

**SOFTWARE QUE PERMITE LA MODELACIÓN DE DISTRITOS DE RIEGO A
PEQUEÑA ESCALA**

JONNATHAN EDMUNDO MUÑOZ GUTIERREZ

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERO AGRÓNOMO
SAN JUAN DE PASTO**

2018

**SOFTWARE QUE PERMITE LA MODELACIÓN DE DISTRITOS DE RIEGO A
PEQUEÑA ESCALA**

JONNATHAN EDMUNDO MUÑOZ GUTIERREZ

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de
Ingeniero Agrónomo**

Presidenta de Monografía

M.Sc. DIANA CAROLINA MORALES PABÓN

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERO AGRÓNOMO

SAN JUAN DE PASTO

2018

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2018

RESUMEN

Los sistemas de producción que no aseguren su disponibilidad de riego están expuestos a perder su habilidad para producir; por tanto, no serán sostenibles en el tiempo. Así mismo, los sistemas agrícolas que no aseguren una adecuada oferta continua de productos no serán aptos para competir comercialmente, pues no generan los ingresos necesarios para la supervivencia financiera del productor y por consiguientemente, no pueden perdurar en el tiempo.

ABSTRACT

Los sistemas de producción no se aseguran. Por tanto, no serán sostenibles en el tiempo. Así mismo, los sistemas agrícolas que no aseguran una adecuada oferta continua productos que no son aptos para competir comercialmente, ya que no se trata de los resultados de los resultados financieros.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. JUSTIFICACIÓN	14
2. MARCO TEORICO	16
2.1 El Agua en Colombia	16
2.2 El Riego y su Importancia.....	17
2.2.1 Criterios de selección de los Métodos de Riego	19
2.3 Distritos de Riego.....	19
2.4 EPANET Programa para la Modelación del Recurso Hídrico.....	20
2.4.1 Pasos a seguir para la utilización del programa	21
2.5 Estudio de Prefactibilidad	27
2.6 Estudio de Factibilidad.....	27
2.7 Estudios Básicos de Factibilidad.....	28
2.8 Proceso de Aplicación De Un Modelo.....	32
2.8.1 Definición del estudio	33
2.8.2 Búsqueda de Información	34
2.8.3 Desarrollo del modelo	35
3. OBJETIVOS	36
3.1 Objetivo General	36
3.2 Objetivos específicos.....	36
4. METODOLOGÍA.....	37

4.1 Diagrama de Flujo.....	37
4.2 Estudios Básicos.....	38
4.3 Recolección Básica de Información para la Formulación Del Modelo	38
5. DESARROLLO DEL TEMA DE LA MONOGRAFIA	41
5.1. Descripción de los pasos Necesarios para la Formulación Y Estructuración de un Distrito de Riego A Pequeña Escala por Medio de la Modelación.....	41
5.1.1.Obtención de los estudios de factibilidad básicos.....	41
5.1.2.Delimitación de la zona del proyecto.....	44
5.1.3.Elementos necesarios para el diseño de una red	46
5.1.4.Estructuración del modelo hídrico	57
5.1.5.Infraestructura física de un distrito de riego	58
5.2. Softwares que Ayudan en la Modelación de Distritos De Riego.....	64
5.2.1.Modelo CROPWAP.....	65
5.2.2.EPANET	67
5.2.3.WEAP	72
5.2.4.Modelo Hidrológico SWAT.....	76
5.2.5.HECRAS 5.0.....	78
6. CONCLUSIONES.....	81
7. RECOMEDACIONES.....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los métodos de riego.....	18
Tabla 2. Características de software para la modelación de sistemas hídricos	23
Tabla 3. Softwares para la modelación de estudios de factibilidad	28
Tabla 4. Valores de Ea en climas húmedos.....	49
Tabla 5. Diámetros normalizados para tuberías de PVC	55
Tabla 6. Datos básicos para modelar en WEAP.....	74

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama metodológico recolección de información y elección de software.	22
Figura 2. Diagrama de recolección de información del proyecto	24
Figura 3. Pasos y esquema de la simulación	25
Figura 4. Diagrama de flujo de la obtención de la formulación de un distrito de riego a pequeña escala.....	37
Figura 5. Desarrollo de un cultivo dependiendo la uniformidad de riego	58
Figura 6. Esquema de un distrito de riego a pequeña escala.....	59
Figura 7. Esquema de una obra de captación.	60
Figura 8. Estructura básica de un desarenador	40
Figura 9. Ejemplo de línea de conducción	41
Figura 10. Ejemplo tanque de almacenamiento	54
Figura 11. Modelo HEC-RAS.....	76

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el agua es la clave por su diversidad de usos, para el consumo directo por parte del hombre, los animales y las plantas; la agricultura, la industria, el transporte y la energía. El acceso seguro a ella contribuye a un mayor bienestar y a una seguridad alimentaria, mientras que un inadecuado manejo puede crear pobreza y perpetuarla (MORGER, C. 2006.).

Por lo que se considera que la producción de alimentos requiere enormes cantidades de agua, en promedio, se necesitan 3.500 litros de agua para producir los alimentos que requiere diariamente una persona, mientras que el mínimo recomendado para uso doméstico es de 50 litros diarios por persona. Los requerimientos de agua para la producción de alimentos varían según el clima; en las zonas de clima cálido, seco o ventoso se requiere más agua para obtener el mismo volumen de producción (MORGER, C. 2006.).

A nivel mundial el área regada corresponde al 16% de la superficie agrícola explotable, sin embargo, dichas áreas producen el 40% de los alimentos. En este sentido Colombia cuenta con 6.600.000 hectáreas para la explotación de las cuales el 14 % se encuentran bajo regadío generando el 11% del PIB (RESTREPO, 2010).

Colombia se ha destacado por ser un país rico en recursos hídricos, valles bajos muy fértiles, laderas montañosas y altiplanos fríos propios de cada sector; lo cual ha permitido que se genere un ambiente propicio para la siembra de una alta variedad de cultivos, convirtiéndose en un país agrícola de gran importancia. Un porcentaje considerable de las actividades agrícolas es desarrollado principalmente por familias campesinas en las zonas rurales y peri-urbanas, siendo su principal fuente de sustento (AGUDELO, L., & PINO, V. 2012).

De tal manera, se considera que la eficiencia del agua tiene un concepto complicado, ya que todos los usos no son directamente productivos a nivel de programa y de campo suelen ser considerados como pérdidas. Sin embargo, una parte del agua que se “pierde” en la producción agrícola vuelve a estar disponible para su reutilización río abajo, así como las “pérdidas” por percolación profunda recargan las napas subterráneas con agua que puede volver a utilizarse (MORGER, C. 2006).

Por lo que se considera que la utilización del recurso hídrico para riegos de pequeña escala se ven altamente óptimos para la producción de cultivos agrícolas por lo cual se propone la creación de distritos de riego a pequeña escala para zonas rurales que se benefician directamente de pequeñas corrientes de agua, por lo que en el siguiente informe se describen como implementar distritos de riego a pequeña escala y como realizar sus modelaciones con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico para disminuir las perdidas y con la aplicación de buenos sistemas de riego mediante la utilización de programas para su mejor funcionamiento y su mejor aplicabilidad.

Un distrito de riego se denomina a aquel donde la extensión total no supera las 500 ha, además tienen características relacionadas con la concentración de pequeños y medianos productores. Así, el área en poder de pequeños productores debe ser al menos el 51% del total y el número de estos equivalentes como mínimo al 75% de los agricultores en un distrito de pequeña escala el número de usuarios debe ser igual o mayor a 20.

En general como en otro tipo de obras de adecuación de tierras para riego, el distrito a pequeña escala puede tener como fuente hídrica un cauce superficial, un embalse o agua subterránea, que en conjunto con las áreas de captación y otros elementos físicos se encuentran dentro de una micro cuenta hidrográfica

La infraestructura de un distrito de pequeña escala está integrada por obras de captación, conducción, distribución y aplicación de riego a nivel predial (CORPOICA. 1999).

Para la formulación de dichos distritos de riego a pequeña escala, se han establecido bastantes herramientas que benefician la construcción y su utilización con la mayor exactitud posible, por medio de estos modelos. Obviamente, el análisis y uso adecuado de los modelos en la agricultura están jugando un rol central en el desarrollo de sistemas nuevos para manejar los cultivos agrícolas, riegos y drenaje como más importantes entre otros. Pero aún más, el rápido desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones tendrá un efecto principal en la forma moderna de manejo preventivo de dichos sistemas agrícolas (GALVEZ, G. et al. 2010).

Estos sistemas facilitan el tratamiento de la información hidrológica gracias a que incluyen procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación y presentación de datos georreferenciados. Con ayuda de los SIG la modelación hidrológica acelera su desarrollo y aplicación permitiendo actuar a modo de plataforma para la experimentación rápida de nuevas ideas y conceptos, a la vez que sus resultados pueden ser incorporados al proceso de toma de decisiones y en la ordenación del territorio (ESTRADA, V. 2012).

De lo anteriormente descrito el siguiente documento tiene como objeto brindar una breve información sobre el software que permite la modelación de una manera más sencilla y clara

1. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de abastecimiento de agua en el país se han distinguido por ser de carácter sectorial, entre estos están los sistemas de acueductos de agua potable y los sistemas de irrigación los cuales se implementan según la necesidad de la población. Sin embargo, se ha desarrollado una problemática en algunas zonas rurales y peri-urbanas que poseen sistemas de acueducto, pero no cuentan con la infraestructura de un distrito de riego a pequeña escala para ejercer sus actividades agrícolas (AGUDELO, L., & PINO, V. 2012); por lo cual estas zonas no cuentan con una implementación clara del uso adecuado del agua como fuente de riego. Presentándose como una gran problemática en las regiones rurales por la falta de estructuras especializadas para el manejo del riego como redes hídricas bien estructuradas, acueductos de manejo del agua entre otras. Para obtener un buen funcionamiento de la irrigación en los cultivos.

Los sistemas de producción que no aseguren su disponibilidad de riego están expuestos a perder su habilidad para producir; por tanto, no serán sostenibles en el tiempo. Así mismo, los sistemas agrícolas que no aseguren una adecuada oferta continua de productos no serán aptos para competir comercialmente, pues no generan los ingresos necesarios para la supervivencia financiera del productor y por consiguientemente, no pueden perdurar en el tiempo. (CODESIA LTDA. 2006) De esta manera el inadecuado uso del recurso hídrico representa una problemática muy marcada ya que la población rural tiene como principal fuente de ingresos sus cultivos, por lo que se considera que la mala utilización del agua y la poca información de los sistemas de manejo del riego no están presentes en la población. Observando que los pequeños agricultores de la región no cuentan con una adecuada utilización del agua.

Hacer un uso más eficiente es posible con la realización de un diseño óptimo de los sistemas de riego , ya que de esta manera se puede determinar el comportamiento del fluido a lo largo de la zona de riego; el diseño se puede mejorar con la ayuda de softwares especializados, puesto que permiten hacer un análisis detallado de toda la red, haciendo posible revisar parámetros como la presión, velocidad entre otros, y además permite hacer una representación de la topografía del terreno sobre el cual reposa el sistema hídrico o los canales de riego . (NARVAEZ, D. 2016.)

Sin embargo, diseñar sistemas que cumplan con los requisitos exigidos por la demanda y la normatividad resulta en algunos casos una tarea de magnitud épica; por lo tanto, en la actualidad con la gran diversidad de programas y herramientas de diseño denominadas para nuestro campo de estudio modelos matemáticos o modelación, por lo que se ve facilitada la implementación de nuevos proyectos con la finalidad de facilitar los procesos tediosos y extenuantes en la agricultura, especialmente en la aplicación de riegos con precisión ya que este método en la actualidad es ambiguo ya que el desconocimiento de la información es amplio para las zonas rurales y sus habitantes. Por lo que la principal problemática en la actualidad es el desconocimiento y la mala utilización del recurso hídrico en las zonas rurales para mejorar los sectores agrícolas de pequeña explotación.

Por tal motivo en este documento pretende brindar una breve información sobre el software que permite la modelación de una manera más sencilla y clara. Haciendo uso de la información que se pueda extraer se desea realizar un informe que ayude a los agricultores a tener un desarrollo sostenible por medio de una buena irrigación y la buena utilización de las fuentes de agua para así permitirles mejorar su calidad de vida.

2. MARCO TEORICO

2.1 El Agua en Colombia

Debido a su ubicación geográfica y a sus condiciones de relieve, Colombia tiene una precipitación media anual de 3.000 mm, que representa una riqueza importante de recursos hídricos, cuando es comparada con el promedio mundial de precipitación anual, equivalente a 900 mm y con el promedio anual de Suramérica, del orden de los 1.600 mm. En términos del caudal específico de escorrentía superficial Colombia presenta un caudal de 58 l/s/km^2 , tres veces mayor que el promedio sudamericano (21 l/s/km^2) y seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio a nivel mundial (10 l/s/km^2).

Del volumen de precipitación anual, un 61% se convierte en escorrentía superficial, generando un caudal medio de $66.344 \text{ m}^3/\text{seg}$, equivalente a un volumen anual de 2.113 km^3 que fluye por las cinco vertientes hidrográficas que caracterizan el territorio nacional continental, distribuida así: Amazonia: $22.185 \text{ m}^3/\text{s}$, Orinoquia: $21.399 \text{ m}^3/\text{s}$, Caribe: $15.430 \text{ m}^3/\text{s}$, Pacífico: $6.903 \text{ m}^2/\text{s}$, Catatumbo: $427 \text{ m}^3/\text{s}$

La vertiente del Pacífico es la zona con mayor rendimiento hídrico, con valores promedios superiores a los 100 l/s/km^2 . La cuenca Magdalena - Cauca, donde reside aproximadamente el 70% de la población del país y se concentra la mayor parte de la actividad socioeconómica, cuenta únicamente con un rendimiento promedio de 27 l/s/km^2 . La Orinoquia presenta un rendimiento promedio 34% mayor que el de la cuenca Magdalena - Cauca, con variaciones marcadas entre 2 l/s/km^2 y 70 l/s/km^2 . La Amazonia no presenta variaciones marcadas, con un promedio de 65 l/s/km^2 .

La oferta hídrica de escorrentía superficial per cápita total de Colombia es de 59.000 m³/hab/año; sin embargo, la oferta per cápita accesible anual, bajo condiciones naturales, es de 12.000 m³/hab/año (Ministerio del Medio Ambiente, 1996). La oferta hídrica per cápita total es el volumen de agua anual disponible por individuo y se obtiene de dividir el volumen total de agua dulce superficial anual disponible por el tamaño de la población. La oferta hídrica per cápita accesible, en condiciones naturales, es el volumen anual disponible por individuo y equivale aproximadamente al 20% de la oferta per cápita total, para un total estimado de 500 km³ al año. (OJEDA, E. 2000).

