede producir daños, por ejemplo en la floración puede provocar una mala fecundación de la flores, pero eligiendo adecuadamente la fecha del riego no suelen haber problemas; puede apelmazar el suelo formando costra al golpear las gotas sobre la superficie del terreno, pero eligiendo el aspersor adecuado se soluciona el problema. En resumen, las ventajas superan a los inconvenientes, pudiendo obviarse estos últimos con un buen diseño y un adecuado manejo (Pascual, 2008).

Finalmente existe la posibilidad de una mala uniformidad en el reparto de agua por la acción de fuertes vientos (Tarjuelo, 2005).

3.4 Software para el diseño de riego presurizado

Existe una gran demanda de soluciones tecnológicas para problemas en lo que a los sistemas de riego se refiere, la gran mayoría de ellos se encuentran bajo desarrollo y licencia de empresas privadas, así mismo los existen de licencia libre lo cual les permite ser gratuitos y complementados por parte de la comunidad que hace uso de ellos (Santos, 2010).

A continuación, se hace mención de ejemplos de software o programas especializados en la optimización del diseño de sistemas hidráulicos para el riego.

3.4.1 Irrigate Plus

Es un programa desarrollado específicamente para diseñar y calcular sistemas de riego a presión, sin la necesidad de otros programas.

Este programa puede ser utilizado para diseñar distintos sistemas de riego, así como también no solo está limitado al área agrícola, ya que también tiene incorporadas funciones que lo habilitan para el diseño de sistemas como son:

- Aspersión
- Micro-aspersión
- Goteo / cinta de goteo

Estas opciones de diseño lo habilitan para el uso comercial en el sector agrícola, paisajismo, diseño residencial y deportivo.

Además Irrigateplus es un programa basado en Epanet que incorpora, en un único programa, todas las herramientas necesarias para el diseño y el cálculo de sistemas de riego.

(www.irrigateplus.com)

3.4.2 AquaFlow

AquaFlow proporciona a los diseñadores la información que necesitan para diseñar un sistema de microrriego con un rendimiento óptimo. Además, AquaFlow proporciona a los operadores del sistema toda la información que precisan para operar el sistema, aplicando eficientemente la cantidad deseada de agua al cultivo.

AquaFlow también ayuda a diseñar sistemas completos usando los sistemas de goteo Aqua-Traxx, FlowControl y Neptune. El programa AquaFlow también calcula velocidades de purga y tiempos de recorrido por los laterales. El programa permite el dimensionado de tuberías principales y secundarias. El programa AquaFlow incluye unidades de medida tanto métricas como estadounidenses en las pantallas gráficas que muestran perfiles de presión y caudal. Las unidades métricas se especifican en kPa y metros. Las unidades de EE.UU. se especifican en psi y pies.

(<https://www.toro.com/>)

3.4.3 Epanet

Epanet es una aplicación de software utilizada en todo el mundo para modelar sistemas de distribución de agua. Fue desarrollado como una herramienta para comprender el movimiento y el destino de los componentes del agua potable dentro de los sistemas de distribución, y puede usarse para muchos tipos diferentes de aplicaciones en el análisis de sistemas de distribución.

EPANET es un software de dominio público que se puede copiar y distribuir libremente. Es un programa basado en Windows® que funcionará con todas las versiones de Windows.

Con EPANET, los usuarios pueden realizar una simulación de período prolongado del comportamiento hidráulico y de la calidad

del agua dentro de las redes de tuberías presurizadas, que consisten en tuberías, nodos (uniones), bombas, válvulas, tanques de almacenamiento y depósitos.

(<https://www.epa.gov>)

3.4.4 Irri-Express

IRRI-Express ayuda en el diseño de proyectos integrales de riego con pivotes, aspersores y por goteo. Evalúa de antemano alternativas de instalación, examina cualquier terreno, produce un plano topográfico, dibuja los detalles, y aplica el diseño de riego.

Permite a su vez:

- Importar datos directamente desde Google Maps.
- Analizar y ejecutar la hidráulica de todo el sistema.
- Y contiene una herramienta de edición rápida.

