



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Fiabilidad en sistemas de riego a presión en parcelas utilizando software.

**TRABAJO DE TITULACIÓN.**

**AUTOR:** Silverio Ludeña, Néstor Fabricio

**DIRECTOR:** Lapo Pauta, Carmen Mireya, MSc.

LOJA – ECUADOR

2016



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2016

## APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magister.

Carmen Mireya Lapo Pauta.

### DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Fiabilidad en sistemas de riego a presión en parcelas utilizando software** realizado por **Silverio Ludeña Néstor Fabricio**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Octubre del 2016

f).....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo **Silverio Ludeña Néstor Fabricio** declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Fiabilidad en sistemas de riego a presión en parcelas utilizando software, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo Carmen Mireya Lapo Pauta directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Autor: Silverio Ludeña Néstor Fabricio

Cédula: **1104674948**

## **DEDICATORIA**

**Dedico este trabajo primeramente a Dios por ser fuente natural de inspiración e inteligencia; así mismo a mis padres Lic. Mireya Ludeña e Ing. Néstor Silverio por sus consejos y ser pilares fundamentales para la culminación de mis estudios superiores; a mi hermano Juan Pablo por su apoyo, y a todos los que me ayudaron incondicionalmente en esta etapa de mi vida**

## **AGRADECIMIENTO**

**Agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja en especial a nuestros maestros quienes han sembrado sus conocimientos y ejemplos, los cuales me servirán para un buen desempeño profesional.**

**De manera particular a mi profesora MSc. Mireya Lapo Pauta quien pacientemente dirigió el desarrollo del presente trabajo de titulación, aporte fundamental para concluir satisfactoriamente esta investigación.**

**Así mismo a todas las personas que de una u otra forma me han guiado para poder terminar el presente trabajo.**

## INDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
INDICE DE CONTENIDOS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	6
1. MARCO TEORICO .....	6
1.1. Evapotranspiración de referencia del cultivo .....	7
1.1.1 Método del tanque evaporímetro .....	7
1.1.2 Método de Penman modificado.....	9
1.1.3 Método de Blaney y Criddle .....	12
1.2. Estimación de la eficiencia en zonas de riego .....	15
1.2.1 Eficiencia de conducción.....	15
1.2.2 Eficiencia de distribución.....	15
1.2.3 Eficiencia de aplicación.....	15
1.3. Fiabilidad.....	15
1.3.1 Índice general de fiabilidad (IGF) .....	16
1.4. Redes o sistemas de riego .....	16
1.4.1 Partes de un sistema de riego.....	16
1.5. Modalidades de riego .....	17
1.5.1 Riego por turnos .....	17
1.5.2 Riego a la demanda.....	18
1.6. Tipos de riego en parcela .....	18

1.6.1 Riego por aspersión o micro-aspersión.....	18
1.6.2 Riego por goteo .....	18
1.6.3 Eficiencia de riego [Ed] .....	19
1.7. Emisores .....	19
1.8. Clasificación de emisores.....	19
1.8.1 Emisor tipo gotero.....	19
1.8.2 Emisor difusor.....	19
1.8.3 Emisor microaspersor .....	20
1.9. Curva característica del emisor .....	20
CAPÍTULO II.....	22
2. DATOS, MATERIALES Y EQUIPOS.....	22
2.1. Datos.....	23
2.2. Información agrotécnica de los cultivos utilizados .....	23
2.3. Características de los tipos de suelos usuales de acuerdo a su textura .....	23
2.4. Tipos de emisores existentes en el mercado para sistema de riego por aspersión y micro-aspersión.....	23
2.5. Tuberías con unión por sellado elastomérico (UZ) y unión por cementante solvente (EC) para riego.....	23
CAPÍTULO III.....	27
3. METODOLOGÍA .....	27
3.1. Primera etapa: Determinación del régimen de cultivo.....	28
3.2. Segunda etapa: Determinación de las características hidráulicas para un sistema de riego en parcela.....	39
3.2.1 Identificación del nudo critico .....	39
3.2.2 Pérdidas de carga por longitud de tubería.....	40
3.2.3 Pérdida de carga por accesorios expresados en longitud de tubería .....	40
3.2.4 Velocidad en tramos de tubería .....	40
3.3. Tercera etapa: Implementación de herramienta computacional [HC] en Microsoft Excel para la determinación del régimen de cultivo .....	43
3.3.1 Datos de la parcela .....	43



3.3.2 Datos del suelo .....	43
3.3.3 Datos del clima .....	44
3.3.4 Elección del tipo de sistema de riego .....	44
3.3.5 Resultados agronómicos.....	48
3.3.6 Primera comprobación: Precipitación horaria Infiltración básica.....	48
3.3.7 Segunda y tercera comprobación. ....	50
3.3.8 Cuarta comprobación.....	50
3.3.9 Optimización del diseño.....	50
3.4. Cuarta etapa: Implementación de herramienta computacional en Microsoft Excel para la determinación de las características hidráulicas de la red .....	51
3.4.1 Identificación del nudo crítico en la parcela .....	52
3.4.2 Determinación del caudal total [Qi] .....	52
3.4.3 Pérdidas de carga por accesorios.....	54
3.4.4 Prediseño del sistema de riego .....	55
3.5. Quinta Etapa: Comprobación de resultados de herramienta computacional (HC) en Microsoft Excel con software libre .....	59
CONCLUSIONES .....	61
RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS.....	64