2.2 El Riego y su Importancia

Para el manejo adecuado del riego, se debería tener en cuenta la repuesta a las siguientes preguntas; cuando, cuanto y como regar. Y de esta manera la respuesta dependerá del grado del conocimiento de los procesos ligados a la transferencia hídrica en la zona de enraizamiento del cultivo regado entre las plantas, el suelo y la atmosfera.

El cultivo es el objetivo de interés, por lo que las manifestaciones fisiológicas de las plantas debidas al déficit hídrico se pueden tomar como indicadores para el riego, u otros actores como la capacidad del suelo de absorción de agua, o factores atmosférico entre otros, estas variables observadas permiten optimizar la decisión relativa a la oportunidad del riego, el manejo del riego deberá entenderse como la combinación optima entre las necesidades hídricas del cultivo, las características del suelo, tanto como medio de transporte como de almacenamiento de agua. Por lo tanto, el conocimiento de lo que sucede al agua en el suelo es importante en la gestión del riego (PEREIRA, L. 2010).

Una de las preguntas que se mencionaron anteriormente que se realizan todos los agricultores es el cómo regar sus cultivos, pero por falta de información o práctica en los métodos de riego. Los agricultores se ven confundidos que método utilizar, si existen varios métodos o formas de realizar el riego, pero la pregunta que se formulan a continuación es que método utilizar, esto principalmente depende del tipo de suelo, de los cultivos, la cantidad de agua, la mano de obra disponible, y el costo de cada método.

Por lo cual, los diferentes agentes pertinentes deben disponer de la información básica necesaria para conducir adecuadamente la aplicación del agua de riego, con el fin de alcanzar una alta eficiencia y prevenir los problemas de drenaje y salinización derivados del mal uso del agua. Así mismo deben tener muy presente los criterios establecidos por las entidades gubernamentales, ambientales, entre otras (ARANGO, J. 2002).

Por lo tanto, los métodos que se encuentra generalmente se los relaciona en la tabla 1.

Tabla 1.

Clasificación de los métodos de riego

Fuente de energía	Tipo de riego	Método
Métodos gravitacionales	Tendido mejorado	
	Surcos	Surcos rectos
		Surcos en contorno
		Surcos tanqueados
		Surcos en zigzag
Bordes o platabandas		
Métodos presurizados	Aspersión	
	Localización	Goteo
		Micro aspersión
		Cintas

(Fuente: INOSTROZA, J. MENDEZ, P. 2009)

2.2.1 Criterios de selección de los Métodos de Riego

La aplicación de agua de riego a cualquier cultivo tiene que considerar varios factores relacionados con la disponibilidad de agua, así como con la demanda de agua y las necesidades del cultivo. La disponibilidad está relacionada con la cantidad y la frecuencia de la lluvia, la cantidad de agua que es accesible para riego y finalmente con la cantidad de agua disponible almacenada en el suelo (LASCANO, R. MUNEVAR, F. 2000).

Se debe destacar que no existe un método de riego ideal, ni tampoco se puede señalar que un método es mejor que otro si no se especifican otras variables como: cultivo a regar, características topográficas y del suelo, abastecimiento de agua (cantidad y calidad) y finalmente aspectos económicos. Es decir, cada método de riego tiene sus condiciones particulares de operación y manejo. Cabe destacar que se puede diseñar un sistema de riego con una alta eficiencia, pero si se cambian las condiciones de operación y normas de manejo, se puede convertir en un método altamente ineficiente, que puede llegar a no justificar la inversión en la tecnificación del sistema de riego. Por ello, para seleccionar un método de riego, se debe tener en cuenta aspectos técnicos (cultivo, suelo, agua), recursos humanos y aspectos económicos (INOSTROZA, J. MENDEZ, P. 2009).

2.3 Distritos de Riego

Un distrito de riego a pequeña escala es una infraestructura física conformada por pequeñas obras de ingeniería, que son utilizadas para dotar con riego superficies que no excedan las 500 ha, ubicadas en áreas urbanas y peri-urbanas de escasos recursos económicos donde predominan las actividades productivas a pequeña escala (PRADA, J.A. & PARRA, D.F. 2005); además de

ser una infraestructura organizacional que por medio de la administración, operación y mantenimiento, se encarga del manejo del flujo de agua a través de una red de riego y drenaje.

Ambas infraestructuras forman un sistema sostenible de abastecimiento de agua para las actividades agrícolas, que involucran tres elementos importantes: Comunidad, Ambiente y Ciencia & Tecnología. La Comunidad representa los diferentes grupos de interés en el sector del riego y el drenaje, en el cual los agricultores son los principales beneficiarios y a los que se les dirige las capacitaciones.

El Ambiente provee los recursos naturales, que se deben conservar y dar un manejo adecuado a las cuencas abastecedoras. La Ciencia y la Tecnología representan el conocimiento científico, la transferencia de tecnología, la asistencia técnica, los métodos y las herramientas que pueden ser usadas por la comunidad para intervenir el ambiente natural y dar a los usuarios los beneficios esperados. Estos elementos se desarrollan durante la vida útil del sistema de acuerdo a las especificaciones establecidas sin causar daño al ambiente (URRUTIA, 2006). El objetivo general de un distrito de riego a pequeña escala es evitar o reducir las pérdidas totales o parciales de las cosechas, ocasionadas por lluvias insuficientes o por heladas, proporcionar la diversificación de cultivos, elevar los rendimientos y los precios de venta del productor (PRADA, J.A. & PARRA, D.F. 2005).

2.4 EPANET Programa para la Modelación del Recurso Hídrico

Las redes de distribución de agua son sistemas complejos cuyo modo de funcionamiento escapa muchas veces al control de los operadores. El desarrollo no planificado de la red, unido al comportamiento altamente no lineal de sus componentes, obligan hoy en día a utilizar modelos de simulación por ordenador para poder justificar y anticipar aquellos resultados que el razonamiento ya no intuye. Si a ello añadimos la creciente preocupación por garantizar la calidad

del agua cuando llega al abonado, la necesidad de recurrir a los modelos queda fuera de toda duda. Afortunadamente, se dispone hoy en día de herramientas de libre acceso como EPANET que pueden ayudarnos enormemente en esta tarea (MARTINEZ, F. 2003).

La ingeniería de las últimas décadas ha visto la irrupción de numerosos paquetes informáticos destinados a facilitar el diseño y el cálculo de sistemas físicos. Las redes de distribución de agua a presión, cuyo análisis hace algunos años se comportaban como complejos y tediosos cálculos, también se han beneficiado de ello. Con el objetivo de solucionar este problema, la USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), organización creada en 1970 en EE.UU. y encargada de velar por los recursos naturales del país, ha desarrollado un potente software informático ampliamente conocido en la actualidad: EPANET.

Este programa de dominio público permite calcular complejas redes de abastecimiento y regadío, desde un punto de vista hidráulico y de calidad, ofreciendo una rápida capacidad de reacción, así como una previsión del comportamiento del sistema de ayuda en la toma de decisiones. El programa, pionero en este tipo de cálculos y tomado como ejemplo, se caracteriza por su elevado nivel de fiabilidad, debido a que con su uso continuado desde su creación hace una década, ha podido depurar muchos de los errores iniciales, corregidos en cada nueva versión. Similares a EPANET, en el ámbito privado, destacan RAWIN, Hidro-NET y ABAST (GARCIA, M. 2006).

2.4.1 Pasos a seguir para la utilización del programa

- ***Recolección de la información teórica y elección software.***

Con esta fase se pretende recolectar toda la información teórica relacionada con este tipo de proyecto y principalmente información sobre software especializado que permita la simulación de un distrito de riego por aspersión.

Los pasos realizados en esta fase se ilustran en la Figura 1, a manera de diagrama, el cual presenta las actividades que permiten recolectar toda la información pertinente.

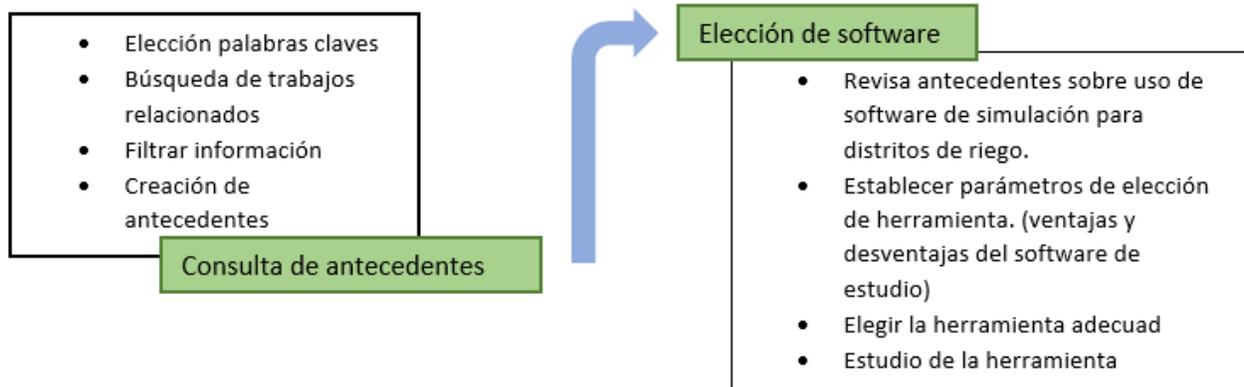


Figura 1. Diagrama metodológico recolección de información y elección de software.

Fuente. NARVAEZ, D. (2016)

Para la consulta de los antecedentes se debe tener en cuenta que lo datos pueden ser recolectados directamente en campo, con ayuda de la población de estudio y revisiones bibliográficas de la misma. Estos antecedentes deben ir acompañados de estudios previos elaborados en la región y así determinar los siguientes pasos a seguir para el establecimiento de un distrito de riego a pequeña escala.

A continuación, se mencionarán algunos tipos de software para el establecimiento de los parámetros que se tendrán y la herramienta con la cual se procederá a realizar el estudio para la modelación de un distrito de riego a pequeña escala. Se mencionará algunos del software con sus características en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Características de software para la modelación de sistemas hídricos

SOFTWARE	FINALIDAD	TIPO DE LICENCIA
EPANET	Simulaciones en periodo extendido de comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión	Libre
GESTAR	Redes de distribución colectivas y sistemas de aplicación del riego en parcela	Necesita licencia para proyectos extensos
WCADI	Diseño hidráulico, dimensiona y optimiza tuberías principales y secundarias en redes abiertas o cerradas	Presenta restricciones
IRRICAD	Sistemas de riego o de abastecimiento de agua a presión	Comercial
WaterCad	Es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión	Comercial

Fuente. NARVAEZ, D. (2016)

- ***Recolección de información del proyecto.* (NARVAEZ, D. 2016)**

Esta fase busca conocer directamente el proyecto y recolectar la información relativa al proyecto, para ello se desarrollarán las siguientes actividades. En la Figura 2 se muestra el diagrama de esta fase.

1. Hacer contacto con el contratista de la obra y la asociación para solicitar: estudios preliminares, concesión de aguas, aspectos productivos de la zona, caracterización geológica, estudios hidrológicos y climáticos, información existente sobre topografía incluyendo planos, descripción del sistema de riego existente entre otros.
2. Realizar un recorrido desde la fuente de abastecimiento hasta el usuario observando los componentes más importantes del sistema (bocatoma, desarenador, cámaras de quiebre).

3. Verificar con el usuario los tiempos de uso y el tipo de aspersión utilizada. o Verificación de ser necesario presiones en el sistema con ayuda de manómetros.

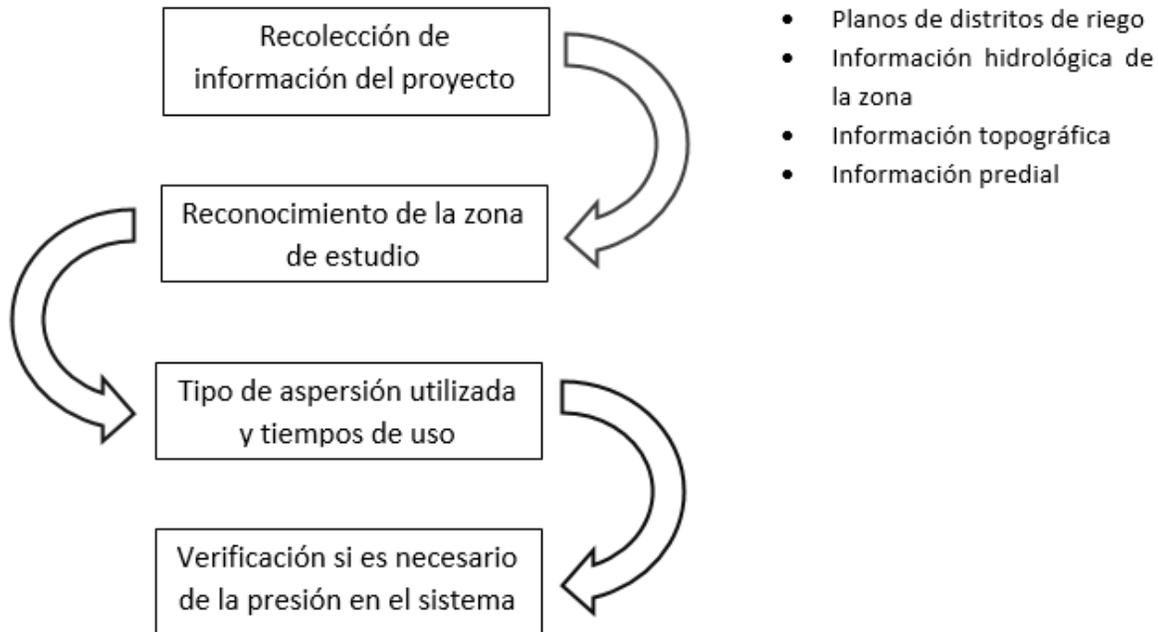


Figura 2. Diagrama de recolección de información del proyecto

Fuente. Este estudio

Con lo anterior se determina la información básica que se debe tener en cuenta para la utilización del programa para la formulación del modelo para así poder realizar la estructura del distrito de riego y la capacidad que este puede alcanzar para la distribución del recurso hídrico, además de la información básica que se introduzca al programa o software permitirá tener más exactitud o menor. Por ultimo entre más información se pueda incluir al software la elaboración del modelo será más exacto.

- **Simulación**

Para la descripción de este paso se debe tener en cuenta que este paso permite tener ya un esquema planteado del distrito de riego en el cual solo representaría la funcionalidad, la estructura y los materiales necesarios para la construcción del sistema hídrico. Este paso permite observar la red hídrica ya establecida en la zona de estudio. A continuación, se observa los pasos que se siguen en esta etapa. Ver figura 3.