(www.senninger.com)

3.4.5 WinSIPP™3

Es un programa gratuito para ayudar a seleccionar los mejores productos de riego mediante la comparación de diferentes diseños de aspersores antes de la instalación. Calcula la tasa de precipitación y la uniformidad de varios modelos de aspersores, presiones de operación, tamaños de boquilla, alturas de aspersores y diferentes espaciamientos para determinar cuál sería el mejor para una instalación específica.

Un programa que ofrece opciones de:

- Densogramas.
- Calculadores de diseño.
- Perfiles de aspersores.

Todo esto con el objetivo de facilitar, comprobar, comparar u asociar los perfiles de las distintas opciones en el mercado que ofrecen soluciones para los sistemas de riego por aspersión.

(www.senninger.com)

3.5 Informática y desarrollo de software

La informática es quizás la disciplina tecnológica más importante en la actualidad. El uso extensivo de los computadores en las últimas décadas es una de las razones para los grandes avances de la ciencia y la tecnología en la actualidad, o causante de grandes cambios sociales como el empleo de internet. La carrera espacial, los avances en la genética o el desarrollo de fármacos modernos no hubieran sido posibles sin el empleo de los computadores (Chaos *et al.*, 2017)

La actividad conocida como programación de computadores consiste en escribir la lista de instrucciones que un computador debe ejecutar. Esta lista de instrucciones ordenada se denomina programa (Llanos, 2010).

El trabajo de elaboración de un programa se denomina programación. Pero la programación no es solo el trabajo de escritura del código, sino todo un conjunto de tareas que se deben cumplir, a fin de que el código o instrucciones que se escribieron resulten correctas y robustas, y cumpla con el objetivo o los objetivos para los que fue creado (Juganaru, 2014).

El programador tiene varias opciones a la hora de escribir un programa. Una de ellas es escribir el programa utilizando directamente instrucciones que se almacenan en la memoria de los computadores, se dice entonces que el programador ha escrito en lenguaje ensamblador (Llanos, 2010).

Para el programador existen más opciones que la programación en lenguaje ensamblador. La alternativa más extendida es la llamada programación de *Alto nivel*, en la que el programador escribe el programa en un lenguaje simbólico que es independiente del conjunto de instrucciones que el procesador es capaz de ejecutar (Llanos, 2010)

Esencialmente los lenguajes de programación tienen como función comunicar a un ordenador un proceso que debe llevarse a cabo en dicho dispositivo, pero también sirve para comunicar entre personas información no ambigua sobre algoritmos matemáticos o procesos reales (Juganaru, 2014).

3.5.1 Ejemplos de lenguaje de programación

Con la necesidad de desarrollar nuevos programas para acciones y tareas más complejas se llegó a la implementación y creación de lo que se conocen como lenguajes de programación de alto nivel los cuales compilan y enlazan programas completos de manera más sencilla y bien estructurada (Rosales, 1999.)

3.5.1.1 Fortran

Es el primer lenguaje de alto nivel con amplia difusión y amplia disponibilidad de compiladores. La motivación de su diseño fue sustituir la programación en ensamblador.

Fue diseñado e implementado entre 1955 y 1957 en IBM, ha tenido amplia difusión y uso, durante muchos años se ha considerado el lenguaje por excelencia para aplicaciones científicas, así mismo ha tenido muchas ampliaciones (García, 2004).

3.5.1.2 Simula

Este es el lenguaje que introduce los conceptos esenciales de la programación orientada a objetos, basado en ANGOL para

todos los conceptos de programación estructurada. Su diseño fue motivado por la necesidad de crear software de simulación.

Fue diseñado e implementado en el centro de computación noruego de Oslo entre 1962 y 1964, por Kristen Nygaard y Ole-Johan Dahl.

Aunque no se ha usado mucho para el desarrollo de software o programas comerciales, sí se usa para comunicar algoritmos y sobre todo cabe resaltar la influencia decisiva en lenguajes como Smalltalk, Eiffel, C++ y Java (Terréense, 1998).