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tanque evaporímetro.....	7
Figura 2: Ubicación del tanque evaporímetro.....	8
Figura 3: Tanque evaporímetro clase A .....	9
Figura 4: Tanque enterrado tipo colorado .....	9
Figura 5: Comparación de resultados de software libre "CROPWAT" con método de Penman modificado .....	14
Figura 6: Red de distribución para riego .....	17
Figura 7: Emisor aspersor.....	19
Figura 8: Emisor tipo microaspersor .....	20
Figura 9: Curva característica del emisor.....	21
Figura 10: Captura de imagen de (HC) para el ingreso de datos de la parcela .....	43
Figura 11: Captura de imagen de (HC) para la selección del tipo de suelo.....	43
Figura 12: Captura de imagen de (HC) para el ingreso de datos climáticos.....	44
Figura 13: Captura de imagen de (HC) para la elección del tipo de emisor.....	45
Figura 14: Captura de imagen de (HC) para alertar que el emisor seleccionado se encuentra fuera de presión de rango .....	46
Figura 15: Disposición rectangular de emisores.....	46
Figura 16: Disposición triangular de emisores .....	47
Figura 17: Captura de imagen de (HC) para la disposición de emisores.....	47
Figura 18: Explicación gráfica sobre la relación suelo-agua-planta.....	48
Figura 19: Captura de imagen de (HC) para la primera comparación del sistema .....	49
Figura 20: Captura de imagen de (HC) para dar alerta en caso de no cumplir la primera comparación.....	49
Figura 21: Captura de imagen de (HC) para optimización del sistema de riego.....	50
Figura 22: Captura de imagen de (HC) para alertar en caso de no cumplirse alguna condición .....	51
Figura 23: Presiones y caudales en una subunidad de riego .....	52
Figura 24: Ubicación del emisor más alejado respecto a la fuente de abastecimiento .....	52
Figura 25: Balance de caudales.....	53
Figura 26: Captura de imagen de (HC) para la elección del tipo de accesorio .....	55
Figura 27: Captura de imagen de (HC) para el cálculo del diámetro teórico .....	56
Figura 28: Captura de imagen de (HC) para el cálculo de velocidad en tramos de tubería y chequeo de presiones de cada emisor.....	58
Figura 29: Captura de imagen de (HC) para alertar en caso de no cumplirse la presión de trabajo en la tubería.....	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados obtenidos entre software "CROPWAT" y Penman modificado .....	14
Tabla 2: Fiabilidad de los datos según el IGF .....	16
Tabla 3: Información agrotécnica referencial de cultivos utilizados .....	24
Tabla 4: Características de los tipos de suelos usuales de acuerdo a la textura .....	25
Tabla 5: Tipos de emisores.....	25
Tabla 6: Especificaciones para tuberías con unión por sellado elastomérico (UZ) y unión por cementado solvente (EC) para riego.....	26
Tabla 7: Perdidas de fricción por accesorios.....	40
Tabla 8: Ejemplo de red hidráulica para riego en parcela .....	54
Tabla 9: Comparación de resultados de (HC) con software libres.....	60
Tabla 10: Coeficiente $K_p$ , en el caso de tanque clase A, para diferentes cubiertas .....	65
Tabla 11: Coeficiente $K_p$ , en el caso de tanque enterrado tipo colorado, para diferentes cubiertas .....	65
Tabla 12: Factor de corrección del viento en función de la altura de medición.....	66
Tabla 13: Factor de ponderación W para efectos de la radiación sobre $E_{To}$ a diferentes temperaturas y latitudes.....	66
Tabla 14: Corrección para la temperatura $f(t)$ con respecto a la radiación de ondas largas $R_{nl}$ .....	67
Tabla 15: Radiación extraterrestre $R_a$ expresada en equivalente de evaporación, en mm/día (Hemisferio Norte).....	68
Tabla 16: Radiación extraterrestre $R_a$ expresada en equivalente de evaporación, en mm/día (Hemisferio Sur).....	69
Tabla 17: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes (Hemisferio Norte) .....	70
Tabla 18: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes (Hemisferio Sur) .....	71
Tabla 19: Factor de corrección C para una ecuación Penman determinada .....	72
Tabla 20: Resumen de cálculos para determinar la evapotranspiración de referencia $E_{To}$ .	73
Tabla 21: Porcentaje de horas diurnas, p, en la ecuación de Blaney-Criddle.....	74
Tabla 22: Coeficientes de uso consuntivo mensual K para uso en la ecuación de Blaney-Criddle .....	74
Tabla 23: Coeficientes de uso consuntivo estacional $K_s$ , para uso en la ecuación de Blaney-Criddle, para cosechas irrigadas, en el Occidente de los Estados Unidos .....	75

## **RESUMEN**

El presente proyecto de fin de titulación contiene el diseño de un sistema de riego a nivel de parcela. La creación del sistema está basada en una herramienta computacional usando Microsoft Excel para demostrar su fiabilidad, la cual esta comparada con 3 tipos de software libre tanto para el diseño agronómico como para el diseño hidráulico.

La herramienta computacional permitirá al usuario ingresar toda la información invariable sobre la parcela, suelo, clima y caudales de entrada de la fuente, para elegir el mejor modelo de emisor de acuerdo a su disposición en parcela, que satisfaga todas las condiciones básicas del riego.

Una vez elegido el emisor que se ajuste a las condiciones agronómicas se realiza el cálculo hidráulico que consiste en la elección del diámetro adecuado para cumplir presiones de consigna en cada emisor y velocidades de circulación en las tuberías de la parcela, garantizando la tarea de regar.

**PALABRAS CLAVES:** Sistemas de riego, balance hídrico, fiabilidad.

## **ABSTRACT**

This thesis contains the design of an irrigation system focused on plots, through the creation of a computerized tool in Microsoft Excel showing its reliability when compared with three types of free software in both, the agronomic design and the hydraulic design.

The computerized tool will allow the user to upload all information about the plot, soil, climate and the flow source to the storage tank in order to select the best sprinkler model according to its location on the plot, which also meets all the basic conditions of irrigation.

Once the appropriate sprinkler has been chosen, a hydraulic calculus will be done, which determines the selection of the correct pipe diameter that gives the necessary pressure and flow rates in the plot, ensuring the task of irrigation.

**KEY WORDS:** Irrigation system, water balance, reliability

## INTRODUCCIÓN

Comúnmente los sistemas de riego en la sierra ecuatoriana y en la Provincia de Loja, cuentan solamente con captación, conducción principal y secundaria, prescindiendo de la estructura hidráulica a nivel de parcela obligando al agricultor a utilizar métodos tradicionales de riego lo que produce erosión, arrastre de sedimentos y un desperdicio del recurso hídrico.

El diseño de un sistema de riego a presión a nivel parcelario, implica básicamente calcular las necesidades de agua de los cultivos en su periodo crítico, determinando el régimen de riego del cultivo seleccionado y el volumen de agua por ciclo de riego (Avidan, 1994; Saldarriaga, 2007).

El cálculo de las necesidades de agua, demanda de una serie de información sobre la parcela, suelo, clima y fuente de abastecimiento, así como de información susceptible de modificarse como la referente al tipo de cultivo y sistema de riego a ser adoptado.

Este cómputo satisface las condiciones básicas del riego de forma secuencial, cumpliendo los siguientes parámetros (Avidan, 1994):

1. Que la precipitación entregada por el sistema sea menor a la velocidad de infiltración del suelo, para que no exista escorrentía superficial evitando la erosión y optimizando el recurso hídrico.
2. Que la lámina de riego ajustada o lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) sea menor que la disponible, para garantizar que la planta tenga una sustentación en sus raíces.
3. Que el porcentaje de agua aprovechable sea menor al máximo recomendado para el cultivo, garantizando que el cultivo no entre en estrés hídrico para no afectar los rendimientos del mismo.
4. Que el caudal requerido sea menor o igual al disponible en la fuente de abastecimiento.