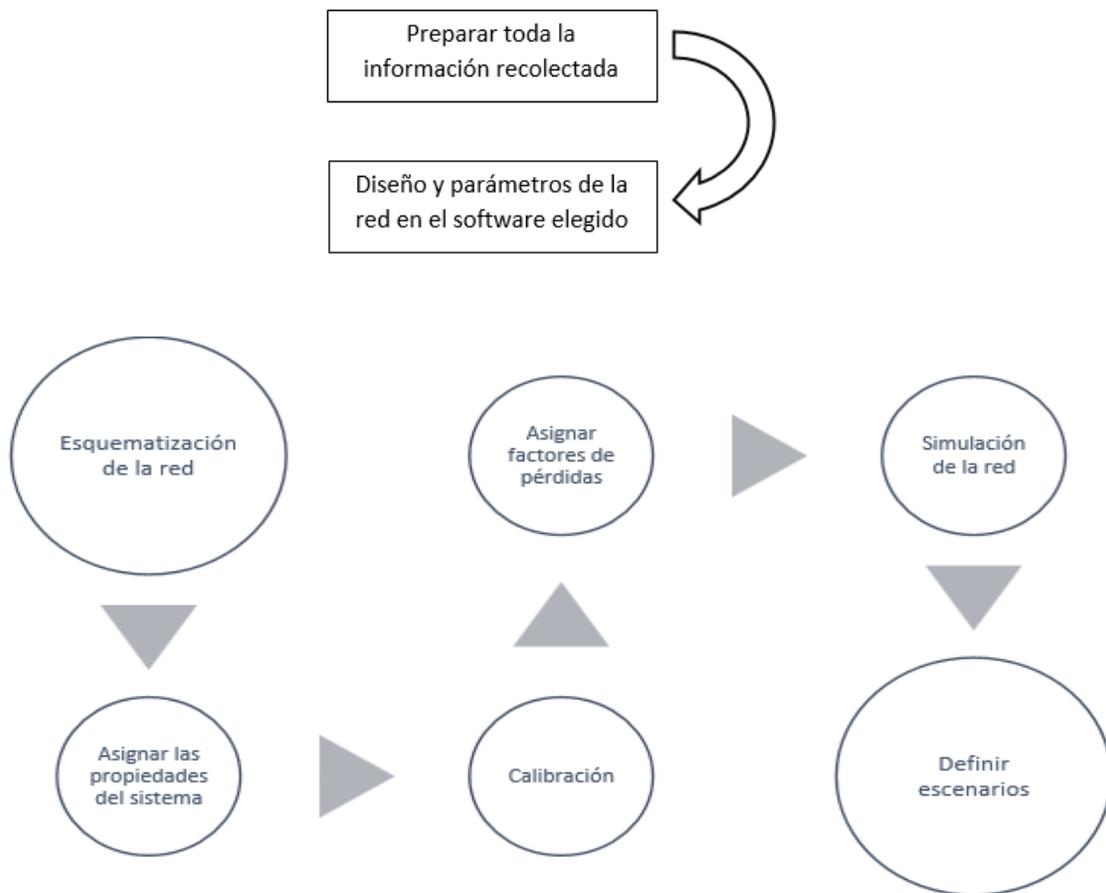


Figura 3. Pasos y esquema de la simulación

Fuente. Este estudio

En esta etapa se introduce toda la información anteriormente recolectada con el fin de asegurar la eficiencia del software además de los parámetros que se deben tener en cuenta para la formulación de la red hídrica tanto en su diseño como su funcionalidad.

- ***Verificación y corrección***

En términos estrictos, la verificación y la validación de los modelos de los sistemas naturales es imposible. Esto se debe a que los sistemas naturales son abiertos y los modelos se enfocan a un pequeño subconjunto de los muchos procesos que pueden estar desarrollándose en ellos. Para ello los modelos se basan en supuestos y en “ideales” que ayudan en la construcción de las teorías. En todo caso, los modelos se pueden confirmar mediante la demostración de que existe concordancia entre las observaciones y la predicción, pero ésta confirmación es inherentemente parcial.

La verificación de un modelo es la demostración de que el formalismo del modelo es correcto, o sea que, los códigos del programa de cómputo o las matemáticas son mecánicamente correctos. La calibración es la estimación y ajuste de los parámetros del modelo y de las constantes para mejorar la concordancia entre la salida del modelo y un conjunto de datos. Para probar un modelo hay que generar predicciones y contrastarlas con un conjunto de datos. La validación es una demostración que un modelo dentro de su dominio de aplicabilidad posee un intervalo de confianza consistente con la aplicación que se intenta dar al modelo. Esta demostración indica que el modelo es aceptable para su uso, más no que sea la verdad absoluta o que sea el mejor modelo disponible. La validación involucra una comparación de datos simulados, con datos obtenidos por observación y medidas del sistema real (PEREZ, O. et al. 2006)

En este paso con la verificación de los datos que se han introducido al software se comprueba si el modelo se acerca a la realidad mediante pruebas empíricas o datos recolectados directos de la zona de estudio, de esta manera se calibra el modelo acercando los datos a la realidad como se mencionó anteriormente el modelo debe llevarse a la realidad y no al contrario y de esta manera resolver los problemas y realizar predicciones a futuro del distrito de riego y solucionar cualquier inconveniente con el tiempo.

2.5 Estudio de Prefactibilidad

Para comenzar se debe incluir en el estudio los aspectos generales del entorno socio económico, análisis de mercado identificando las principales variables que afectan su comportamiento, definiendo en principio alternativas de tamaño y localización con todas las restricciones que puedan incidir; seleccionando un modelo técnico adecuado; diseñando una organización para las etapas de instalación y operación; determinando las inversiones, costos y utilidades; y finalmente aplicando criterios de rentabilidad financiera, económica, social y ambiental según el caso.

El estudio de prefactibilidad conduce a definir una única alternativa que será estudiada si se considera necesario, con mayor rigor en el nivel de factibilidad.

2.6 Estudio de Factibilidad.

Cuando existen dudas en torno a la viabilidad del proyecto en algunos de sus aspectos fundamentales, se procede a depurar la información que permita otorgar mejores y más confiables soportes a los indicadores de evaluación.

El estudio de factibilidad debe conducir a:

- Identificación plena del proyecto a través de los estudios de mercado, tamaño, localización y tecnología apropiada
- Diseño del modelo administrativo adecuado para cada etapa del proyecto
- Estimación del nivel de las inversiones necesarias y su cronología, lo mismo que los costos de operación y el cálculo de los ingresos.
- Identificación plena de fuentes de financiación y la regulación de compromisos de participación en el proyecto.
- Definición de términos de contratación y pliegos de licitación de obras para adquisición de equipos.
- Sometimiento del proyecto si es necesario a las respectivas autoridades de planeación.
- Aplicación de criterios de evaluación tanto financiera como económica, social y ambiental, que permita llegar a argumentos para la decisión de realización del proyecto.

(CASTRO, C. SANCHEZ, M. 2006)

2.7 Estudios Básicos de Factibilidad

Cartografía Se obtendrá la cartografía disponible en fuentes secundarias como informes o estudios del municipio correspondiente, así como las entidades territoriales locales y/o autoridades ambientales competentes y otros organismos públicos que posean información cartográfica de la zona de posible intervención y circundante, incluyendo las cuencas abastecedoras para suministro de agua y receptora de drenaje del área de posible intervención.

En la cartografía recopilada se deberá localizar e identificar como mínimo:

- Las unidades territoriales presentes en la posible área de intervención y la jurisdicción municipal.
- La localización del proyecto, con identificación del departamento, municipio, vereda. La definición del tipo de proyecto: riego, drenaje, protección contra inundaciones.
- Delimitar en forma aproximada el área de posible intervención y en lo posible con la identificación de los predios beneficiados.
- Fuente de agua identificando todo lo relacionado con la cuenca abastecedora.
- Áreas de restricción ambiental extraídas de planes de ordenamiento ambiental y territorial. Se deberá establecer si existe traslape de las áreas de restricción con el área de posible intervención del proyecto.

Agrología Se deberán analizar la información existente, en especial el Estudio General de Suelos los que hayan de mayor escala y detalle para la zona de posible intervención., de ser posible, determinar las limitaciones y/o aptitud de los suelos para los cultivos propios de la región, clasificando los suelos por su capacidad de uso y manejo y determinando las áreas para las cuales es aconsejable adelantar obras de adecuación de tierras (riego y/o drenaje y/o protección contra inundaciones). También se podrán consultar estudios agrológicos existentes sobre la región donde se ubica el área potencialmente beneficiada por el proyecto, y, de ser posible, determinar las limitaciones y/o aptitud de los suelos para los cultivos propios de la región, identificando las unidades de suelos y sus características principales.

- Descripción de los estudios existentes, su nivel de detalle y las necesidades de complementación.
- Identificación y delimitación de las principales unidades de suelos.
- Características de los suelos de cada unidad

- Nombre, código y tamaño de las unidades de capacidad en el área de posible intervención.
- Mapas existentes de suelos, con la identificación de unidades y localización de los lugares de colección de los perfiles modales.
- Aptitud y uso de los suelos, sus limitaciones y el uso potencial con proyecto.
- Conclusiones que permitan determinar las áreas adecuables y las no adecuables, describiendo los sistemas requeridos de adecuación de acuerdo con los tipos de explotación propios de la zona.

Geología Se deberán analizar los diferentes estudios geológicos existentes sobre la región donde se ubica el área de interés, especialmente los realizados por el Servicio Geológico Colombiano. Se establecerá la composición mineralógica de los cuerpos rocosos, identificando las áreas en proceso de meteorización y erosión, así como las laderas inestables, estableciendo las principales causas de estas situaciones.

Climatología y Meteorología Se obtendrá información climatológica y meteorológica disponible en fuentes secundarias correspondientes, así como las entidades territoriales locales como las secretarías municipales, de las estaciones más cercanas a la zona de estudio, cubriendo precipitación, temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, brillo solar y evaporación y con base en ésta información se adelantará la caracterización climatológica de la zona del proyecto. Debido a los efectos de la variabilidad climática y el cambio climático. Se evaluarán los valores extremos para los periodos de estudio, así como la duración de los fenómenos del Niño y la Niña. Se deberá analizar la influencia de estas condiciones en la evaluación de la disponibilidad de agua en las fuentes.

Hidrología Se recopilará la información existente sobre caudales mensuales mínimos, medios y máximos sedimentos en las posibles fuentes de abastecimiento de agua. Deberán obtenerse, para cada una de las fuentes en consideración, los caudales medios mensuales y los mínimos mensuales para una frecuencia de una vez en cinco años. Sin embargo, el caso más frecuente es la ausencia de este tipo de información. En este evento, los caudales deberán generarse con base en las lluvias y en las características morfológicas de las cuencas, en la comparación con fuentes cercanas o por cualquier otro método, siempre que éste garantice una buena confiabilidad de los resultados. Se deberá realizar una evaluación de los efectos de los fenómenos climáticos sobre la disponibilidad de agua en las fuentes seleccionadas y las demandas de agua de los cultivos.

Demográfica Se obtendrá información demográfica disponible en fuentes secundarias como informes o estudios de EOT, POT o plan de desarrollo municipal del municipio correspondiente, así como las entidades territoriales locales como las secretarías municipales, SISBEN, DANE, entre otros de manera que se pueda establecer la población total, la directamente beneficiada, estructura de la población según grupos de edad, escolaridad, sexo. Descripción de la población y su conformación por grupos, condición social, étnica y participación en las labores agrícolas relacionadas con el proyecto.

Información espacial Con base en la información disponible en fuentes secundarias como informes o estudios de EOT, POT o plan de desarrollo municipal del municipio correspondiente, así como las entidades territoriales locales como las secretarías municipales, se realizará la caracterización de:

- Los servicios públicos que se presten en la zona de posible intervención del proyecto, como: riego, drenaje, protección contra inundaciones, acueducto, alcantarillado, manejo de residuos sólidos, energía eléctrica y telecomunicaciones.
- Los servicios de Salud, vivienda, educación que se presten en la zona de posible intervención por el proyecto, en el municipio y en la posible área de influencia.
- Medios de transporte existentes en la zona de posible intervención y de influencia del proyecto, identificar todos los medios de transporte presentes y el estado de la infraestructura, como vías, puertos, así como de los vehículos que prestan el servicio.
- Usos de los recursos naturales y en especial del agua.
- Presencia de comunidades étnicas, con la descripción del territorio ocupado, población, actividades productivas tradicionales desarrolladas, tecnología y mercado. Organización social con el detalle de las normas colectivas y autoridades tradicionales, locales y legalmente reconocidas. (ADR. 2017).

2.8 Proceso de Aplicación De Un Modelo

El desarrollo de un modelo incluye generalmente las siguientes etapas:

Definición del estudio: En esta etapa se establece el marco temporal, los límites espaciales, los componentes del sistema y la configuración del problema.

1. **Búsqueda de información:** En esta etapa se hace una recolección de datos de acuerdo con el tipo de estudio definido. Esta etapa puede ser interactiva, y generalmente se realiza en dos partes: una etapa de recolección de datos generales, y una etapa de recolección de datos específicos una vez se ha montado el modelo y se han identificado necesidades adicionales de información.

2. Desarrollo del modelo: En esta etapa se construye el esquema, se realiza la entrada de datos y se realizan corridas iniciales de modelo para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores.
3. Calibración: Aquí se desarrolla una caracterización de la oferta y demanda actual del agua, las cargas de contaminantes, los recursos y las fuentes para el sistema.
4. Uso del modelo, generación de escenarios: Una vez que el modelo está calibrado, se pueden explorar los impactos que tendría una serie de supuestos alternativos sobre las políticas futuras, costos, y clima, por ejemplo, en la demanda de agua, oferta de agua, hidrología y contaminación.

La metodología de implementación de un modelo contempla las etapas mencionadas en la sección anterior. A continuación, se describirán brevemente las características esenciales con respecto a cada uno de estos componentes.

2.8.1 Definición del estudio

Un ejercicio de modelación efectivo requiere una cantidad considerable de datos, así como tiempo y recursos para diseñar, implementar y revisar el modelo. Este esfuerzo será menor si se obtiene una mayor comprensión del problema. Por esta razón, la naturaleza del problema y el propósito del modelo deben ser claros desde el principio para asegurar un uso eficiente de los recursos disponibles para un determinado proyecto. Esta fase inicial del trabajo de modelación define el alcance del modelo. Para esto, se recomienda resolver preguntas como:

- ¿Cuál es el problema que este proyecto quiere resolver?
- ¿Quiénes van a usar los resultados del modelo?

- ¿Existe necesidad para incorporar un componente de escenarios futuros? (Generalmente en proyectos de planeación, la respuesta a esta pregunta debe ser “sí”, lo cual implica la incorporación de escenarios)
- ¿Qué tipo de datos requiere el modelo?
- ¿Cuánto esfuerzo se va a requerir para recolectar y procesar los datos? (la respuesta a esta pregunta puede ser dada de forma general al principio y se va refinando durante el proceso) (SEI. 2009).