3.5.1.3 Basic y visual basic

El lenguaje BASIC fue inventado en 1964 por John G. Kemeny y Thomas Eugene Kurtz en el Dartmouth College. Fue diseñado para permitir a los estudiantes escribir programas y fue pensado para reducir notablemente la complejidad de los otros lenguajes del momento, el cual permitiría a usuarios no especializados en la informática ser capaces de programar y usar una computadora sin demasiadas complicaciones (Amelot, 2016).

Sin embargo, para finales de la década de 1980 las nuevas computadoras eran mucho más complejas, e incluían características que hacían que a BASIC menos apropiado para programarlas. Al mismo tiempo las computadoras progresaban de ser interés para aficionados a herramientas usadas principalmente para ejecutar aplicaciones escritas por otros, y la programación en sí se fue haciendo menos importante para una creciente mayoría de usuarios; BASIC comenzó a desvanecerse, aunque numerosas versiones aún estaban disponibles (Amelot, 2016).

A partir de 2002, y con la introducción de la plataforma .NET Framework de Microsoft, VB comienza a utilizar el paradigma "orientado a objetos", aumentando la potencia del lenguaje y

haciéndolo multiplataforma. Visual Basic for Applications (VBA) fue añadido a Microsoft Excel 5.0 en 1993 y al resto de la línea de productos de Microsoft Office en 1997. Windows 98 incluyó un intérprete de VBScript. La versión más reciente de Visual Basic es llamada VB.NET. Por otra parte, también existe la variante OpenOffice.org Basic menos poderosa pero similar a VBA de Microsoft («Introducción a .NET Framework», 2021).

3.5.2 Visual basic para aplicaciones (VBA) para Excel

Microsoft Excel es un software para el manejo de hojas electrónicas agrupadas en libros para cálculos de casi cualquier índole. Entre muchas otras aplicaciones, es utilizado en el tratamiento estadísticos de datos, así como para la presentación gráfica de los mismos. La hoja electrónica Excel es ampliamente conocida, en forma generalizada, por profesionales y estudiantes en proceso de formación.

Para científicos e ingenieros, el Excel constituye una herramienta computacional muy poderosa. Pese a que existen programas computacionales sofisticados para la enseñanza y resolución de métodos numéricos, no están tan disponibles como Excel, que usualmente forman parte del paquete básico de software instalado en computadoras que funcionan bajo el sistema operativo Windows de Microsoft.

Una de las características que a su vez hacen a Excel una herramienta tan versátil es la posibilidad de implementar lenguaje de programación dentro del ecosistema del propio Excel (Mora & Espinoza, 2005).

El lenguaje Visual Basic para Aplicaciones (VBA), en el contexto de Excel, constituye una herramienta de programación que nos permite usar código de Visual Basic adaptado para

interactuar con las múltiples facetas de Excel y personalizar las aplicaciones que hagamos en nuestras hojas de cálculo.

Las Unidades de código VBA se llaman Macros. Los macros pueden ser procedimientos de dos tipos:

Funciones (Functions)

Subrutinas (Sub)

Las funciones pueden aceptar tanto argumentos, como constantes, variables o expresiones. Están restringidas a entregar un valor en cada celda de la hoja de cálculo. Las funciones llaman a otras funciones e incluso sub rutinas.

Una subrutina realiza acciones específicas, pero no devuelven ningún valor. Puede aceptar argumentos, como constantes, variables o expresiones y pueden llamar funciones.

Como principio podemos ver que a grandes rasgos la programación inicia como un flujo de datos, algunos en el papel de datos de entrada, otros que cumplen algunos que cumplen alguna función temporal dentro del programa y otros son datos de salida. A lo largo del programa es frecuente que sea necesaria la entrada de acciones de otros programas o procesos. A mayor complejidad del problema que resuelve el programa, mayor la necesidad de programar por partes o segmentos que se especializan en una tarea o conjunto de tareas (Mora & Espinoza, 2005).

Para que este proceso sea llevado por la dirección correcta se hace uso de la programación orientada a objetos. Se diferencia de la programación clásica o estructurada en que las instrucciones hacen referencia a elementos del entorno. Estos elementos representan Objetos; y todos los datos y todas las acciones se hacen con o sobre ellos, están encapsuladas u ocultas en el objeto (Mora & Espinoza, 2005).