Ante esta problemática surgen algunas preguntas: ¿Cómo optimizar el recurso hídrico?, ¿Es posible conocer la dotación necesaria para varios cultivos?, ¿Se puede evitar el arrastre y erosión de los suelos en sistemas de riego a nivel de parcela?

El presente proyecto pretende contestar estas incógnitas mediante una sistematización metodológica para el cálculo de las necesidades de riego, en sistemas de riego presurizados a nivel de parcela, asegurando al técnico que con la utilización de la herramienta

computacional (HC) en Microsoft Excel podrá realizar la selección y el diseño del sistema de riego, económico y factible para pequeñas parcelas.

El objetivo general es: determinar la fiabilidad en sistemas de riego presurizado en parcelas con una herramienta computacional. Partiendo del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos que son: 1) Desarrollar una herramienta computacional en Microsoft Excel que permita el cálculo del régimen agronómico y el diseño hidráulico de sistemas de riego presurizados a nivel de parcela de algunos cultivos de la provincia de Loja. 2) Contar con una base de datos de las características agronómicas de algunos cultivos y de la misma forma con información referente a los tipos de emisores de riego por aspersión o microaspersión. 3) Mediante un ejemplo práctico comparar los resultados obtenidos de la herramienta computacional con software libre.

En lo que respecta al clima, se incorporará el cálculo de la evapotranspiración según Penman modificado donde se incluirán todas las tablas y el correspondiente detalle de las respectivas interpolaciones. Para la información del suelo se adiciona un software para realizar pruebas de infiltración con sus respectivos gráficos y comprobaciones.

La metodología utilizada para la creación de la herramienta computacional (HC) en Microsoft Excel para el cálculo del régimen agronómico y diseño hidráulico se llevó a cabo en 5 etapas de trabajo.

**La primera etapa** consiste en la revisión bibliográfica acerca de las necesidades hídricas del cultivo, explicando el cálculo de la misma mediante un ejemplo práctico siguiendo la metodología del Dr. Albert Avidan para la obtención de los resultados.

**La segunda etapa** es la determinación de las características hidráulicas mediante el diseño de redes ramificadas por velocidades, utilizando el método de Hazen-Williams para el cálculo de las pérdidas por longitud.

En **la tercera etapa** se genera la herramienta computacional (HC) para el cálculo del régimen agronómico, donde permite al usuario introducir ordenadamente todos los datos constantes de la parcela, suelo, clima, fuente de abastecimiento y del cultivo, así como introducir los datos variables del sistema de riego.

En la sección de **datos constantes** el proyectista puede ingresar la información en las unidades correspondientes, tales como: coeficientes de cultivo ( $K_c$ ); profundidades efectivas; espaciamiento entre plantas e hileras, etc.

En la sección de **datos variables** el proyectista debe ingresar la información de modelos de emisores actualizados y disponibles en el mercado, con la ayuda de datos sobre presiones

de operación, caudales de los emisores, diámetros húmedos, ángulos de cobertura, espaciamiento entre emisores, número de emisores por planta, etc.

**La cuarta etapa**, comprende la generación de la herramienta computacional para el cálculo de la red hidráulica en parcela; donde se indicarán los símbolos, unidades en la que se obtiene el resultado y las ecuaciones en la que se basa el cálculo, considerando el trazado de las líneas de distribución en forma rectangular, triangular o tres bolillos.

**La quinta etapa** consiste en la comprobación del diseño agronómico e hidráulico a través del uso de software libres, específicamente: CROPWAT 8.0, GESTAR 2016 y Epanet 2.0.



## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO TEORICO**

## 1.1. Evapotranspiración de referencia del cultivo

El clima es uno de los factores más importantes para predecir la evapotranspiración de un cultivo, pero existen otros factores que influyen en las tasas de crecimiento de un cultivo y su evapotranspiración como lo son: tipo de suelo, humedad, fertilizantes, tipos de riego, prácticas agrícolas y el tipo de cultivo cosechado. Existen diversos métodos para predecir la evapotranspiración potencial basados en condiciones climáticas ya que no se puede obtener datos exactos en condiciones reales (FAO56, 2006).

Varios de estos métodos se basan en las condiciones climáticas y el tipo de cultivo. Para el presente proyecto se utiliza el método de Penman modificado como es sugerido por el manual de la FAO 24 (FAO56, 2006; FAO24, 1990).

### 1.1.1 Método del tanque evaporímetro

Este método se lo utiliza en campo y mide la evaporación del agua en una superficie libre, de acuerdo al estado climático tomando en cuenta los efectos que tiene la radiación, la temperatura y la velocidad del viento como se observa en la **(figura 1)**; (FAO56, 2006).



Figura 1: Tanque evaporímetro

Fuente: (Centro de las nuevas tecnologías del agua, 2016)

La disminución del agua conseguida por el tanque evaporímetro difiere de la pérdida de agua producida por las plantas. Esta variación depende de factores como la turbulencia del aire, la temperatura y la humedad de la zona, así mismo la transferencia de calor hacia la cubeta enterrada (FAO56, 2006; Linsley, 1993).

La ubicación de la cubeta favorecerá o perjudicará sus resultados especialmente cuando la cubeta está enterrada en sitios con cultivos para el caso A y no en barbechos para el caso B **(figura 2)**, a pesar de estas dificultades se justifica su utilización en periodos de diez días o

más, considerando que todas las circunstancias se encuentren normalizadas y la buena ubicación de la cubeta (FAO56, 2006).

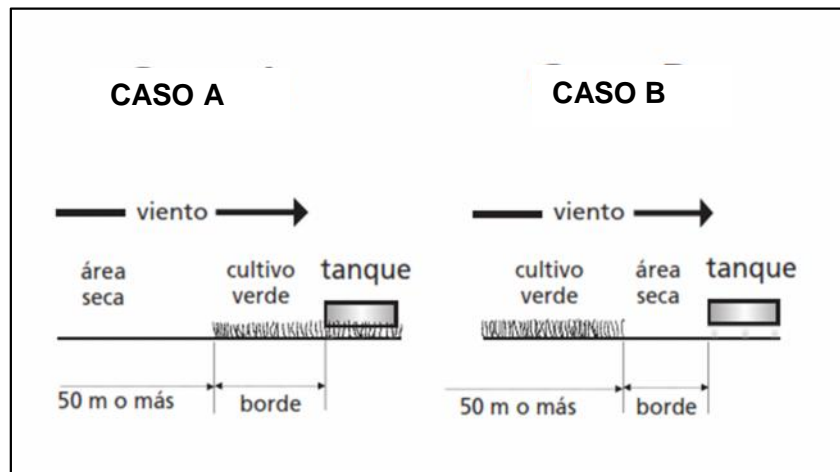


Figura 2: Ubicación del tanque evaporímetro

Fuente: (FAO56, 2006)

Para relacionar el valor de evaporación del agua con el valor de evapotranspiración del cultivo se han sugerido algunos coeficientes empíricos que toman en cuenta el clima, la cubeta escogida y el medio (FAO56, 2006).