Con el tiempo después de obtener los recursos necesarios para el manejo del modelo, cada pregunta se va resolviendo poco a poco. Permitiendo solucionar problemas cada vez más complejos y de esta manera observando el modelo con respecto a la realidad. Para el buen funcionamiento de un modelo hidrológico se debe tener presente que estos requieren de bastante información y de esto dependerá la eficiencia del mismo.

Cada paso que conlleva el manejo de un software es de suma importancia ya que de este dependerá la eficiencia y exactitud de la herramienta que se utilizará. Para mejorar los modelos matemáticos hay bastantes softwares de ayuda de libre acceso para la modelación hídrica y si se lo desea se podría utilizar más de una herramienta informática sino varias para mejorar la precisión del proyecto de estudio.

2.8.2 Búsqueda de Información

Como se menciona anteriormente la obtención de la información es de suma importancia por eso se realizan una serie de procesos ya mencionados y de los estudios de factibilidad realizados se obtiene la información básica para la realización del modelo o la red hídrica que se deseara crear. Ya recolectada la información y durante la realización del modelo se debe tener en cuenta que si los datos recolectados son suficientes para la realización del modelo o posteriormente se

deberá realizar una segunda obtención de información para que la elaboración del modelo sea más precisa y tenga un mejor funcionamiento al momento de su implementación.

2.8.3 Desarrollo del modelo

En esta etapa ya se puede decir que se obtiene un mapa o esquema de la estructura de una red hídrica. Por lo que en esta etapa se comienza a corregir y calibrar el modelo para que se acerca lo más posible a la realidad, y a los posibles cambios que se puedan presentar en su elaboración o construcción.

La utilización de softwares y herramientas informáticas se realizan con la finalidad de disminuir los costos de construcción y observar los problemas que se presentaran a futuro y de esta manera lograr solucionarlos para que el distrito de riego siga su funcionamiento normal con respecto al tiempo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Brindar una breve información sobre el software que permite la modelación de una manera más sencilla y clara

3.2 Objetivos específicos.

- Describir los pasos necesarios para el desarrollo de un distrito de riego a pequeña escala, por medio de la modelación de los distritos de riego para comunidades rurales.
- Identificar los softwares que ayudan en la modelación de distritos de riego

4. METODOLOGÍA

4.1 Diagrama de Flujo

Para cumplir con los objetivos descritos en la monografía se desarrolló un diagrama en el cual enumera los pasos que se siguieron para la formulación de la guía que permitieron establecer un análisis básico del desarrollo de un distrito de riego a pequeña escala a continuación se describen a continuación para la toma de decisiones que se realizó en el informe. Lo anterior se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Diagrama de flujo de la obtención de la formulación de un distrito de riego a pequeña escala

Fuente. Este estudio

Del diagrama de flujo se recopiló una serie de pasos que se encuentran para el desarrollo de una red hídrica a pequeña escala los pasos que permiten la elaboración del distrito de riego empiezan desde la recolección de información hasta la utilización de los sistemas de información geográfica y la posterior modelación.

Para comenzar según la decisión del autor de este informe con ayuda de la literatura, la información que se puede tomar como base para una metodología básica sobre el diseño y modelación de una red hídrica según varios autores es la que se describe a continuación de forma básica.

4.2 Estudios Básicos

Se agrupan con esta denominación los trabajos que deben realizarse para definir las características del Área del Proyecto y de las cuencas hidrográficas con influencia sobre ésta, a fin de contar con los elementos de juicio necesarios en aspectos técnicos, económicos y sociales en la comparación de las alternativas y en la selección de la solución definitiva. (INCODER. 2005.)

Para la formulación de una metodología base para el desarrollo o establecimiento de un distrito de riego a pequeña escala se tuvo en cuenta artículos relacionaos con el tema en cuestión para desarrollar una metodología factible para el desarrollo de un modelo en un distrito de riego a pequeña escala. Así como los procesos para su implementación que acerquen a la realidad para la modelación mediante diferentes softwares que permitan la elaboración de la red hídrica. En este estudio se recopilará la información presente en artículos, sitios web entre otros para la elaboración de la guía.

4.3 Recolección Básica de Información para la Formulación Del Modelo

Según la literatura para realizar un estudio de redes hídricas es necesario diagnosticar los aspectos económicos y sociales de la población beneficiaria del distrito de adecuación de tierras de pequeña escala. Estos proyectos surgen debido a la falta de suministro de agua para las actividades agropecuarias que se realizan en áreas de cultivo pequeñas o de poca extensión. Por esta razón nace la iniciativa de formular proyectos de adecuación de tierra entre los cuales la

implementación de diseños de distritos de riego. (SOTO, E. 2016) de lo anterior se puede determinar la recolección de información mediante entidades gubernamentales presentes de la región, pero se debe tener en cuenta que entre mayor cantidad de información que se obtenga mayor precisión tendrá el diseño del modelo.

Para comenzar con la metodología del diseño se tuvo en cuenta según la literatura varios factores ambientales los cuales se describen a continuación.

Factores ambientales

- ***Ambiente físico***

Para describir el ambiente físico del proyecto hay que tener en cuenta:

- Ubicación para relacionarlo con el uso de tierras
- Centros poblados
- Caminos existentes
- Climatología, como precipitaciones
- La capacidad de amortiguación del ecosistema
- Hidrología del terreno.

Se añade una imagen que de una breve descripción del lugar (mapa) que busque incluir cuerpos de agua, rutas y asentamientos. Los aspectos geológicos resultan importantes a la hora de realizar una evaluación eficaz de las instalaciones del proyecto. Además, se determina la erosión del suelo y su estado actual para determinar acciones preventivas o correctivas en el mismo.

- ***Ambiente Biológico***

Se procede a identificar los ecosistemas, la fauna y la flora que está presente en el proyecto, y que de alguna manera se puede ver alterada o afectada por la construcción u operación del mismo.

- ***Ambiente Socio-económico***

Se realiza un análisis de las dinámicas sociales que se realizan alrededor del proyecto, comunidades beneficiadas o afectadas, asimismo como el sector económico.

Según (DUARTE, J. 2015), “los factores importantes para determinar el nivel de la descripción socio-económica en el EIA incluye: La duración del proyecto; el tamaño del lugar más afectado; la ubicación del proyecto; y la probabilidad de expansión de la actividad en el emplazamiento.”

- ***Ambiente de Interés Humano***

Se procede a identificar lugares que tengan importancia para la humanidad, o que sean considerados reservas naturales, monumentos históricos, o patrimonio cultural (si los hay). (DUARTE, J. 2015).

5. DESARROLLO DEL TEMA DE LA MONOGRAFIA

5.1. Descripción de los pasos Necesarios para la Formulación Y Estructuración de un Distrito de Riego A Pequeña Escala por Medio de la Modelación.

Para comenzar con la guía para la modelación de un distrito de riego a pequeña escala se encuentra que el primer paso es la recolección de información sobre donde se desee desarrollar el proyecto para comenzar con una delimitación de la zona de interés y delimitación de la información necesaria para su realización a continuación se describen los primeros estudios necesarios para el comienzo del distrito de riego a pequeña escala:

5.1.1. Obtención de los estudios de factibilidad básicos

- **Cartografía:** Los estudios cartográficos se los puede encontrar en la actualidad en formatos digitales. Estos mapas suelen estar representados por Sistemas de Información Geográfica (SIG), en la actualidad estos mapas permiten el desarrollo de planes de ordenamiento territorial (POT) estos diseños se encuentran en el instituto de Geografía Agustín Codazzi (IGAC), y con petición estos estudios son el comienzo para delimitar la zona de establecimiento del proyecto, estos estudios se encuentran en diferentes escalas y permiten tener una clara visión del terreno de estudio (IGAC. 2018). La cartografía es el arte de representar elementos geográficos en un plano, los cuales permiten la orientación, hoy en día, debido a los avances tecnológicos la cartografía es una herramienta fundamental para la toma de decisiones y visualización de datos temáticos (CABRERA, L. ORTEGA, M. 2016).
- **Agrología:** En este estudio se puede determinar el uso y la clasificación de los suelos de la zona de interés, una variedad de modelos de simulación de cambio de uso del suelo se ha desarrollado durante los últimos años, como por ejemplo los modelos que usan

información geográfica, diseñados para el nivel de escala regional y de cuencas como GEOMOD, entre otros. (CATAÑEDA, Y. 2016). Al igual que los estudios anteriores estos pueden ser conseguidos en el IGAC que permiten obtener información sobre las características físicas, químicas, biológicas y mineralógicas de la zona de estudio. El cual nos permitirá la toma de decisiones sobre que cultivos pueden aumentar las tasas productivas de la región o zona de interés. (IGAC. 2018)

- **Geología:** Para los estudios geológicos un software que se puede utilizar por su visualización del terreno y su diseño en 3D es el GRASS GIS. Que permite observar la geología del terreno además de las fallas presentes en el terreno de interés, pero se debe tener presente los estudios geológicos ya existentes realizados por el Servicio Geológico Colombiano de la región o zona de estudio. Estos estudios pueden ser realizados por el Servicio Geológico Colombiano, dependiendo del proyecto que se desea realizar o se pueden utilizar análisis de suelos desarrollados por ingenieros agrónomos por medio de muestras ya que son principalmente para la producción de cultivos y en cuanto a la estructura de la red hídrica se puede pedir el acompañamiento de ingenieros civiles que ayuden en la estructuración sin percance con los cultivos de interés.
- **Climatología, Meteorología e Hidrología:** para iniciar estos estudios pueden solicitarse con anticipación al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM ya que este instituto realiza tanto los estudios meteorológicos como hidrológicos de la región. Esto siempre y cuando se encuentre en la zona de estudio una de sus estaciones meteorológicas y la información obtenida por esta entidad es de fácil utilización y con pronósticos hasta de 10 años para mejorar la introducción de la información. Uno de los modelos utilizados para ayudar a la modelación hidrología es el

software HEC-HMS, que es un software muy versátil y de fácil utilización. (FERNANDEZ, M. 2013).

- **Demografía:** para estos estudios de las poblaciones beneficiaria y locales de la zona de interés donde se podrá obtener esta información de entidades gubernamentales tales como el SISBEN y la DIAN, o de estudios de ordenamiento territorial de la región.
- **Información espacial:** estos estudios pueden obtenerse en los municipios, ya que son estudios directamente relacionados con la región como la obtención de los riegos para los cultivos y que sistemas tiene desarrollado la región estos estudios pueden ser obtenida por encuestas u otros tipos de estudios directamente obtenido de la población o de la entidad regional de la zona de interés.

Tabla 3.

Softwares para la modelación de estudios de factibilidad

Softwares para la modelación de estudios de factibilidad		
Nombre del Software	Características	Estudios a los que aplica
ArcGIS	Un mapa de ArcGIS es un mapa inteligente que muestra, integra y sintetiza completas capas de información geográfica y descriptiva de diversas fuentes	representación cartográfica, modelado, análisis espacial y geoprocetamiento
GEOMOD	Es un modelo de simulación de cambios de uso del suelo que simula la ganancia o pérdida de un uso de suelo durante un intervalo de tiempo especificado..	Representación de los cambios de los diferentes usos del suelo
GRASS GIS	Puesto que muchas de las herramientas son multifuncionales los usuarios pueden crear sus propios mapas a partir del análisis de datos en GRASS.	modelización hidrológica, análisis de cuencas, mapas geológicos, características de los cauces y redes de drenaje
HEC-HMS	El HEC-HMS se usa para simular la respuesta hidrológica de una cuenca. Incluye los modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. El programa crea una corrida de simulación, combinando los modelos y las especificaciones.	Descripción física de la cuenca, Descripción meteorológica, Simulación hidrológica, Estimación de parámetros, Análisis de simulaciones y Conexión con SIG

Para obtener la información se debe tener en cuenta que las entidades gubernamentales y otras entidades que poseen los estudios de la región, tienen requisitos o limitaciones para dar los estudios que se necesita de la región, por lo cual el proyecto debe ser claro y preciso para que las entidades puedan ayudar en su desarrollo. Y se debe tener en cuenta que la información que se solicitede debe ser pedida con tiempo anticipado, por lo que las entidades regionales analizan la solicitud y de esta manera puedan recolectar la información para que sea entregada y utilizada para el proyecto. Un ejemplo de esto es el IDEAM ya que sus reportes se demoran 3 meses en ser entregados después de la petición. (fuente el autor)

5.1.2. Delimitación de la zona del proyecto

Como segundo paso se comienza con la delimitación o sectorización de la zona de interés; después de obtener los diferentes mapas o información pertinente a los estudios anteriormente mencionados el paso a seguir es la delimitación del área donde se realizara el proyecto con el fin de enfocar todos los esfuerzos sobre el desarrollo de la red hídrica con el fin de obtener una zona sectorizada o clara de los personajes que intervendrán en el establecimiento o de los factores ambientales de la región como condiciones climáticas, edáficos, agrícolas, demográficos entre otros, de esta forma realizando una sectorización con todos los informes o mapas recolectados en el paso anterior. (fuente el Autor.)

Para delimitar una zona de interés para el desarrollo de un distrito de riego a pequeña escala se toman como base la delimitación por componentes como se los representara a continuación:

- Delimitar la cuenca o las cuencas que se encuentran en la zona ya que esto permite obtener el suministro de agua para el desarrollo de la red hídrica además de poder visualizar donde se podrá ubicar nuestro distrito de riego.

- Delimitar las diferentes fuentes de agua que derivan en la cuenca principal donde se dispondrá el distrito de riego a pequeña escala.
- Ubicar todas las zonas agrícolas y elevaciones en el estudio para que permita una distribución uniforme del agua a toda la zona de interés.
- Delimitar los senderos principales y secundarios presentes en la zona para el posterior desarrollo del distrito de riego en una zona de fácil acceso para su mantenimiento.
- Ubicar los centros poblados y resguardos indígenas (si los presenta) para el beneficio de los involucrados.
- Si la zona presenta otros distritos de riego delimitarlos para que no haya interferencias entre estos.
- Delimitar la presencia de reservas naturales, lagos y otras zonas ambientales de la región de interés.

Ya completada la delimitación de la zona de estudio se toma la decisión de la ubicación del distrito de riego ya que de este se realizará la derivación del agua a las zonas de interés con los caudales necesarios para el desarrollo productivo del sector agrícola de la región, la sectorización permite tomar las mejores decisiones sobre la ubicación de las redes hídricas sin problemas por deficiencia hídricas.

Este paso es importante realizarlo tanto sobre los informes recolectados como en el campo determinando así el uso adecuado de las fuentes de agua.