Un objeto es una entidad entonces provista de un conjunto de propiedades o atributos (datos), comportamiento o funcionalidad (métodos) y sus posibles relaciones con otros objetos. En la programación por Objetos las propiedades de los objetos son sus características y los métodos constituyen las funcionalidades (Amelot, 2016).

En conjuntos todo lo que se puede hacer en VBA esta relacionado a objetos, la que nos permite hacer modificaciones sobre la programación subyacente a una macro y crear nuestros propios programas. (Amelot, 2016).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Metodología

El proceso para el desarrollo de este complemento constó de tres partes, la primera de ellas fue identificar todos los elementos que son requeridos y que deben ser agregados a nuestro complemento de Excel, para esto fue necesario comprender los componentes y procesos necesarios para el diseño de los sistemas de riego por aspersión portátil.

Una vez definido todo el proceso de diseño, se trabajó con la herramienta Custom UI Editor For Microsoft Office, la cual permite el uso de código VBA para el desarrollo de complementos en Excel, básicamente se nos permite agregar una nueva cinta de opciones a las predeterminadas en Excel.

Finalmente conociendo todo el proceso de diseño de sistemas de riego y ya elaborada la nueva cinta de opciones, se procedió a escribir todo el código de lo que es propiamente el complemento mediante macros, los cuales son las unidades que permiten interactuar con el proceso informático y que son propiamente el nuevo programa.

4.2 Cinta de opciones

La interfaz fue creada con la herramienta gratuita llamada Custom UI Editor For Microsoft Office que permite que un complemento se instale dentro de la cinta de opciones de Excel en una nueva o dentro de las pestañas existente. Primero se creó un libro de Excel con extensión xlam, y sobre dicho documento se generó el código XLM (Extensible Markup Lenguaje), en Custom UI Editor, que contiene las indicaciones para crear una pestaña nueva en Excel, denominada DisAsper, así como las secciones y botones mostrados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Secciones DisAsper

Secciones	Botones	Descripción
Diseño agronómico	Cálculo agronómico	Es un formulario que determina los parámetros de un diseño agronómico para riego por aspersión portátil.
	Selección de aspersores	de Formula que determina el caudal y la intensidad de aplicación del aspersor.
Diseño hidráulico	Cálculo hidráulico lateral	Es un formulario que determina el diámetro ideal de la línea regante o porta aspersores, considerando la ecuación de Manning y el CSM de Christiansen.
	Tubería principal	Determina las pérdidas de carga en tuberías ciegas o simples con el método de carga unitaria.
	Bomba	Formula que determina la

Comentado [DV6]: título no centrado y cuadros no líneas verticales y solo tres horizontales completas, checa las diapositivas de la clase por favor

Ayuda	Acerca de	potencia de un equipo de bombeo. Breve descripción del complemento.
-------	-----------	--

4.3 Código VBA aplicado a Custom UI Editor

Iniciando con el desarrollo de la nueva cinta de opciones primero que nada se crea un nuevo proyecto con Custom UI Editor, dentro del editor iniciamos desde la opción File y continuamos dentro el menú despegable con la opción Open.

Una vez que cargado el archivo se desplegara el código XML que permite editar la nueva cinta de opciones.

Se programaron las funciones y se generaron los distintos formularios mediante el desarrollo de códigos en Visual Basic For Applications (VBA). Las fórmulas, ecuaciones y metodologías para realizar los cálculos que se describen en el cuadro 1 se buscaron en diversas fuentes. Para el diseño agronómico las ecuaciones se tomaron de Martínez (1991) y del manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario, (CONAGUA, 2002). Para la sección de diseño hidráulico se empleó la ecuación propuesta por Becerra, (2010) con la ecuación de Manning para tuberías con salidas múltiples para determinar el número de emisores máximos en una línea regante o distribuidor en función del diámetro.

Para la tubería ciega o principal se calculó con el método de carga unitaria, el cual consiste en seleccionar los diámetros de las tuberías, de manera que no se exceda una cierta pérdida en una longitud determinada. (CONAGUA, 2002).