El estudio FAO RIEGO Y DRENAJE 56 sugiere utilizar dos tipos de cubetas para medir la evaporación del agua, estos son: tanque clase A (**figura 3**) y tanque enterrado tipo colorado (**figura 4**) (FAO56, 2006).

A fin de predecir la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{To}$ ) se utiliza la siguiente ecuación: (FAO56, 2006).

$$E_{To} = K_p \times E_{pan}$$

Dónde:

$E_{To}$  : Evapotranspiración de referencia (mm/día)

$K_p$  : Coeficiente de la cubeta (**Tabla 10 y Tabla 11, sección anexos**)

$E_{pan}$  : Evaporación del agua en la cubeta (mm/día)

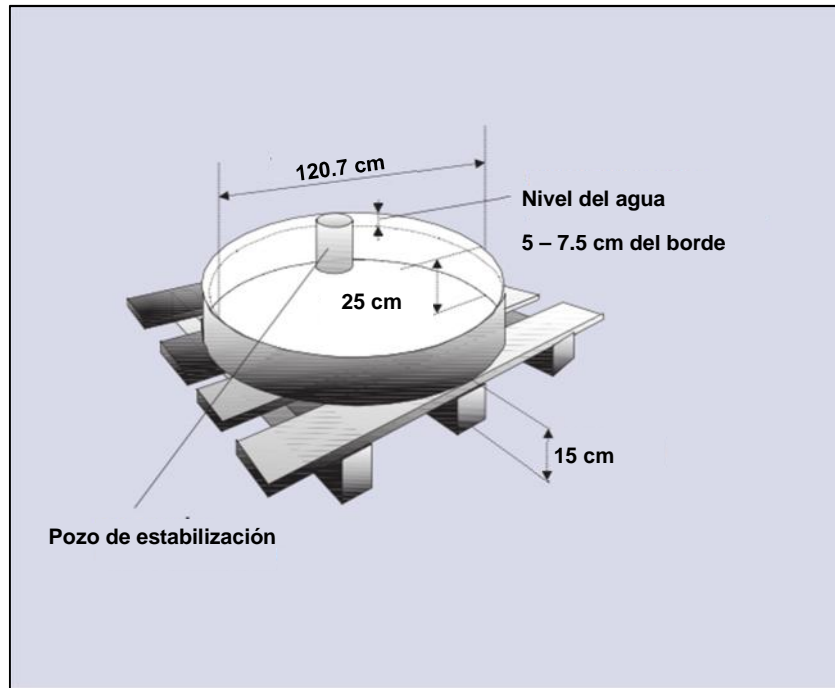


Figura 3: Tanque evaporímetro clase A

Fuente: (FAO56, 2006)

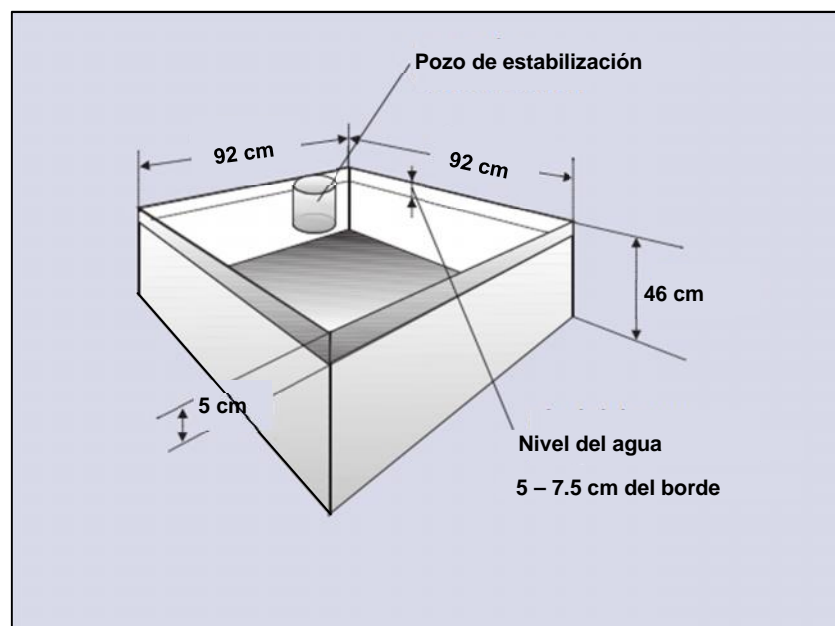


Figura 4: Tanque enterrado tipo colorado

Fuente: (FAO56, 2006)

### 1.1.2 Método de Penman modificado

Este método es una adaptación al método de Penman el cual utiliza como variables la temperatura, la humedad, el viento y la radiación el cual proporciona resultados más exactos para predecir los efectos del clima sobre la cantidad de agua que necesitan los cultivos (FAO24, 1990; FAO56, 2006).

Las ecuaciones y procedimientos que se presentan a continuación proponen una variación al método de Penman original que implica una corrección adicional para condiciones climáticas diurnas y nocturnas no representativa en climas donde se haya expresado la función del viento (FAO24, 1990; FAO56, 2006).

La ecuación utilizada para este método es la siguiente:

$$ET_o = C W \times R_n + 1 - W \times f u \times e_a - e_d$$

Dónde:

$ET_o$  : Es la evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

$C$  : Factor de corrección (adimensional)

$W$  : Factor de ponderación relacionado con la temperatura (**Tabla 13, sección anexos**)

$R_n$  : Radiación neta en equivalente de evaporación (mm/día)

$f(u)$  : función relacionada con el viento (km/día)

$(e_a - e_d)$ : Diferencia entre la presión saturante del vapor a la temperatura media del aire y la presión real del vapor medio del aire, ambas en milibares (FAO24, 1990; FAO56, 2006).

Para el cálculo de la evapotranspiración seguimos el siguiente procedimiento: (FAO24, 1990; FAO56, 2006).