Este informe tiene como base principal el sector agrícola pero los datos de factibilidad pueden permitir la construcción de redes hídricas para viviendas y alcantarillado en otros casos. A continuación, se describen los pasos a realizar para un distrito de riego a pequeña escala. (fuente el autor)

5.1.3. Elementos necesarios para el diseño de una red

Para diseñar un sistema de riego hay que determinar todas las características técnicas del riego. Con el fin de que el reparto del agua sea uniforme y eficiente se hace en dos etapas: en el diseño agronómico se consideran aquellos aspectos relacionados con el medio (suelos, clima, cultivos, etc.) y en el diseño hidráulico se dimensiona la red de distribución.

Para efectuar los diferentes pasos relacionados con el diseño de la red se toma en cuenta el sistema de riego más empleado en la región en este informe se utilizó el sistema de riego por aspersión.

A. Diseño Agronómico

Los datos imprescindibles que son necesarios para el diseño son los siguientes:

- **Suelo.** Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento, profundidad y velocidad de infiltración estabilizada.
- **Clima.** Interesa conocer, sobre todo los datos relativos al viento, ya que es la causa principal de la distorsión en el reparto del agua.
- **Cultivo.** Alternativa de cultivos, necesidades hídricas, fracción de agotamiento del agua disponible, profundidad radical, marco de plantación, labores.
- **Parcela.** Dimensiones, topografía, punto de captación de agua y área a regar.
- **Agua.** Caudal disponible y calidad agronómica.
- **Riego.** Tiempo disponible de riego cada día y días libres de riego durante el ciclo. Se fija de antemano la eficiencia que se pretende conseguir.

El diseño agronómico tiene por finalidad que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad suficiente de agua, con un control efectivo de las sales y una buena eficiencia en la aplicación del agua. Esta se desarrolla en dos fases:

- Cálculo de las necesidades de agua
- Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia e intervalo entre riegos, caudal necesario, duración del riego, número de emisores y disposiciones de los mismos.

Las necesidades totales vienen definidas por la fórmula:

$$N_t = \frac{N_n}{E_a} = \frac{N_n}{R_p \cdot F_l \cdot F_r \cdot C U}$$

N_t = Necesidades totales (mm/día)

N_n = Necesidades netas (mm/día)

E_a = Eficiencia de aplicación

R_p = Relación de percolación

F_l = Fracción de percolación

F_r = Factor de roció.

$C U$ = Coeficiente de uniformidad

En circunstancias normales el factor de roció tiene un valor muy próximo a 1, por lo que no se suele considerar. R_p y F_l no se toman simultáneamente, sino que se considera sólo el de menor eficiencia, que es el que produce mayor pérdida de agua.

- Si $R_p < F_l$, las necesidades totales son:

$$N_t = \frac{N_n}{R_p \cdot C U}$$

- Si $Fl < R_p$, las necesidades totales son:

$$N_t = \frac{N_n}{(1 - R_p) CU}$$

$Fl = 1 - R_L$, siendo R_L el requerimiento de lavado.

En riego por aspersión de baja frecuencia el requerimiento de lavado (R_L) viene dado por la fórmula:

$$R_L = \frac{CE_a}{5 \cdot CE_e - CE_a}$$

En riego por aspersión de alta frecuencia el requerimiento de lavado es:

$$R_L = \frac{CE_a}{2 \cdot \max CE_e}$$

R_L = Requerimiento de lavado, en tanto por uno

CE_a = Conductividad eléctrica del agua de riego, en dS/m

CE_e = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, para el cual el descenso de producción es del 100%. Se expresa en dS/m.

A efectos de diseño, el coeficiente de uniformidad (CU) es una condición que se impone, y debe tener un valor de alrededor de 0,8 para considerarse aceptable. Cuando la instalación está en funcionamiento se efectúa la comprobación en la presión de trabajo, número y tamaño de las boquillas de los aspersores o inadecuado marco de riego.

Para el cálculo de las necesidades de agua en riego por aspersión se suele utilizar también el siguiente criterio:

- Si $R_L < 0,1$ $Nt = \frac{Nn}{Ea}$

- Si $R_L < 0,1$ $Nt = \frac{0,9 \cdot Nn}{Ea \cdot (1 - R_L)}$

Ea es una eficiencia de aplicación que incluye los efectos de pérdidas debidas a percolación, evaporación desde el chorro y arrastre del mismo por el viento y falta de uniformidad en la aplicación.

Los valores orientativos de Ea que se deben tomar en el diseño los cuales aparecen en la tabla

4. En función al tipo de clima, profundidad de raíces y textura del suelo.

Tabla 4.

Valores de Ea en climas húmedos

Profundida d de raíces (m)	Textura			
	Muy porosa (grava)	Arenos a	Limo	Arcilla
< 0,75	0,65	0,75	0,85	0,90
0,75 – 1,50	0,75	0,80	0,90	0,95
>1,50	0,80	0,90	0,95	1,00

Fuente. SALAS, A. PEREZ.L. 2007

Dosis de riego e intervalos entre riego

La dosis de riego es la cantidad de agua que se aplica en cada riego por cada unidad de superficie. Cabe diferenciar entre dosis neta (Dn) y dosis bruta o total (Dt). La dosis neta corresponde a la reserva fácilmente disponible, y viene dada por la fórmula:

$$D_n = 100 \cdot Pr \cdot Da \cdot (C_c - P_m) \cdot f$$

Dn = Dosis neta (m³/ha)

Pr = Profundidad de raíces (m)

Da = Densidad aparente del suelo

Cc = Capacidad de campo, expresado en porcentaje en peso de suelo seco.

Pm = Punto de marchitamiento, expresado en porcentaje en peso de suelo seco.

f = Fracción de agotamiento del agua disponible.

Cuando Cc y Pm vienen expresados en porcentaje del volumen de suelo, la fórmula sería:

$$D_n = 100 \cdot Pr \cdot (C_c - P_m) \cdot f$$

Cuando Cc y Pm vienen expresados en mm de altura de agua, la fórmula sería:

$$D_n = Pr \cdot (C_c - P_m) \cdot f$$

Dn = Dosis neta (mm)

Cc = Capacidad de campo, (mm/cm)

Pm = Punto de marchitamiento, (mm/cm)

Pr = Profundidad de raíces (cm)

f = Fracción de agotamiento del agua disponible, expresada en tanto por uno.

La dosis total es:

$$Dt = \frac{Dn}{Ea}$$

Siendo Ea la eficiencia de aplicación.

Se debe regar cuando las extracciones de las plantas agoten la reserva fácilmente disponible.

Por consiguiente, el intervalo (I) en días será:

$$I = \frac{\text{Reserva fácilmente disponible}}{\text{Necesidades netas diarias}} = \frac{Dn}{Nn \text{ (diarias)}} = \frac{Dn}{ET \text{ (cultivo)} - Pe}$$

Naturalmente, la Dn y las Nn diarias se han de expresar en las mismas unidades (m^3/ha o mm de altura de agua)

Duración del riego en cada posición

La duración del riego (tiempo de riego) en cada postura se calcula mediante la fórmula:

$$Tr = \frac{Dt}{P}$$

Tr = Tiempo de riego(horas)

Dt = Dosis total (mm)

P = Pluviometría o pluviosidad media (mm/h)

En los sistemas semifijos hay que tener en cuenta el tiempo empleado en el traslado del equipo móvil. El traslado de las alas de riego móviles de una postura a otra requiere una mano de obra de 2,5 horas por hectárea, aproximadamente.

Turnos de riegos diarios

Para determinar el número de posturas que se hacen al día o turnos de riego se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Turno riego} = \frac{\text{Tiempo disponible al día}}{\text{Tiempo de riego}}$$

Número de aspersores que funciona simultáneamente

El número de aspersores que funcionan simultáneamente en una posición de riego viene dado por la fórmula:

$$N = \frac{Q_{\text{disponible}}}{q}$$

N = Número de aspersores en cada posición de riego

$Q_{\text{disponible}}$ = Caudal disponible en la finca (pozo o grupo de bombeo)

q = Caudal de cada aspersor

Para diseñar la red de distribución y la disposición de los aspersores hay que procurar que sean mínimas las diferencias de presión de los aspersores situados en un ala de riego, por lo que se procurará que las alas de riego sigan las curvas de nivel o, mejor aún, con una ligera pendiente descendente, para compensar los aumentos de pérdidas de carga a medida que los aspersores se alejan del origen. (SALAS, A. PEREZ.L. 2007).

El diseño agronómico permite obtener los datos necesarios hídricos para el desarrollo de la red hídrica y las demandas necesarias de los cultivos o el sector agrícola y de esta manera

formular el mejor diseño de riego mediante la utilización de softwares y permitir tener el mejor beneficio de las fuentes de agua sin tener pérdidas o mal funcionamiento del mismo.

De esta manera el diseño agronómico es un paso importante para la formulación de una red hídrica ya que permite conocer las demandas generales que se necesitan en un distrito de riego para los distintos cultivos de la región de interés. A continuación, se muestra un modelo o programa e interés que puede desarrollar un diseño agronómico. (fuente el autor)

B. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de distribución y de la optimización del trazado de la misma, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para los cultivos durante cualquiera de sus formas de desarrollo; otro objeto es conseguir que la aplicación del agua en forma de lluvia sobre el suelo sea suficientemente uniforme. Con todo ello se obtendrán buenas producciones con el menor gasto de agua. Figura 10.

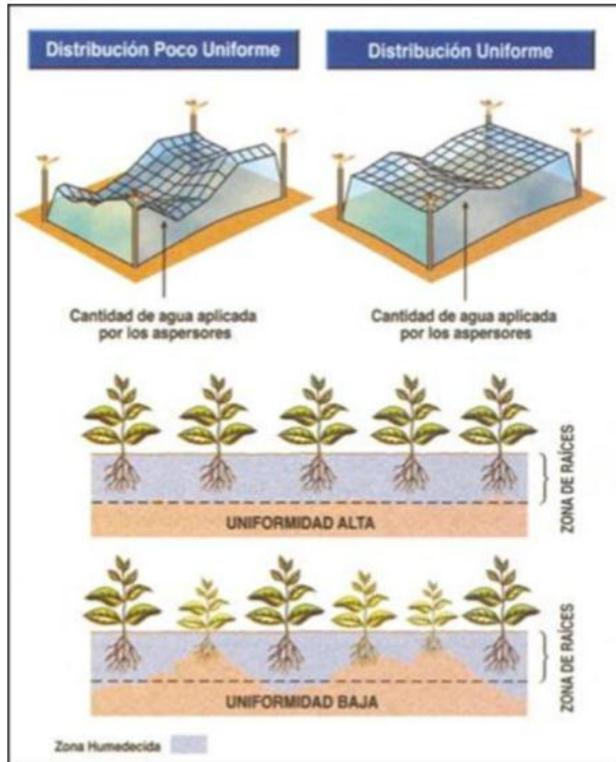


Figura 5. Desarrollo de un cultivo dependiendo la uniformidad de riego

Fuente. LAPO, C. M. (2012)

Las alas de riego (ramales) son los que distribuyen el agua al cultivo por medio de los aspersores acoplados a ellos. Las tuberías laterales o de alimentación son aquellas de donde derivan los ramales. Tanto en ramales se da el caso de una conducción con salidas múltiples distribuidas a lo largo de ella, uniformemente espaciadas y por las que descarga el mismo caudal.

$$Q = n \cdot q$$

Q = Caudal del ramal

n = Número de salidas

q = Caudal de cada salida

Al principio de la tubería con salidas múltiples (en su conexión con la tubería de alimentación), el caudal es Q . A medida que se avanza en la tubería, las pérdidas de carga por rozamiento son menores que las que ocurren en una tubería de igual diámetro y longitud, pero sin salidas intermedias.

El 75% de las pérdidas de carga por rozamiento que se producen en los ramales ocurren en la primera cuarta parte de su longitud, por cuyo motivo es importante la distancia a que está acoplada la primera salida. (TELLO, P. SANCHEZ, F. 2016.)

Para obtener un beneficio mayor en la elección del diseño hidráulico para el modelo de la red hídrica a continuación en la Tabla 5. se muestran los diámetros generales y la presión que soporta de las tuberías que se encuentran en el mercado esto para definir de una manera eficiente el diseño de la red y establecer el diseño hidráulico en el modelo escogido.

Tabla 5.

Diámetros normalizados para tuberías de PVC

DIÁMETROS NORMALIZADOS (NOMINAL E INTERIOR) PARA TUBERIAS DE PVC				
Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)			
	4 atm	6 atm	10 atm	16 atm
16	–	–	–	13,6
20	–	17,5	–	17
25	22,6	22,6	22	21,2
32	29,6	29,2	28,4	27,2
40	37,2	36,4	36	34

50	47,2	46,4	45,2	42,6
63	59,4	59,2	57	53,6
75	71,4	70,6	67,8	63,8
90	86,4	84,6	81,4	76,6
110	105,6	103,6	99,4	93,6
125	120	117,6	113	106,4
140	134,4	131,8	126,6	119,2
160	153,6	150,6	144,6	136,2
180	172,8	169,4	162,8	153,2
200	192	188,2	180,8	170,4
225	216	211,8	203,4	191,4
250	240,2	235,4	226,2	213
280	269	263,6	253,2	238,4
315	302,6	296,6	285	268,2
355	341	334,2	321,2	302,4
400	384,2	376,6	361,8	340,6
450	432,4	423,8	407	383,2
500	480,4	470,8	452,2	425,8

Fuente. AGROLOGICA 2018.

Para el diseño hidráulico en la actualidad hay muchos programas que permiten la distribución del agua de forma uniforme con las características que se presentan en el diseño agronómico, por lo que es más sencillo obtener el diseño hidráulico desde la formulación de la red en los modelos que se presentan en este informe.

De esta manera la utilización de modelos matemáticos en la construcción de proyectos de riego son de gran ayuda ya que al obtener toda la información necesaria en campo y de investigaciones anteriores si las hay, puede facilitar en gran medida la realización de un modelo de red hídrica de un área de estudio que desee construir o implantar un mejor uso del recurso agua.

La modelación y simulación de redes hídricas permite obtener una vista hacia al futuro de lo que se desea obtener además de permitir ver el uso de estos sistemas con respecto al tiempo ya que estas herramientas informáticas permiten observar problemas en el tiempo como en el área.

Como se observa para un buen funcionamiento de una red hídrica y/o distrito de riego a pequeña escala la utilización de herramientas de modelación permite ser más precisos en la toma de decisiones respecto al tamaño, los materiales y el beneficio de su elaboración en la zona. Esto ayuda a disminuir costos innecesarios o perdidas del recurso hídrico, la modelación y utilización de softwares permite aligerar la carga de problemas y darles soluciones posibles. En la actualidad esto permite tener una mayor precisión al momento de realizar proyectos a pequeña escala para este caso.

5.1.4. Estructuración del modelo hídrico

En esta etapa se elige el software o programas SIG para el desarrollo adecuado del distrito de riego, generando un mapa practico y con todos los datos necesarios para su correcto funcionamiento.