Con las fórmulas y formularios programados y funcionando, se procedió a asociar cada formulario y formula con su respectivo

botón contenido en la pestaña DisAsper esto se realizó directamente en la hoja en formato .xlam en Microsoft Excel®, usado códigos de Visual Basic For Applications (VBA).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Complemento DA

En la figura 1 se muestra la pestaña de DisAsper dentro de Microsoft Excel®, así como los cuatro módulos de cálculos.

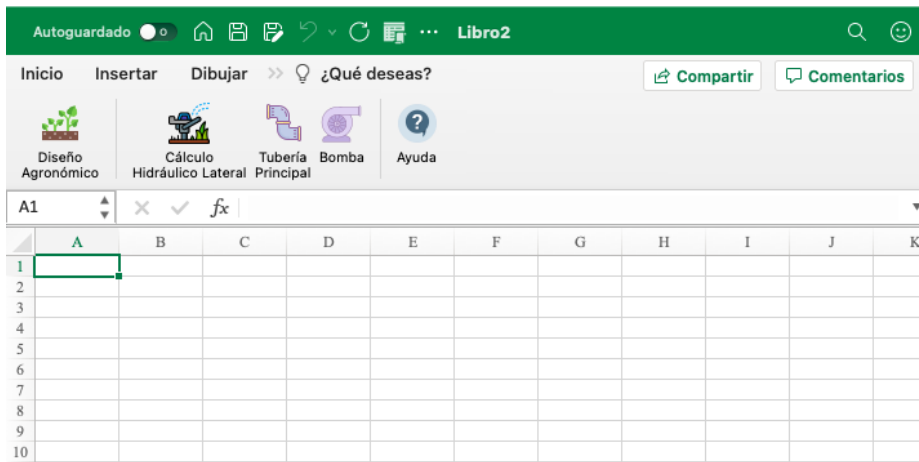


Figura 1. Vista de la pestaña DisAsper en Microsoft Excel.

A diferencia de los demás programas con características afines, este complemento es una adición directa a Excel, por lo tanto no requiere ser instalado al sistema operativo como los clásicos programas ejecutables con terminación .Exe.

Jimenez et al 2019, elaboro una herramienta que facilita y reduce los tiempos en el diseño de sistemas de riego localizado, así como en su reporte de diseño en donde la mayoría de las funciones han sido probadas con diferentes ejemplos dando resultados satisfactorios.

Comentado [DV7]: Los títulos no llevan punto final

Para validar los datos del complemento, se realizó una prueba con datos de un proyecto de riego por aspersión portátil elaborado por una empresa de riego.

5.2 Diseño agronómico

Se introdujeron los datos para determinar los cálculos agronómicos, Figura 2.

The screenshot shows a software window titled 'Diseño Agronómico' with a close button (X) in the top right corner. The window has two tabs: 'Calculo Agronómico' (selected) and 'Selección de Aspersores'. The main content area is divided into two sections: 'Datos de Entrada' and 'Resultados'. Each section contains a grid of input fields and output fields. At the bottom, there are three buttons: 'Calcular', 'Borrar', and 'Exportar Excel'.

Datos de Entrada			
Cultivo:	Alfalfa	Profundidad Radicular (cm):	90
Caudal Disponible (L/s):	25	Factor de Agotamiento Permisible (decimal):	.50
Capacidad de Campo (%):	17.1	Eficiencia de Aplicación de Riego (%):	85
Punto de Marchitez Permanente (%):	6.9	Requerimiento de Riego Diario Maximo (mm/día):	4.85
Densidad Aparente del Suelo (g/cm3):	1.4	Área Total a Regar (Ha):	20
Resultados			
Lámina de Riego Neta (cm):	6.43	Intervalo de Riego Critico (días):	13.25
Lámina Bruta (cm):	7.56	Capacidad de almacenamiento (cm):	12.85

Figura 2. Vista de la pestaña cálculo agronómico

A su vez la implementación de cuadros de texto libres para su edición permite al usuario final mayor libertad para el uso y gestión de datos, al no estar limitados en la mayoría de los

cuadros de texto, se ingresa cualquier dato sin importar que haya concordancia real o no y aun así se obtiene un resultado.