1. Cálculo de la presión saturante  $e_a$ :

$$e_a = 6.11 \times e^{\frac{17.27 \times T_m}{237.3 + T_m}}$$

Dónde:

$T_m$  : Temperatura media (°C)

$e$  : Exponente  $\cong 2.7182$

2. Cálculo de la presión de vapor real en el aire  $e_d$

$$e_d = e_a \times \frac{H.R}{100}$$

Dónde:

$H.R$  : Humedad relativa media (%)

3. Cálculo de la función del viento  $f(u)$  (km/día)

$$f u = 0.27 \times 1 + \frac{V_2}{100}$$

Dónde:

$V_2$  : Corrección del viento (Km/día) (**Tabla 12, sección anexos**)

4. Cálculo del factor de ponderación  $W$ , la radiación extraterrestre  $R_a$ , y la duración máxima diaria  $N$

El factor de ponderación  $W$  se encuentra bajo efectos de radiación sobre la evapotranspiración y sus valores están relacionados con la temperatura y la altitud, estos datos se encuentran en la **Tabla 13, sección anexos**; (FAO56, 2006).

La radiación extraterrestre  $R_a$  se la ilustra en la (**Tabla 15 y Tabla 16, sección de anexos**) y la duración máxima diaria  $N$  está en función de diferentes meses y latitudes donde se pueden constatar en la **Tabla 17 y Tabla 18, sección de anexos**; (FAO56, 2006).

5. A continuación se utiliza una serie de ecuaciones que se recomiendan en el manual de la FAO N° 24

- $Ctte1 = 1 - \alpha \times 0.25 + 0.5 \times \frac{n}{N}$

Dónde:

$Ctte1$  : Coeficiente de reflexión (adimensional)

$n$  : Heliofania (horas/día)

$N$  : Duración máxima diaria (horas/día)

- $R_{ns} = R_a \times Ctte1$

Dónde:

$R_{ns}$  : Factor de conversión de la radiación extraterrestre  $R_a$  en radiación solar neta (adimensional)

$R_a$  : Radiación extraterrestre (mm/día)

- El valor  $f(t)$  que está en función de la temperatura media ( $T_m$ )

Este valor se lo encuentra en la tabla 14 en la sección de anexos.

- $f_{ed} = 0.34 - 0.044 \times e_d^{0.5}$

Dónde:

$f(ed)$  : Corrección para la presión del vapor con respecto a la radiación de ondas largas  $R_{nl}$  (adimensional)

$e_d$  : Presión de vapor real del aire (mbar)

- $f \frac{n}{N} = 0.1 + 0.9 \times \frac{n}{N}$

Dónde:

$f \frac{n}{N}$  : Corrección para la relación entre las horas reales de fuerte insolación y las máximas posibles con respecto a la radiación de ondas largas  $R_{nl}$  (adimensional)

- $R_{nl} = f t \times f ed \times f \frac{n}{N}$

Dónde:

$R_{nl}$  : Radiación neta de ondas largas (adimensional)

$f(t)$  : Valor en función de la temperatura media ( $T_m$ ) (**Tabla 14, sección anexos**)

- $R_n = R_{ns} - R_{nl}$

Dónde:

$R_n$  : Radiación neta (adimensional)

6. Por último se obtiene el factor de corrección C mediante la (**Tabla 19, sección anexos**)

Los valores presentados en la tabla antes mencionada se encuentran bajo diferentes condiciones de temperaturas máximas y la relación que existe entre el día y la noche. Estos datos suelen presentar problemas a la hora de obtenerlos ya que se debe contar con registros meteorológicos de diversas estaciones (FAO24, 1990; FAO56, 2006).

Por último se resume todos los cálculos que se realiza para la determinación de la evapotranspiración de referencia por el método de Penman modificado en la **Tabla 20, sección anexos**; (FAO24, 1990; FAO56, 2006).

### 1.1.3 Método de Blaney y Criddle

Para predecir los efectos que tiene el clima sobre la evapotranspiración, el método de Blaney y Criddle utiliza como variables climáticas la temperatura y porcentaje de horas diurnas, denominándose factor de uso consuntivo; se calcula con la siguiente ecuación: (Sáenz, 2008; FAO24, 1990).

$$U = \frac{t \times p \times K}{100}$$

Dónde:

U : uso consuntivo mensual (pulgadas)

- t : temperatura (°F)
- p : porcentaje de horas diurnas anuales en el periodo considerado (adimensional)
- K : coeficiente de uso consuntivo mensual (adimensional)

Si la temperatura es considerada en °C el factor de uso consuntivo se calcula con la siguiente ecuación (Sáenz, 2008):

$$U = \frac{Kp}{100} \times 45.72 \times t + 812.8$$

Para la variable “p” porcentaje de horas diurnas anuales se utiliza la **(Tabla 21, sección anexos)** y para el coeficiente de uso consuntivo del suelo la **(Tabla 22, sección anexos)**.

En las estaciones de cosecha el método de Blaney-Criddle considera:

$$U = K_s \times B$$

Dónde:

- U : uso consuntivo mensual (pulgadas)
- $K_s$  : coeficiente empírico en cosecha en un cultivo determinado **(Tabla 23, sección anexos)**.
- B : sumatoria de factores de uso consuntivo  $\sum \frac{tp}{100}$

En el presente proyecto se realiza una comparación del software libre CROPWAT con el método recomendado por el manual de la FAO 24 “Las necesidades del agua de los cultivos”

El software CROPWAT para el cálculo de la evapotranspiración entrega resultados con un 23% menos que el método utilizado y desarrollado en el manual de la FAO 24 "Las necesidades del agua de los cultivos".

Se considera que la subestimación que realiza CROPWAT al valor del  $E_{t_0}$ , se debe a que este software, internamente maximiza el parámetro aerodinámico, considerando las resistencias a la circulación del aire producida por las plantas y sobre ellas. (Resistencia de Canopia) (FAO24, 1990; FAO56, 2006).

Los resultados obtenidos de la comparación de los dos métodos se presentan a continuación en la tabla 1 y en la figura 5.



Tabla 1: Resultados obtenidos entre software "CROPWAT" y Penman modificado

ECUADOR					Por: Néstor Fabricio Silverio	
ESTACION	LA ARGELIA M33					
ALTURA	2160					
Latitud:	4,03 S				Vd/Vn. = 1	
Longitud:	79,199 W				Albedo= 0.25	
DATOS					Eto CALCULADA [mm/día]	
MES	Tem. Media °C	H.R. Media %	Vel. Viento a 2m. Km/día	Heliofania horas	CROPWAT	Manual FAO 24
ENERO	15,8	78	233	3,5	2,83	3,43
FEBRERO	16	78	251	3,7	2,94	3,59
MARZO	16,1	78	233	3,5	2,89	3,48
ABRIL	16,3	78	242	3,9	2,85	3,45
MAYO	16,1	76	276	4,4	2,82	3,43
JUNIO	15,5	74	346	4,4	2,83	3,47
JULIO	14,8	72	423	4,5	2,99	3,74
AGOSTO	15,2	72	363	4,7	3,14	3,93
SEPTIEMBRE	15,8	72	320	4,6	3,29	4,09
OCTUBRE	16,2	74	259	4,8	3,27	4,06
NOVIEMBRE	16,4	74	242	5,3	3,32	4,15
DICIEMBRE	16,3	75	233	4,9	3,17	3,93