Para comenzar se incorpora la información al modelo seleccionado y se corrobora los datos tanto en el modelo como experimentalmente en la zona de estudio y de esta manera lograr un desarrollo óptimo de la modelación. En el siguiente punto se describe la estructura física del distrito de riego. En el punto 5.2. se describen los softwares que permiten el diseño de la red. (fuente el autor)

5.1.5. Infraestructura física de un distrito de riego

La infraestructura física de un mini-distrito de riego o distrito de riego a pequeña escala, es el conjunto de las obras civiles de captación y almacenamiento de fuentes de agua, línea de conducción, red de distribución, infraestructura predial, regulación, medición del agua y aplicación a los campos de cultivos. Ver Figura 6.

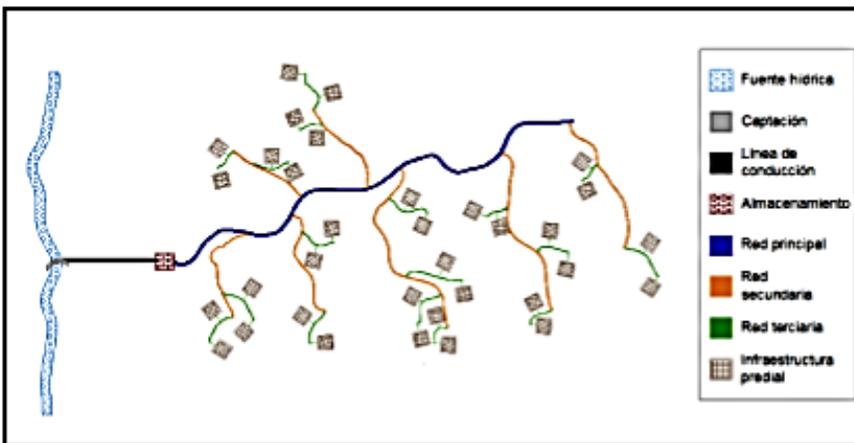


Figura 6. Esquema de un distrito de riego a pequeña escala

Fuente. AGUDELO, L., & PINO, V. (2012)

- **Obra de captación o bocatoma:** El principio básico de la captación es la toma de agua para riego, el sistema de irrigación, sistemas que servirán para irrigación de los cultivos.

Es la obra que capta y deriva el agua de la fuente de abastecimiento hacia el sistema de riego. Como se observa en la Figura 6. (CHAMORRO, D. 2015)

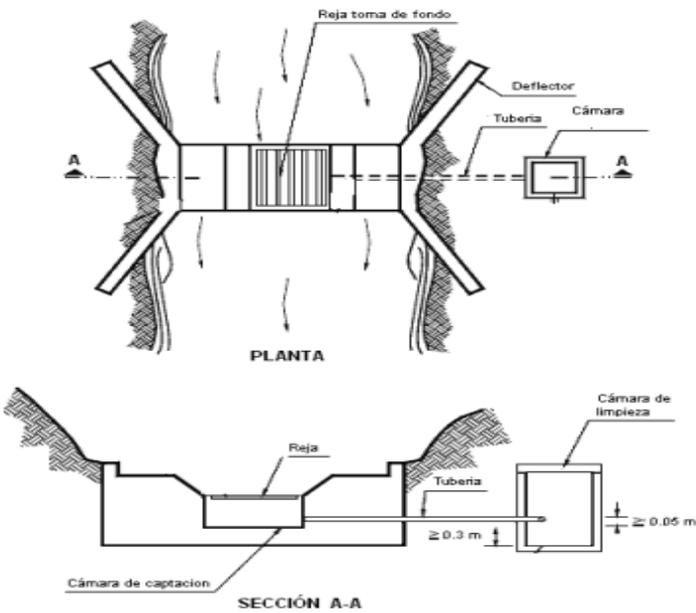


Figura 7. Esquema de una obra de captación.

Fuente. ROMERO, D. 2017

- **Desarenador:** Es una estructura que cumple la función de separar las partículas granulares (arenas finas) que trae la fuente de abastecimiento, para llevar agua libre de sedimentos. (INAT, 2003).

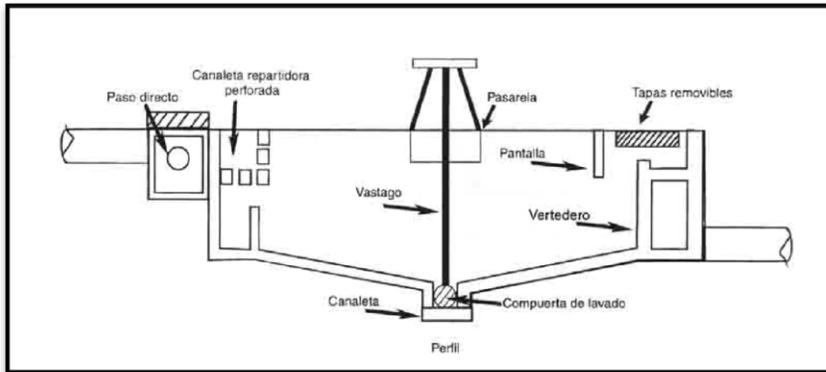


Figura 8. Estructura básica de un desarenador.

Fuente. AGUDELO, L., & PINO, V. (2012)

- **Línea de conducción:** La línea de conducción del distrito de riego se inicia en el sitio donde se ha planeado la captación o bocatoma, se encarga de transportar el agua desde la fuente de abastecimiento hasta los tanques de regulación de los sistemas de distribución. Ver Figura 8. Los sistemas de conducción y distribución incluyen la red de canales o tuberías, junto con sus obras tales como: sifones, túneles, puentes, válvulas de corte, válvulas de purga, cámaras de quiebre, etc. y obras complementarias, tales como los carreteables de operación, mantenimiento y accesos. (INAT, 2003)

Red de Conducción principal: Construida en PVC presión y cuya función es la de llevar el agua a una Red de Distribución o ramales, también construida en PVC.

Viaductos Son estructuras metálicas, utilizadas para soportar las tuberías de PVC o metálicas en pasos elevados para sortear depresiones muy fuertes. También pueden ser construidas con cables y pendolones soportadas en cada extremo por columnas en concreto o metálicas.

Red de conducción secundaria: Construida también en PVC, por esta red de distribución se lleva el agua a cada uno de los predios que componen el sistema de riego, conocida también como Red Predial (CODESIA LTDA. 2006).



Figura 9. Ejemplo de línea de conducción

Fuente. CHAMORRO, D. 2015

- **Almacenamiento:** El tanque de almacenamiento tiene como objetivo principal almacenar el agua que recibe de la bocatoma durante las horas fuera de la jornada de riego. utilizada cuando se requiera de una reparación, reposición de accesorios o cualquier otra actividad de mantenimiento. Esta a su vez recibe el agua durante el tiempo correspondiente a la jornada de riego. Ver Figura 9.



Figura 10. Ejemplo tanque de almacenamiento

Fuente. AGUDELO, L., & PINO, V. (2012)

- **Red de distribución.** Para lograr un buen aprovechamiento y control del agua, es necesario producir un trazado de redes lo suficientemente claro y ordenado. Por lo general, se puede establecer que una red principal de riego atraviesa toda la zona de proyecto. Las redes secundarias suministran sus aguas a redes terciarias que son principalmente las utilizadas por los agricultores.

Toda red debe adaptarse a las condiciones topográficas del terreno; el trazado se debe efectuar, en lo posible, teniendo cuidado de no producir divisiones desfavorables en las parcelas, de manera que no impida el uso funcional de la maquinaria agrícola y entorpezcan las diversas operaciones del campo; por esta razón se debe procurar un trazado de redes que coincidan con la periferia o límites de las propiedades a beneficiar.

Infraestructura predial. En este punto se selecciona el sistema de riego que se va a implementar a nivel de cada predio, luego se procede a realizar su respectivo diseño, elegir las especificaciones del equipo y finalmente su instalación. El riego se aplica para lograr los siguientes objetivos principales:

- ✓ Suministrar la humedad necesaria para el desarrollo de los cultivos.
- ✓ Asegurar un abasto suficiente de agua durante sequías de corta duración y clima impredecible.
- ✓ Disolver sales del suelo.
- ✓ Como medio para aplicar agroquímicos.
- ✓ Mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- ✓ Activar ciertos agentes químicos.
- ✓ Generar beneficios operacionales.

Para realizar un trabajo adecuado en la selección del sistema, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los cultivos y prácticas relacionadas: Tipo, profundidad de raíces, consumo de agua, hábitos de desarrollo de plagas.
- Características del suelo: Textura y estructura, profundidad y uniformidad; velocidad de infiltración y potencial de erosión; salinidad y desagüe interno; topografía pendiente y grado de irregularidad.
- Abasto de agua: Fuente, cantidad disponible y confiabilidad, calidad, sólidos en suspensión y análisis químico.
- Valor y disponibilidad de la tierra.
- Limitaciones y obstrucciones de inundación.

- Nivel freático. (AGUDELO, L., & PINO, V. 2012).

Para la infraestructura física de un mini o distrito de riego a pequeña escala se debe tener en cuenta que esta estructura se la dispone para mejorar la captación del agua y suministrarla de mejor manera el recurso hídrico ya la construcción de las redes hídricas pueden poseer modelos matemáticos más complejos. el diseño del distrito de riego representa la fuente hídrica que se utilizara para la modelación de redes hídricas para su mejor utilización con los diferentes cultivos.

Por lo tanto, realizar un modelo o de un distrito de riego permite que los caudales de agua sean constantes durante periodos largos de tiempo, ya que permite una fuente constante y de esta manera un caudal equilibrado para el suministro de agua. El distrito de riego en si es una estructura que mejora la captación de agua y de esta manera su distribución, mejorando la creación de redes hídricas para las zonas de estudio, ya que el distrito de riego es una estructura y su modelación es posible para mejorar la construcción de la estructura definitiva.

5.2. Softwares que Ayudan en la Modelación de Distritos De Riego

Antes de iniciar con la descripción de los softwares que benefician en el desarrollo de la construcción de redes hídricas se debe tener en cuenta la información que se recolecto anteriormente ya que esta información permite que el modelo pueda realizar las diferentes funciones que se encuentran en su estructura de funcionamiento.

Por lo que es importante recordar que para el buen funcionamiento del software y que sus resultados se acerquen más a la realidad el software lo primero que necesita es la recopilación de información de la zona de interés y entre más información posea, la modelación se acercara lo más posible a la realidad.

5.2.1. Modelo CROPWAP

Para mejorar el desarrollo de un diseño agronómico se encuentra un modelo que puede representar las necesidades suelo – agua en el cultivo con diferentes ecuaciones matemáticas, que permiten obtener un modelo práctico para el suministro de agua a los cultivos. El modelo en cuestión se denomina CROPWAT este programa utiliza el método de Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ET). Los valores de ET son utilizados posteriormente para estimar los requerimientos de agua de los cultivos y el calendario de riego.

La ecuación que se utiliza en el modelo CROPWAT es la siguiente:

Para evapotranspiración:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} + u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Dónde:

ET_o= Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Δ= Pendiente de la curva de la tensión de vapor saturado (kPa/ °C)

R_n= Radiación neta sobre la superficie del cultivo (MJ/ m² día)

G= Flujo calórico utilizado en el calentamiento del suelo (MJ/ m² día)

γ= Constante psicométrica (kPa/ °C) = 0,001628 (P/l)

I= Calor latente de vaporización (MJ /kg).

u₂= Velocidad del viento a 2 m de altura, en m/s. Se estima por:

$$u_2 = 4,87 u_z / \ln (67,8z - 5,42)$$

u_z= velocidad del viento en m/s, observada a una altura, z en m

$(e_s - e_a)$ = déficit de tensión de vapor (kPa); e_s y e_a tensión de vapor saturado, y actual respectivamente

T= temperatura media del aire, en °C, calculada por: $T = (T_{max} + T_{min}) / 2$

Para precipitación efectiva

No toda la precipitación que cae al suelo penetra de manera efectiva en este y es aprovechable por los cultivos. En cada lluvia, sólo un porcentaje cumple la función de penetrar el suelo pues se producen pérdidas por escorrentía, evaporación y por percolación profunda. Por lo tanto, por medio del método USDA S.C, que es utilizado por el programa CROPWAT se puede encontrar el valor de precipitación efectiva.

$$P_e = (1.25247 P_t^{0.82416} - 2.93522) 10^{0.00095 U f}$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectiva mensual (mm)

Pt: Precipitación total mensual (mm)

U: Uso consuntivo medio mensual

f: $0.531747 + 0.011621 \Delta s - 8.9 \times 10^{-5} \Delta s^2 + 2.3 \times 10^{-7} \Delta s^3$

Δs : Dosis de riego neta (mm)

Las anteriores ecuaciones son las que toma el modelo CROPWAT para realizar el estudio agronómico para de esta forma poder determinar las necesidades hídricas para cada tipo de cultivo y así mejorar la elaboración de la red hídrica ya que obteniendo las necesidades hídricas de cada cultivo se puede elaborar una red más exacta con referencia a los cultivos presentes en la zona de interés y así reducir costos y utilizar los materiales necesarios para la construcción del

sistema de tuberías que llevara e agua de la fuente de agua al sitio definitivo en este caso a los cultivos de interés de la región.

El estudio agronómico es un paso fundamental para el diseño de un sistema de riego, esto sucede porque es importante determinar los requerimiento hídricos diarios de los cultivos y así poder elaborar una red hídrica que pueda abastecer esas necesidades, esto ocurre principalmente para cubrir las necesidades de cada cultivo, la determinación del estudio agronómico permite tener una idea clara de la disposición final del riego, ya que el diseño de un distrito de riego a pequeña escala tiene la finalidad de que los cultivos tengan el recurso hídrico necesario para su crecimiento normal para poder producir de manera más eficaz los productos de la canasta familiar.

El diseño agronómico depende de los factores ambientales de la región que se relacionan con el cultivo de interés, este diseño varía según los cultivos al mismo tiempo que la demanda hídrica esto se puede corregir con los diferentes estudios que se presentan para el desarrollo agronómico.

El modelo CROPWAT es un software que ayuda a buscar las necesidades finales del cultivo en la zona de estudio su utilización es muy versátil y fácil, siempre y cuando se tenga la información necesaria para el desarrollo de cada diseño agronómico en los diferentes cultivos de interés de la zona.

5.2.2. EPANET

Es un programa orientado al análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el seguimiento de la calidad de la misma, que ha tenido aceptación a nivel mundial, desde su lanzamiento. El autor del software, ha usado algoritmos de cálculos más avanzados con una interfaz gráfica fácil de usar. El software se ha distribuido fácilmente debido a la posibilidad de

integrar el módulo de cálculo con otras aplicaciones y también al soporte dado por la EPA (Environment Protection Agency) para su distribución gratuita (FILIAN, G. 2004)

Capacidades para la confección de Modelos Hidráulicos

Dos de los requisitos fundamentales para poder construir con garantías un modelo de la calidad del agua son la potencia de cálculo y la precisión del modelo hidráulico utilizado.