Una vez determinado los parámetros agronómicos se procede a seleccionar el aspersor ideal para abastecer la demanda hídrica del cultivo, Figura 3.

The screenshot shows a software window titled "Diseño Agronómico" with a sub-tab "Selección de Aspersores". The window is divided into two main sections: "Datos de Entrada" and "Resultados".

Datos de Entrada:

- Espaciamiento entre Aspersores (m): 9
- Espaciamiento entre Laterales (m): 18
- Infiltración Básica (cm/h): 1

Resultados:

- Intensidad de Aplicación del Aspersor (cm/h): 0.9
- Gasto del aspersor (l/s): 0.41

Buttons for "Calcular", "Borrar", and "Exportar Excel" are located to the right of the input fields.

Figura 3. Vista de la pestaña selección de aspersores

Como agregado simplificamos la selección del aspersor, como se indica en la literatura podemos calcular este parámetro solamente conociendo el espaciamiento entre aspersores y líneas regantes junto con la infiltración básica, a diferencia de otros programas donde es necesario conocer la marca, presiones de operación y demás parámetros que repercuten en el resultado final, por ende, la interfaz es más amigable para el usuario.

5.3 Diseño hidráulico

Se introdujeron los datos para determinar el diámetro ideal de la línea regante considerando las características del emisor (aspersor), Figura 4.

The screenshot shows a software window titled "Diseño de Línea Regante" with two main sections: "Datos de Entrada" and "Resultados".

Datos de Entrada			
X (Exponente de Descarga del Emisor):	.45	No. de Emisores Propuestos :	9
K (Coef. de Descarga del Emisor) :	6.20	Presión de Operación del Emisor (mca):	20
Gasto del Emisor (L/s):	.43	Altura del Elevador (m) :	1
Separación entre emisores (m):	9	Desnivel entre el 1er y Último Aspersor (m) :	0.1
n (Coef. de Rugosidad Manning) :	0.0089	Sentido del Densivel :	Ascendente
Diámetro de la línea regante (m):	0.0833		

Resultados			
Carga de Operación de la Línea Regante (mca):	26.72	HF Calculada (mca) :	0.22
HF Permisible Línea Regante (mca) :	5.58	Gasto a la Entrada del Lateral (L/s):	3.87
CSM ó F :	0.39	Presión Requerida a la Entrada del Lateral (mca):	21.32
No. de Emisores Calculados :	26.4		

Buttons: **Calcular**, **Borrar**, **Exportar Excel**

Figura 4. Vista de la pestaña diseño de la línea regante

Como agregado de valor en el complemento tenemos los cuadros de texto que determinan el sentido y el valor de la pendiente, valores que generalmente no se toman en cuenta en el diseño de sistemas de riego por aspersión portátil. También se toma en cuenta la altura de los elevadores para una mayor precisión en el diseño.

Una vez que se seleccionó el aspersor y se determinó el diámetro de la línea regante, se determinó el diámetro de la tubería principal, Figura 5.

Datos de Entrada	
Gasto de Proyecto (l/s):	25
Longitud de la Tubería Principal (m):	1232
Diámetro de la Tubería (mm):	160
No. de Líneas en Operación :	6

Resultados	
HF Permissible (m):	28.42
HF Calculada (m):	4.19
Velocidad (m/s):	1.24

Figura 5. Vista de la pestaña diseño de la tubería principal

Para facilitar la interfaz con el usuario limitamos la opción en cuanto los diámetros de tubería que son utilizados en el diseño de los sistemas de riego portátiles. Cabe mencionar que los diámetros corresponden a aquellos diámetros que se encuentran a la venta, para que el diseño sea lo más cercano a la realidad posible, a su vez podemos agregar directamente cuantas líneas regantes se encuentran en operación cuando se arranca el sistema, así evitamos que el usuario agregue manualmente esa carga de trabaja extra al momento de diseñar.

El ultimo cálculo para terminar el diseño del sistema es determinar la potencia del equipo de bombeo, se introduce el caudal disponible, la carga dinámica total y la eficiencia del sistema, Figura 6.