Fuente: (INAMHI, 2013)

Elaboración: El autor

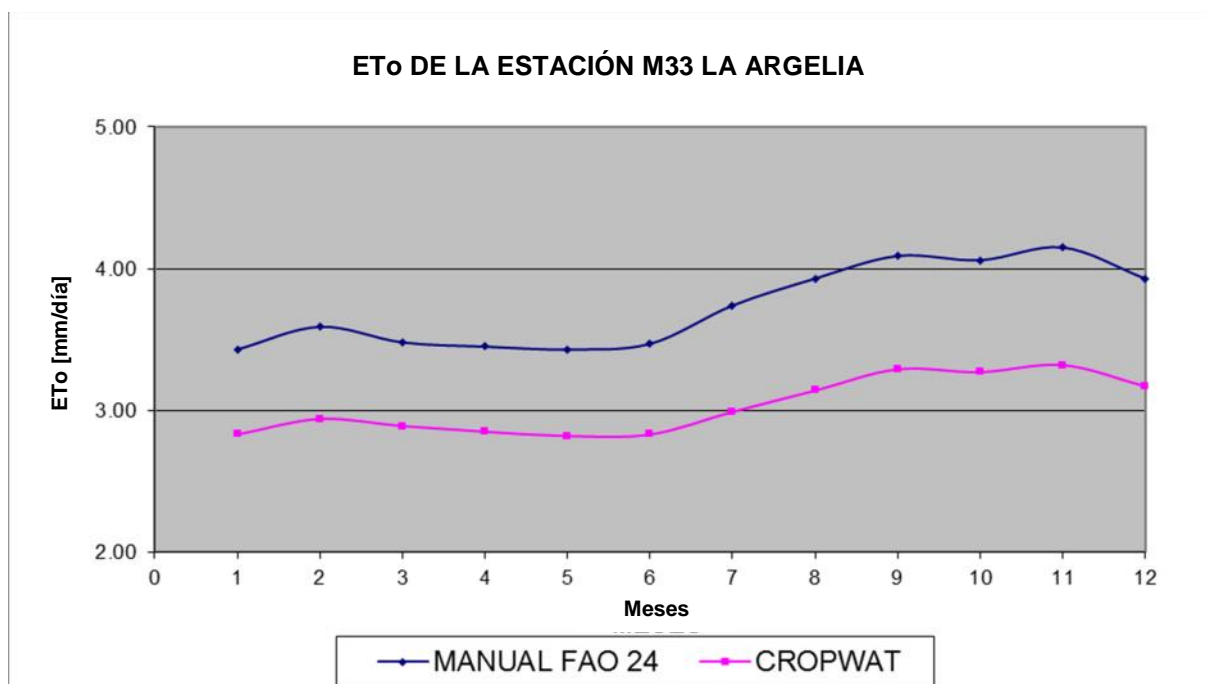


Figura 5: Comparación de resultados de software libre "CROPWAT" con método de Penman modificado

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

## **1.2. Estimación de la eficiencia en zonas de riego**

La eficiencia global de riego en una zona determinada se define como la relación que existe entre el volumen de agua que poseen los cultivos, en su zona radicular, y el volumen total entregado a la zona de riego (García, 2001).

Se considera que el recorrido del agua en sistemas de riego empieza en un embalse o captación y termina en las zonas radiculares de los cultivos. Esto produce pérdidas que minimizan el rendimiento del agua, a efectos de eficiencia. Se lo divide en tres tramos: red de conducción, red de distribución y red de riego parcelario (García, 2001).

Cada uno de estos tramos se estudiarán y analizarán independientemente produciendo pérdidas, que dará lugar a tres tipos de eficiencia para cada tramo de estudio, estas son: eficiencia de conducción, eficiencia de distribución y eficiencia de aplicación (García, 2001).

### **1.2.1 Eficiencia de conducción**

Corresponde a los sistemas de tuberías unidos entre la captación y las estructuras de derivación conocidas como redes secundarias o terciarias: Estas conducciones entregan un volumen de agua a las zonas de riego (García, 2001).

### **1.2.2 Eficiencia de distribución**

Son las que comprenden los tramos entre las redes secundarias hacia las tomas de parcela. Este tipo es mas de uso comunal, fincas o uso privado (García, 2001).

### **1.2.3 Eficiencia de aplicación**

Es el tramo que comprende el recorrido entre la toma de una unidad de riego hacia la zona radicular del cultivo y su eficiencia se medirá de acuerdo al volumen de agua entregado por el sistema versus el volumen de agua que consume el cultivo en una red parcelaria (García, 2001).

## **1.3. Fiabilidad**

Según el diccionario de la RAE (Real Academia Española) se define el término fiabilidad como la probabilidad de buen funcionamiento de un sistema. Por lo tanto, un sistema de riego será la probabilidad de que funcione o se desarrolle de manera óptima bajo algunas condiciones previamente determinadas (García, 2001).

### 1.3.1 Índice general de fiabilidad (IGF)

Según Burt et al. (1997) en los aspectos relacionados con los sistemas de riego se busca una precisión entre el 5 y 10%, ya que sería imposible obtener resultados exactos debido a varios factores climáticos imposibles de predecir.

Para el presente proyecto se toma de referencia la tabla 2 que presenta una clasificación para establecer la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 2: Fiabilidad de los datos según el IGF

<b>Fiabilidad</b>	<b>Valor del IGF</b>
Muy Mala	<30%
Pobre	30-50%
Aceptable	50-70%
Buena	70-90%
Muy Buena	>90%

Fuente: (Rodríguez, 2003)

Elaboración: El autor

### 1.4. Redes o sistemas de riego

Un sistema de riego es una estructura hidráulica capaz de conducir agua de riego a una zona o superficie de terreno que vaya o ha sido cultivada. La estación hidráulica tiene como ventaja principal el poder racionalizar la cantidad de agua disponible (Santos, 2010).

#### 1.4.1 Partes de un sistema de riego

Por lo general un sistema de riego está compuesto por: obra de captación o embalse, redes secundarias o de distribución y redes terciarias o redes a nivel de parcela como se observa en la figura 6 (Santos, 2010; García, 2001).