EPANET contiene un simulador hidráulico muy avanzado que ofrece las siguientes prestaciones:

- No existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesarse
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de HazenWilliams, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning
- Contempla pérdidas menores en codos, accesorios, etc.
- Admite bombas de velocidad fija o variable • determina el consumo energético y sus costes
- Permite considerar varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención, y reguladoras de presión o caudal.
- Admite depósitos de geometría variable (esto es, cuyo diámetro varíe con el nivel).
- Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nudos, cada uno con su propia curva de modulación en el tiempo
- Permite modelar tomas de agua cuyo caudal dependa de la presión (p.ej. rociadores)
- Admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos o en la hora prefijada por un temporizador, y leyes de control más complejas basadas en reglas lógicas. (ROSSMAN, L. ed. Rev. 2017)

Análisis Hidráulico.

El modelo de simulación hidráulica de EPANET calcula alturas en conexiones y caudales en las líneas para un conjunto fijo de niveles de depósitos, niveles de tanques, y demandas de agua a lo largo de una sucesión de instantes temporales. Desde un instante de tiempo los siguientes niveles de depósitos y demandas en las conexiones son actualizadas de acuerdo a los patrones de tiempo que se les ha asociado mientras que los niveles del tanque son actualizados utilizando los datos solución de caudal. La solución de altura y caudal en un determinado punto a lo largo del tiempo supone el cálculo simultáneo de la conservación del caudal en cada conexión y la relación de pérdidas que supone su paso a través de las conexiones de todo el sistema.

Éste proceso, conocido como "equilibrado hidráulico de la red", requiere métodos interactivos de resolución de ecuaciones no lineales. EPANET utiliza el "Algoritmo del Gradiente" con éste propósito.

El intervalo de tiempo utilizado para la simulación de periodo extendido puede modificarse por el usuario. Un valor bastante común es 1 hora. Pueden darse intervalos de cálculo inferiores al normal cuando se produzca alguno de los siguientes sucesos:

- Cuando ocurre el siguiente periodo de obtención de resultados
- Cuando ocurre el siguiente periodo del patrón de tiempo
- Cuando se produce el llenado o vaciado de un tanque
- Cuando se activa un control simple o un control programado (FILIAN, G. 2004).

Componentes físicos básicos de EPANET

Para tener en cuenta los componentes físicos de EPANET se establece que el sistema de la red hídrica del lugar donde se dispondrá la red debe tener como base la utilización de un reservorio, cuenca o corriente de agua fluyente. Esto se realiza par que las modelaciones de los distritos de

riego sean más precisas y que la uniformidad de la red hídrica para la población beneficiaria sea más exacta y óptima para la explotación agrícola de cada uno de los actores participantes, a continuación, se muestran los componentes del software EPANET.

Conexiones o nudos

Son elementos físicos utilizados para unir las tuberías. Los nudos o uniones sirven también como punto hidráulico de extracción o inyección de agua en la red. Para dibujar un tramo de tubería es indispensable el uso de las conexiones o embalses; si se requiere dibujar una tubería simple, se introduce un nudo fuente (embalse) que funciona como punto inicial y luego se coloca un nudo final (conexión) o un embalse.

Tuberías

Son elementos que permiten el transporte de agua en una red dada. Para el caso de EPANET, la tubería se encuentra siempre a presión y la dirección del flujo obedece al principio del gradiente hidráulico; por lo tanto, el agua se mueve de un punto de mayor a menor energía.

EPANET calcula las pérdidas de energía a través de tres metodologías (Darcy-Weisbach; Hazen-Williams; Chezy-Manning), para lograr simular el comportamiento hidráulico en distintos tipos de tuberías (concreto, acero, PVC, etc.). Además, se pueden tener en cuenta las pérdidas de energía por accesorios, para lo cual es necesario conocer las constantes de los accesorios utilizados (Km) en el tramo de tubería simulada.

Depósitos (tanques)

Los depósitos o tanques son elementos físicos que suministran agua a una red dada. Su principal característica es la limitación en la producción de agua, mientras que los embalses tienen agua ilimitada para suministrar. Los tanques requieren de una fuente que los abastezca, ya sea a gravedad (utilizando un embalse) o a presión (utilizando una bomba). EPANET inicia la

simulación de un modelo con una altura piezométrica dentro del tanque según la necesidad del usuario.

Así mismo, los niveles dentro del depósito o tanque varían de acuerdo con los niveles máximos y mínimos establecidos inicialmente por el usuario. Los depósitos o tanques también pueden representar distintos tipos de reacciones químicas producidas por el cloro y los volúmenes de almacenamiento, con lo cual se simula una fuente de suministro de cloro.

Bombas

Son elementos físicos para suministrar energía al fluido con el fin de desplazarlo de un punto 1 a un punto 2, con lo cual se vencen las pérdidas de energía presentes en el circuito y la diferencia de altura topográfica.

A la sumatoria de las alturas que debe vencer una bomba se le denomina altura manométrica o altura dinámica total. Para EPANET, las bombas son de flujo unidireccional, de velocidad constante o variable. Para que una bomba pueda funcionar requiere de una serie de curvas que en su mayoría relacionan el caudal con la altura manométrica o altura dinámica total.

Válvulas

Las válvulas son elementos que principalmente controlan el flujo o caudal dentro de un tramo de tubería específico. Los diferentes tipos de válvulas varían con base en los tipos de mecanismos que utilizan para estrangular el flujo.

Sus aplicaciones en sistemas de suministro de agua potable dependen del tipo de red hidráulica: si son para redes matrices, redes menores o para uso en instalaciones hidráulicas de edificaciones, todo depende del nivel de complejidad que posea el sistema hidráulico. (DE PLAZA, J. 2017)

5.2.3. WEAP

Es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas. WEAP tiene una amplia base de usuarios en todo el mundo y está disponible en diferentes idiomas, incluido el español. WEAP explícitamente incluye demandas de agua con prioridades asociadas y usa escenarios para evaluar diferentes esquemas de distribución del recurso. WEAP incluye un modelo hidrológico, así como varios módulos que permiten integrar WEAP con el modelo de agua subterránea MODFLOW y con el modelo de calidad del agua QUAL2K. WEAP también ha sido utilizado en conjunción con modelos socio-económicos.

WEAP tiene una audiencia múltiple dependiendo del tipo de interacción. Abarca a un gran número de usuarios, desde aquellos encargados de la planificación hidrológica, hidrólogos, agrónomos, economistas, hasta funcionarios públicos encargados del recurso hídrico, y comunidades locales. Usando la esquemática de WEAP, entidades públicas de planeación de agua y comunidades locales pueden colaborar en la descripción física de la zona de interés. Una vez el sistema está construido, se pueden implementar las demandas y suministros de agua y observar el balance del recurso en la región.

Descripción y Aplicaciones de WEAP

WEAP apoya la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca) con la demanda de agua (caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta). WEAP emplea una paleta de diferentes objetos y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica que puede ser usada para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores de

recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible. A diferencia de otros modelos de recursos hídricos típicos basados en modelación hidrológica externa, WEAP es un modelo forzado por variables climáticas. Por otra parte, y de manera similar a estos modelos de recursos hídricos, WEAP incluye rutinas diseñadas para distribuir el agua entre diferentes tipos de usuarios desde una perspectiva humana y ecosistémica. Estas características convierten a WEAP en un modelo ideal para realizar estudios de cambio climático, en los que es importante estimar cambios en la oferta de agua.

Los anteriores modelos mencionados son conocidos comúnmente en el campo de la utilización y por su gran aporte para la estructuración de proyectos de redes hídricas que permiten optimizar las fuentes de agua. Pero se debe tener en cuenta que el software EPANET es una herramienta de libre uso a diferencia del software WEAP. A continuación, se nombra otra herramienta informática que ayuda en la modelación de la ingeniería hidráulica.

A continuación, se muestra una tabla en la cual se ven los datos necesarios para calibrar un modelo en WEAP estos datos son generales y se puede ampliar los datos poseen una prioridad 1 como más importante y 2 con menor importancia. (SEI. 2009).

Tabla 6.**Datos básicos para modelar en WEAP.**

Datos requeridos para alimentar un modelo y durante el proceso de calibración	Prioridad	Formato preferido	Notas
Datos de entrada - demandas			
Uso de suelo			
<ul style="list-style-type: none"> Modelo de elevación digital (DEM) 	1	GIS	Estos datos son necesarios para caracterizar la cuenca
<ul style="list-style-type: none"> Cobertura vegetal 	1	GIS	
<ul style="list-style-type: none"> Tipo de suelo 	2	GIS	
<ul style="list-style-type: none"> Geología 	2	GIS	
<ul style="list-style-type: none"> Áreas de cultivo irrigada 	1	GIS, Excel o texto csv	
<ul style="list-style-type: none"> Tecnologías de irrigación 	1	GIS, Excel o texto csv	
Clima			
<ul style="list-style-type: none"> Precipitación (serie de datos históricos, promedios mensuales) 	1	Excel o texto csv	Estos datos son necesarios para alimentar el modelo con condiciones climáticas, precipitación y temperatura deben ser promedios de cada paso de tiempo dentro del periodo de modelación, mientras que humedad relativa y viento pueden ser un promedio aproximado
<ul style="list-style-type: none"> Temperatura 	1	Excel o texto csv	
<ul style="list-style-type: none"> Humedad relativa 	1	Excel o texto csv	
<ul style="list-style-type: none"> Viento (promedios mensuales) 	1	Excel o texto csv	
<ul style="list-style-type: none"> Cobertura de nubes 	2	Excel o texto csv	
<ul style="list-style-type: none"> Latitud 	1	GIS, Excel o texto csv o capas GIS para extraer datos	
Sitios de demanda (zonas agrícolas)			
<ul style="list-style-type: none"> Número de usuarios 	1	No hay formato preferido	Aunque las demandas agrícolas se pueden estimar dentro del modelo hidrológico, también se pueden agrupar en un sitio de demanda
<ul style="list-style-type: none"> Consumo per cápita 	1	No hay formato preferido	
<ul style="list-style-type: none"> Variación mensual 	1	No hay	

		formato preferido	
<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de retorno 	1	No hay formato preferido	
Datos de entrada – suministro y recursos			
Reservorios	1	No hay formato preferido	Si existen reservorios, es importante tener información sobre su localización y sus características físicas y de operación
Datos físicos			
<ul style="list-style-type: none"> Capacidad de almacenamiento Volumen inicial Curva de volumen/elevación Evaporación Pérdidas de agua subterránea 			
Datos de operación			
<ul style="list-style-type: none"> Máximo nivel de conservación Máximo nivel de seguridad Máximo nivel inactivo 			
Datos para alimentar el modelo durante el proceso de calibración			
Capacidad hidroeléctrica	1	No hay formato preferido	El modelo requiere estos datos para poder calcular producción hidroeléctrica
Requerimientos de caudales mínimos	2	No hay formato preferido	
Canales para extracción de agua (canales de irrigación)	1	No hay formato preferido	Es necesario saber la localización de los canales y acuíferos
Agua subterránea	2	No hay formato preferido	
Datos para calibrar el modelo			
Ríos			
<ul style="list-style-type: none"> Series de tiempo caudales 	1	Excel, texto csv	Estos datos son importantes para chequear el comportamiento del modelo, y realizar la calibración

5.2.4. Modelo Hidrológico SWAT

El modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) que en español es herramienta para la evaluación del suelo y agua, para una cuenca hidrográfica este fue desarrollado por el Dr. Jeff Arnold en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos con la Universidad de Texas; su propósito es predecir el impacto que generan las prácticas del manejo del suelo en el recurso agua y en la generación de sedimentos en una cuenca hidrográfica.

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo de tiempo continuo, es decir es a largo plazo y no está diseñado para simular un solo evento. El modelo SWAT utiliza como datos de entrada información específica sobre el clima y tiempo, propiedades de suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo de tierra en las cuencas. Así mismo SWAT modela procesos físicos relacionados con el movimiento del agua, de sedimentos, desarrollo de cosechas, ciclo de nutrientes, entre otros. Las ventajas que tiene el modelo SWAT es que se puede trabajar con una interface gráfica en ArcGIS, lo cual hace más fácil su manejo y utilización; la predicción sobre el impacto relativo de los datos de entrada alternativos sobre la calidad del agua y otras variables de interés, se puede cuantificar; el modelo cuenta con un método ágil de extrapolación e integración de la información; la disponibilidad de datos de entrada y salida es inmediata; el modelo cuenta con un amplio proceso de iteraciones de procesos físicos; es un modelo gratuito.

El modelo SWAT se basa en el balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca. SWAT divide en pequeñas subcuencas la cuenca hidrográfica para su modelamiento con el propósito de mejorar la exactitud de los cálculos. Adicionalmente el modelo SWAT trabaja por unidades de respuesta hidrológica (HRU) como resultado del cruce de los diferentes tipos de suelo, con el uso y cobertura del suelo.

El modelo SWAT realiza la simulación de la hidrología de la cuenca en dos divisiones: la primera es la fase terrestre del ciclo hidrológico que controla la cantidad de agua, sedimento y pesticidas transportados al canal principal por cada subcuenca. La segunda división es la del agua o la fase de rutina la que puede definirse como el movimiento del agua, sedimentos, etc., a través de la red del canal hasta el sitio de descarga de la cuenca.

La calibración y validación del modelo es un factor clave para reducir la incertidumbre y el aumento en la capacidad de predicción, convirtiéndole en un modelo más eficaz para análisis de información. Por lo tanto, la calibración hidrológica es el primer paso en la comprensión del complejo proceso hidrogeológica de la cuenca, su análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo ayuda a comprender el comportamiento de la respuesta de la cuenca y sus interacciones.

Componentes

- Del ciclo terrestre: Meteorología, hidrología, erosión/sedimentos, temperatura del suelo, crecimiento de las plantas, nutrientes, pesticidas, manejo agrícola, cargas de sedimentos y nutrientes desde áreas urbanas, crecimiento y extinción de bacterias, y cálculos de latencia modificados para zonas tropicales.
- En los ríos: tránsito de crecidas, sedimentos, nutrientes y químicos orgánicos dentro del canal principal, junto a transporte de bacterias desde la fase terrestre hasta la red de canales.
- Embalses y otros estanques: Balance hídrico (considerando entrada, salida, las precipitaciones en la superficie, la evaporación, la filtración de la parte inferior del depósito, y desvíos), decantación de sedimentos, y algoritmos simplificados para el transporte de nutrientes y transformación de plaguicidas.

- Aportes/extracciones: Desviaciones de agua hacia, desde o dentro de la cuenca pueden ser modeladas para representar riego, abastecimiento de agua y otros retiros del sistema.