Datos de Entrada	
Nivel Dinámico (m):	20
Desnivel (m):	5
Sentido del Desevel (m):	Negativo
Hf Cabezal de Control (m):	4
Hf Lateral (m):	.22
Hf Conducción (m):	4.19
Hf Succión (m):	.3
Pérdidas Localizadas (m):	2.44
Presión Requerida (m):	20
Gasto o Caudal (lps):	25
Eficiencia de la Bomba (%):	60

Resultados	
Presión o Carga Dinámica Total (m):	41.85
Potencia de bombeo (hp):	22.94

Figura 6. Vista de la pestaña potencia de bombeo

Para DisAsper es importante obtener un resultado lo más cercano a la realidad posible, por ello en la pestaña para datos de entrada podemos observar que se cuenta con cuadros de texto que solicitan información que se pasa por alto al momento calcular la potencia de bombeo, el primero de estos datos de entrada es el nivel dinámico, seguido por la captura del desnivel que se presenta en la planta de bombeo así como el sentido de ese desnivel, por último se solicitan las pérdidas de carga de el cabezal de control, la línea lateral, las líneas de conducción, perdidas localizadas por parte de accesorios y la perdida de carga al momento de la succión.

Al capturar estos valores podemos hacer mucho más fiable el resultado final a comparación del calculo que generalmente se realizan en otros programas.

VI. CONCLUSIÓN

En este trabajo se presentó una herramienta disponible para Microsoft Excel que permite calcular el diseño agronómico, diseño de la línea regante, diseño de la conducción y potencia de bombeo. Es una herramienta que facilita y reduce los tiempos en el diseño de sistemas de riego por aspersión portátil, así como en su reporte de diseño.

Comentado [DV8]: No hay que resaltar, utiliza el mismo tipo y tamaño de letra por favor

VII. LITERATURA CITADA

- Ángeles, H. J. M., Cadena. C. F., Castillo, G. J., Espinosa, M. R., González, C. J. M., Herrera, P. J. C., León, M. B., Montiel, G. M., Moreno, B. E., Ojeda, B. W., Pacheco, H. P., Peña, P. E., Cuadra R. J., Gaytán, A. J., Romo, S. A., Barocio, F. C. y S. Guzmán E. 2002. Manual para la elaboración y revisión de proyectos ejecutivos de sistemas de riego parcelario. CNA. México. 526p.
- Ángeles, M. V. 2002. Redes abiertas de tuberías para riego y presión (trazo, diseño, revisión y análisis). Universidad Autónoma de Chapingo. México. 152p.
- Becerra, G. J. 2010. Modelo "Unirriego" para el diseño de unidades de riego localizado. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, (UAAAN). p.50.
- Chaos G. D., Gómez P. S. R., Letón M. E., Rodrigo S. J. C., Rubio G. M. A. 2017. Introducción a la informática básica. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 1ª ed. Digital. España. 431p.
- Coras, M. P. M. 1999. Riego por aspersión. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 208p.
- Cuscó V. Y., Guardia Y., Áreas R.M. 2017. Simulación del comportamiento en la presión de un sistema de riego por pivote central. Revista Granmense de desarrollo local 3 (1): 249-260.
- FAO. 2018. Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado. Disponible en: <http://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf> (revisado el 20 marzo de 2021)
- Fernández G. R., Oyanarte G. N. A., García B. J. P., Yruela M. M del C., Milla M. M., Ávila A. R. Gavilán Z. P. 2010. Manual de riego

para agricultores, Módulo 3: riego por aspersión. Signatura Ediciones de Andalucía, S L. España. 113 p.

Fuentes, R. C., Quiñonez, P. H., Rendón, P. L., Hernández, S. F. R., Sánchez, B. R., Magaña, S. G., Peña, P. E., Enciso, M. J., Martínez, S. F., Carrillo, G. M., Herrera, P. J. C., Angeles, M. V., Castillo, G. J., Martinez, A. P., Replogle, J. D., Clemmens, A. J., León, M. B., Ruiz, C. V. M., Iñiguez, C. M., Angeles, H. J. M., Sánchez, A. M. y R. E. Arteaga, T. 1997. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. IMTA Y CNA. México. 250 p .