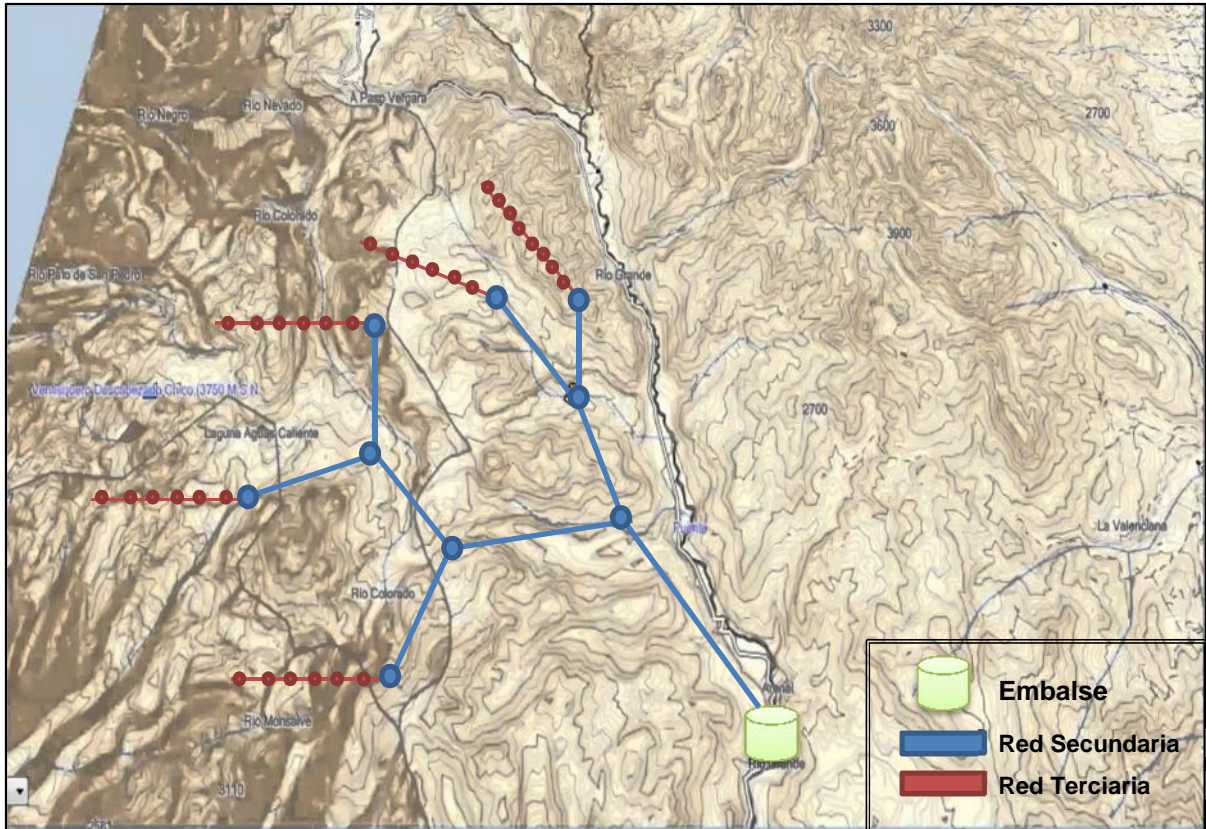


Figura 6: Red de distribución para riego

Fuente: (Gestar, 2014)

Elaboración: El autor

Las obras de captación se caracterizan por almacenar el agua necesaria para luego ser dotadas en intervalos de tiempo. Las redes secundarias son las encargadas de distribuir el agua a los diferentes sectores pertenecientes a la red y las redes terciarias es el tramo del recorrido del agua comprendido entre los hidrantes situados en ella y la zona radicular del cultivo (Santos, 2010; García, 2001).

### 1.5. Modalidades de riego

En un sistema de riego colectivo previo a su diseño se debe definir el tipo de modalidad de riego que se va a implantar en la red. El uso de una red colectiva puede proyectarse ya sea por turnos o por demanda según sea necesario (Granados, 2001).

#### 1.5.1 Riego por turnos

En esta modalidad de riego se indica al usuario en que momento y hora debe regar los cultivos. Esto obliga al agricultor a irrigar a las horas indicadas, sacrificando la comodidad de ocupar libremente su tiempo al no tener establecido de antemano el horario de riego (Granados, 2001).

### **1.5.2 Riego a la demanda**

Este tipo de modalidad se adapta más a sistemas de riego en parcela por la disponibilidad de agua durante las 24 horas del día y el agricultor puede irrigar cuando él lo vea más conveniente y de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo (Granados, 2001).

## **1.6. Tipos de riego en parcela**

Un sistema de riego consiste en suministrar o dotar de agua a un grupo de cultivos mediante diversos métodos ya sea tradicionales o mediante infraestructuras hidráulicas para riego. Los tipos de riego en parcelas más conocidos son: aspersión, micro-aspersión y goteo (Granados, 2001; García, 2001; Jiménez, 2008).

### **1.6.1 Riego por aspersión o micro-aspersión**

Los sistemas de riego que se componen por aspersores o micro-aspersores consisten en ubicar un punto de suministro de agua ya sea por bombeo o tanque de almacenamiento el cual hace circular el agua a través de tuberías principales y secundarias a los ramales laterales donde serán instalados los aspersores o micro-aspersores y estas a su vez esparcen el agua en forma de lluvia hacia el terreno (García , 2001).

Además de los componentes antes mencionados en los sistemas de riego por aspersión o micro-aspersión, a lo largo de las líneas de tuberías se incorporan diferentes accesorios especiales como lo son: hidrantes, válvulas, codos, tes, acoples entre otros (García , 2001; Jiménez, 2008).

### **1.6.2 Riego por goteo**

Este sistema de riego distribuye el agua en forma de gotas al terreno. Mediante este método se consigue satisfacer las necesidades hídricas del cultivo en todo momento de acuerdo a los requerimientos de agua de cada cultivo (Granados, 2001; García, 2001).

Las ventajas al realizar este tipo de riego es que existe un considerable ahorro de agua y mano de obra, así mismo, permite utilizar agua de no muy buena calidad y no altera la estructura del terreno (García, 2001; Jiménez, 2008).

La desventaja de utilizar este tipo de riego es la obstrucción de los agujeros por donde se suministra el agua en forma de gota. Además de esto, se requiere que el usuario a cargo de la preparación o construcción del sistema tenga una extensa preparación técnica para aprovechar al máximo el agua y su instalación requiere de costos muy altos por lo que es rentable solo para ciertos cultivos (García, 2001; Granados, 2001).

### **1.6.3 Eficiencia de riego [Ed]**

Es un coeficiente que se estima en función de las pérdidas de agua en la red de distribución y a nivel de parcela la eficiencia de aplicación ( $E_a$ ) que tiene el sistema de riego, calculando el total de pérdidas ( $E_f$ ) siendo el producto de ambas  $E_d \times E_a$  (García, 2001).