5.2.5. HECRAS 5.0

HEC-RAS es una aplicación informática de libre distribución, ampliamente difundida y que se aplica como herramienta de modelización en el ámbito de la ingeniería hidráulica. El uso está orientado a la modelización hidráulica unidimensional y bidimensional del flujo en lámina libre en cauces naturales y canales artificiales. La aceptación del uso de este programa alcanza un nivel internacional, siendo una de las herramientas más empleadas en su campo. Ver Figura 11.

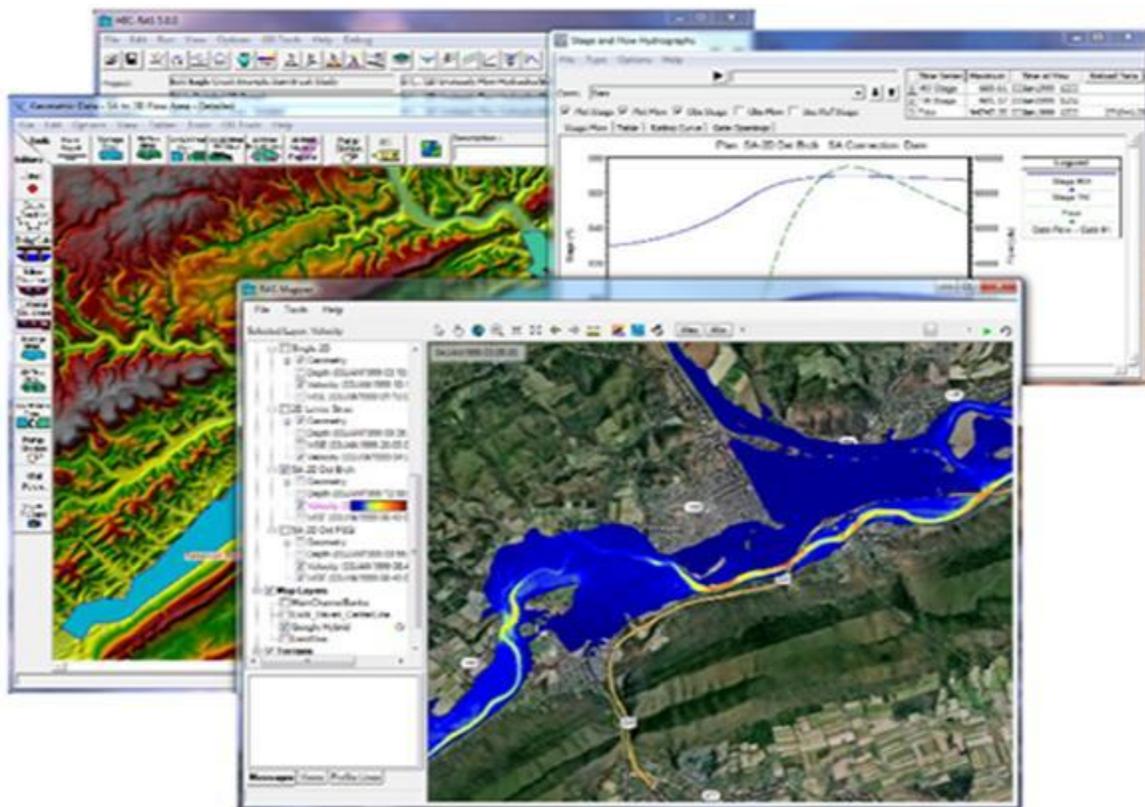


Figura 5. Modelo HEC-RAS

Fuente. HIDROLOGIC ENGINEERING CENTER. 2013.

Potencial del software:

- Modelizar sistemas de cauces fluviales y redes de canales.
- El programa también puede simular los efectos provocados por la presencia de estructuras en el cauce sobre la llanura de inundación, y determinar las velocidades de corriente a la entrada y salida de puentes y obras de drenaje.
- Modelización de rotura de presas, balsas y diques.
- La modelización de estaciones de bombeo.
- El cálculo de los efectos de la apertura y cierre de compuertas o la modelización de zonas de embalsamiento de agua.
- Transporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de aguas. CORDOVA Y. E. (2016)

Los softwares antes mencionados no son los únicos que se encuentran para la modelación hídrica, en la actualidad se encuentran un sinnúmero de estas herramientas que ayudan al usuario a prevenir y solucionar problemas en zonas de estudio específicas. Las ventajas del manejo de estas herramientas son muchas además de la reducción de costos, el manejo ambiental, y el mejor uso del riego en la agricultura, también benefician a sectores de la ingeniería civil entre otras, el manejo de un software permite tener una idea de lo que se puede realizar, pero no son exactas ya que estas herramientas dependen de la información que se les administre por lo tanto la decisión de tomar el esquema que se presenta por la modelación dependerá del usuario.

Para finalizar las herramientas informáticas para la modelación de redes hídricas permiten dar una visión de lo que se puede desarrollar en zonas rurales de pequeña explotación y de esta manera mejorar la calidad de vida de la población además de mejorar el manejo del recurso hídrico y que este pueda ser utilizado de la manera más óptima y contribuir al medio ambiente a

que las fuentes de agua permanezcan y no sean sobreexplotadas y así mantener nuestro recurso más valioso en la actualidad.

Los softwares de modelación no solo están presentes para la elaboración de esquemas de redes hídricas también permiten realizar varias tareas ambientales, agrícolas y forestales para el mejoramiento territorial y la sostenibilidad de la población.

6. CONCLUSIONES

En la actualidad la presencia de diferentes tipos de softwares para el manejo de riego son numerosos y con distintos procesos los cuales facilitan el diseño de redes hídricas con requerimientos diferente entre ellos, por lo cual la necesidad de recolectar la mayor diversidad de información se ve como el paso principal para la elaboración de cualquier diseño hídrico, por lo que el informe presenta algunos informes o ensayos necesarios para el funcionamiento de cada software con sus diferentes componentes.

La utilización de herramientas informáticas como los softwares de modelación y simulación de redes hídricas permiten implementar sistemas óptimos para el manejo del agua teniendo en cuenta que entre más información la red hídrica será más precisa al momento de su realización.

Uno de las grandes facilidades que presentan los softwares en la actualidad es la unión de los procesos que se realicen en cada software, ya que estos permiten que un software pueda incorporar la información realizada a otro para mejorar el diseño de la red y acercarlo lo más posible a la realidad; esto se puede siempre y cuando el formato del proyecto que se realizo sea compatible con el software en el cual se va a incorporar.

La modelación de redes hídricas permite que el usuario tenga una mayor capacidad de desarrollo en los cultivos y mayores producciones logrando mejores capacidades de comercio y competencia con grandes mercados, incorporando nuevas tecnologías a zonas de bajos índices de producción y permitiendo el mejor desarrollo de los cultivos y mejorando su calidad para así poder incorporarlos a mercados con una mayor competitividad y mejores precios de venta.

7. RECOMEDACIONES

- Se debe tener en cuenta que la recolección de la información es el primer paso para el desarrollo de modelos matemáticos de desarrollo de redes hidráulicas.
- Los distritos de riego son herramientas para conservar fuentes de agua y mejorar la utilización de la misma. No es una solución a la problemática de los déficits del recurso hídrico.
- El software utilizado puede ir acompañado de más sistemas de información geográfica (SIG) y de esta manera mejorar la estructuración de los modelos a realizar.
- Los análisis ambientales son importantes ya que la preservación del recurso hídrico se ve más crítico en la actualidad ya que se ha utilizado este recurso sin ninguna precaución de los posibles efectos que se han ido generando a través del tiempo,

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADR. 2017. Manual de Normas Técnicas Básicas para Adelantar la Identificación de Proyectos de Adecuación de Tierras. Agencia de Desarrollo Rural (ADR). Bogotá. Colombia.
- AGROLOGICA 2018. <http://blog.agrologica.es/tabla-diametros-normalizados-interior-y-exterior-para-tuberias-de-pvc-segun-la-presion-riego/>. España
- AGUDELO, L., & PINO, V. 2012. Diseño de la Red de Distribución de un Mini-Distrito de Riego para los Corregimientos la Palma y Tres puertas, Municipio de Restrepo (Valle del Cuca). Santiago de Cali. Colombia.
- ARANGO, J. 2002. Aspectos Fundamentales de los Sistemas de Riego. Universidad Nacional. Medellín. Colombia.
- AUX, J. & BENAVIDES, L. 2015. Control Automatizado de un Sistema de Riego y Fertirriego. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia.
- CABRERA, L. ORTEGA, M. 2016. Cartografía Temática para el Desarrollo del Distrito de Riego en la Vereda Bellavista del Municipio de San Lorenzo Mediante Herramientas Sig. Universidad de Manizales. Manizales
- CASTRO, C. SANCHEZ, M. 2006. Estudio de Factibilidad del Distrito de Riego para el Municipio de Nemocon. Universidad de la Salle. Bogotá. Colombia.
- CATAÑEDA, Y. 2016. Modelación del Efecto del Cambio de Uso del Suelo en la Cuenca del Rio Coello, Bajo Escenario de Cambio Climático. A través de la aplicación del modelo Hidrológico SWAT. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.

- CODESIA LTDA. 2006. Actualización y Complementación de los Estudios y Diseños del Distrito de riego a Pequeña Escala Crucero Nogales y Frisoles. Municipio de Buga. Valle del Cauca.
- CHAMORRO, D. 2015. Apoyo Técnico para el Consorcio TRESA en la Ejecución del proyecto denominado “Construcción del Distrito de Riego de Adecuación de Tierras de Pequeña Escala Corregimiento de San Pedro”. Universidad de Nariño. Pasto.
- CORDOVA Y. E. (2016) Comunidad de Practica. Ciencia para la Adaptación. <http://para-agua.net/explorar/noticias/958-algunos-instrumentos-de-software-libre-para-ingenieria-de-los-recursos-hidricos>.
- CORPOICA. 1999. Manual de Asistencia Técnica No. 5. Manejo de Cultivos Bajo Riego a Pequeña Escala. Colombia.
- DE LA CRUZ, Y. MARTINEZ, C. 2015. Diseño e Implementación de un Sistema de Riego por Goteo Basado en Control Distribuido. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia.
- DE PLAZA, J. 2017. Ejercicios Prácticos en EPANET. Ejercicios Básicos de Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicados a Través del Software de Distribución Gratuita EPANET. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá.
- DUARTE, J. 2015. Metodología de Estudio de Impacto Ambiental Aplicada a Distritos de Riego de Pequeña Escala en Ladera. Bogotá, Colombia
- ESTRADA, V. 2012. Modelación Hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. Santiago de Cuba. Cuba
- FERNANDEZ, M. 2013. Diagnóstico de Modelos Agroclimáticos. Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo – FONADE E IDEAM.

- FILIAN, G. 2004. Utilización de EPANET a un Sistema de Agua Potable. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- FLOREZ, F. et al. 2011. Huila: Líder en Distritos de Riego en Colombia. Informe Técnico y de Gestión. Huila, Colombia
- GALVEZ, G. et al. 2010. Modelación de Cultivos Agrícolas. Algunos Ejemplos. Cultivos Agrícolas, vol. 31, No 3. La Habana. Cuba.
- GARCIA, M. 2006. Modelación y Simulación de Redes Hidráulicas a Presión Mediante Herramientas Informáticas. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena. Colombia.
- HIDROLOGIC ENGINEERING CENTER. 2013. US Army Corps of Engineers, <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>. USA.
- INAT, 2003. Guía Ambiental Para la Construcción y Operación de Proyectos de Adecuación de Tierras (Distritos de Riego y/o Drenaje). Instituto Nacional de Adecuación de Tierras. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá. Colombia.
- INCODER. 2005. Términos de Referencia para la Ejecución de Estudios y Diseños Detallados del Proyecto de Irrigación en Pequeña Escala. Bogotá. Colombia
- INOSTROZA, J. MENDEZ, P. 2009. Manual de Papa para la Araucanía Manejo y Plantación; IV Métodos de Riego. INIA Carillanca. Temuco Chile.
- LAPO, C. M. 2012. Diseño Optimo de Sistemas de Riego a Presión y su Eficiencia Hidro-Energética Aplicación en el Caso de Loja. Ecuador.
- LASCANO, R. MUNEVAR, F. 2000. Criterios Técnicos para la Selección de Sistemas de Riego: Aplicación al Cultivo de Palma de Aceite en Colombia. Colombia

- MARTINEZ, F. 2003. EPANET: Una potente herramienta para el análisis de redes de distribución de agua a presión. Universidad Politécnica de Valencia.
- MORGER, C. 2006. FOCUS, No 3/06. Agua para la Alimentación- Una Cuestión de Supervivencia. Inforesources.
- NARVAEZ, D. 2016. Revisión de Funcionamiento de un Distrito de Riego a Pequeña Escala en el Municipio de Potosí – Nariño, Empleando Software de Simulación. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. Colombia,
- OJEDA, E. 2000. Agua para el Siglo XXI para América del Sur de la Visión a la Acción. Informe Nacional Sobre la Gestión del Agua en Colombia. Santa fe de Bogotá. Colombia.
- PEREIRA, L. 2010. El Riego y Sus Tecnologías. Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla La Mancha “CREA-UCLM”. Albacete. España.
- PEREZ, O. et al. 2006. Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos. Instituto Nacional de Ecología. México.
- PRADA, J.A. & PARRA, D.F. 2005. Diseño de una Metodología para la Evaluación Participativa de Sistemas de Pequeña Irrigación. Tesis pregrado Ingeniería Agrícola. Universidad del Valle – Universidad Nacional. Santiago de Cali, Colombia.
- RESTREPO, J. 2010. Distritos de riego en Colombia. Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá. Colombia. 20 pág.
- ROMERO, D. 2017. Aprovechamiento de Aguas Superficiales para Mini-Distrito de Riego en la Vereda “Labrancitas”, En Paz de Ariporo, Casanare. Universidad Santo Tomas. Bogotá.
- ROSSMAN, L. ed. Rev. 2017. EPANET 2.0 en Español Análisis Hidráulico y de Calidad en Redes de Distribución de Agua. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

SALAS, A. PEREZ.L. UNIVERSIDAD DE SEVILLA. 2007. [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_12.htm)

[riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_12.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_12.htm). Sevilla.

SEI. 2009. Guía Metodológica. Modelación Hidrológica y Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Santiago. Boston.

SOTO, E. 2016. Implementación de un Modelo de Gestión para la Adecuada Administración del Recurso Hídrico Demandado por el Distrito de Riego “Asotoquecha” en el Municipio de Tota. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Bogotá.

TELLO, P. SANCHEZ, F. 2016. Estudio Hidrológico y Diseño Hidráulico de Obras de Captación y Conducción para la Implementación de un Nuevo Sistema de Riego en una Tierra de Cultivo para Palta en el Distrito de Luricocha de la Provincia de Huanta – Departamento de Ayacucho. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú.

URRUTIA, N. 2006. Sustainable Management After Irrigation system transfer. Experiences in Colombia – The RUT Irrigation District. Taylor & Francis Group. Delft, The Netherlands.