Fuentes, Y. J. L. 1998. Técnicas del riego. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. México. 471 p.

García, C. I. & G. Briones S. 2007. Sistemas de riego por aspersión y goteo. 2ª ed. Trillas. México. 271 p.

García de J. J. & Asís de R. F. 2004. Aprenda Fortran 8.0 como si estuviera en primero. Universidad Politécnica de Madrid. 1ª ed. digital. España. 50p.

Hernández, S. F.R. 1996. Riego por aspersión, departamento de irrigación de la UACH. Universidad Autónoma Chapingo. México. 38p.

IMTA. (Agosto de 2010). Riego por gravedad. Disponible en: <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/indice/publicaciones-nayarit/FOLLETOS%20Y%20MANUALES/FOLLETOS%20IMTA%202009/folleto%20%20RiegoGravedad.pdf> (revisado 18 de diciembre 2020)

Introducción a .NET Framework. 2021. Disponible en: <https://docs.microsoft.com/es-es/dotnet/framework/get-started/> (revisado el 20 de mayo de 2021)

Jimenez, J. S.I., Ramirez, R.C. 2019. Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje. COMEII. Mexico. Disponible en:

<http://www.comeii.com/comeii2019/docs/ponencias/extenso/COMEII-19004.pdf> (revisado el 14 de abril de 2021)

Juganaru M. M. 2014. Introducción a la programación. 1ª ed. Digital. Patria. México. 59 p.

Diccionario el pequeño Larousse Ilustrado. 1999. Lenguajes de programación. Disponible en: <http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/4/informatica 4.pdf> (revisado el 18 de enero de 2021)

León, M. B., y B. D. Robles R. 2007. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. IMTA. México. 320 p.

Llanos F. D. R. 2010. Fundamentos de la Informática y Programación en C. 1ª ed. Paraninfo. España. 392 p.

Universidad politécnica de Valencia. 2014. Manual básico para empezar a trabajar con macros de visual basic para Excel. Disponible en: <http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/macrosVisualBasicParaExcel.pdf> (revisado el 13 de enero de 2021)

Miranda G. J. 1984. Aspectos generales del suministro de agua y de los métodos de su aplicación. 1ª ed. Instituto colombiano de hidrología, meteorología y adecuaciones de tierras. Colombia. 30 p.

Mora F. W., Espinoza B. J. L. 2005. Programación visual basic (VBA) para Excel y análisis de numérico. 1ª ed. digital. Instituto tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. 76 p.

Palacios, V. O., & Escobar, V. B. 2016. La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. Tecnología y ciencias del agua, 7(2), 5-16.

- Palacios, V.E. 2002. ¿Por qué, cuando, cuanto y como regar?: para lograr mejores cosechas. 1ª ed. Trillas. México. pp: 73-108.
- Pascual, E. B. 2008. Riegos de gravedad y a presión. 1ª ed. Alfaomega. México. 370 p .
- Peña, P. E. 2012. Riego por aspersión: enfoques agronómicos, estadístico, hidráulico y económico. 1ª ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 180 p.
- Santos P. L., Juan. V. J. A., Picornell B. M. R., Tarjuelo M-B. J. M. 2010. El riego y sus tecnologías. 1ª ed. Centro Regional de Estudios del Agua CREA Universidad de Castilla. España. 300 p.
- Sevilla G. J.C., Torres M. J. & Aranzamendi R. M. (2014) Operación y mantenimiento del sistema de riego por aspersión en laderas. 1ª ed. Biblioteca Nacional del Perú. 28 p.
- Tarjuelo M-B. J. M . 2005. El riego por aspersión. Centro regional de Estudios del Agua CREA Universidad de Castilla. España. 12 p.
Disponible en:
https://ruralcat.gencat.cat/migracio_resources/633281_tarjuelo.pdf (revisado el 04 de abril de 2021)
- Terréense W. P., Marvin V. Z. 1998. Lenguajes de programación: diseño e implementación. 3ª ed. Prentice-Hall Hispanoamericana. México. 654 p.
- Zapata. S. A. J. 2020. Manual práctico de sistemas de riego. 1ª ed. Mundi-Prensa. España. 256 p.