Estas pérdidas totales son aplicadas cuando las necesidades hídricas netas se encuentran en su periodo punta y suelen ser despreciables ya que no superan ni el 5% (García, 2001; Jiménez, 2008).

Las pérdidas en la parcela de riego pueden ser varias ya que están en función de las características del suelo, clima, tipo de cultivo seleccionado y especialmente de las dosis de agua disponible para realizar un diseño (García, 2001).

### **1.7. Emisores**

Los emisores son los elementos más importantes en un sistema de riego en parcela ya que son los encargados de aportar agua al terreno ya sea en forma de lluvia o de gotas a través de las tuberías laterales (Jiménez, 2008).

### **1.8. Clasificación de emisores**

La elección de un tipo de emisor se basa en las características del terreno y tipo de sistema de riego que se diseña, esta elección varía de un caso a otro en concreto. Por ejemplo si se tiene que el agua a utilizarse contiene algunos contaminantes la elección de un tipo de emisor como un gotero sería lo menos conveniente. A continuación presentamos algunos emisores y sus características.

#### **1.8.1 Emisor tipo gotero**

Este tipo de emisor es muy utilizado cuando el agua para riego no contiene partículas que puedan tapar los agujeros del emisor y es muy factible su utilización cuando se posee caudales de abastecimiento inferiores a 20 L/h, esparciendo el agua en forma de gota.

#### **1.8.2 Emisor difusor**



Figura 7: Emisor aspersor

Fuente: (Jiménez, 2008)

Son emisores que funcionan en base a una presión necesaria para esparcir el agua en forma de chorro sobre el terreno, es también conocido como microjet ya que distribuye el agua en forma sectorial o circular.

### 1.8.3 Emisor microaspersor

Este tipo de emisor distribuye el flujo de agua en el terreno en forma circular o sectorial dependiendo del fabricante; trabajan con bajas presiones y caudales pero su alcance es menor a 5 metros esparciendo el agua en forma de lluvia.



Figura 8: Emisor tipo microaspersor

Fuente: (Jiménez, 2008)

De acuerdo a su funcionamiento hidráulico, los emisores tipo microaspersor pueden ser: autocompensante, de largo conducto, de orificio o de remolino; este tipo de emisores son muy recomendables utilizarlos cuando tenemos suelos de texturas un poco gruesas como suelos arenosos.

### 1.9. Curva característica del emisor

La curva de un emisor es la relación que existe entre el caudal y la presión en función del flujo de agua que circula por una o varias tuberías hasta llegar al emisor y su comportamiento hidráulico será determinado de acuerdo a la configuración de cada sistema. Para poder relacionar el caudal de descarga y la presión de servicio se dispone de una ecuación que se aplica a cualquier tipo de emisor (Sevilla, 2007; Santos, 2010).

$$q = K \times H^d$$

Dónde:

- q : Caudal del emisor (L/h)
- K : Coeficiente de cada emisor
- H : Presión a la entrada del emisor
- d : Exponente de descarga de cada emisor

Esta ecuación puede ser representada en una forma gráfica, tomando en cuenta que el eje “x” corresponde a la presión a la cual está el funcionamiento el sistema y el eje “y” los caudales obtenidos de cada emisor. La curva obtenida de la ecuación se conoce como curva característica del emisor, tal como se observar en la figura 9 (Sevilla, 2007; Santos, 2010).

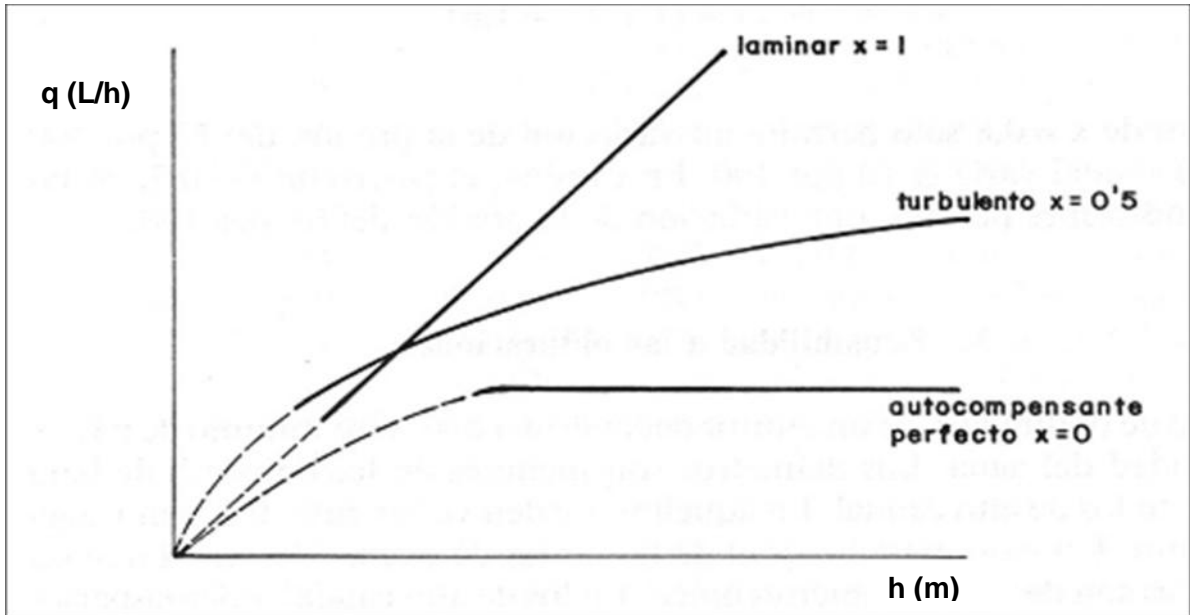


Figura 9: Curva característica del emisor

Fuente: (Sevilla, 2007)

La sensibilidad del emisor se encuentra en función del exponente de descarga, esto quiere decir que si su valor se aproxima a la unidad el caudal varía demasiado en función de la presión, así mismo, si su valor se aproxima a cero el caudal no varía mucho a los cambios de presión y el emisor es autocompensante (Jiménez, 2008); (Sevilla, 2007).

La curva del emisor varía con respecto a su fabricante, el cual deberá proporcionar la ecuación indicando en que intervalos de presión, el emisor es autocompensante (Jiménez, 2008; Sevilla, 2007).



## **CAPITULO II**

### **2. DATOS, MATERIALES Y EQUIPOS**

## **2.1. Datos**

El presente proyecto exige realizar una investigación bibliográfica para generar una base de datos de la mayoría de cultivos que se dan en nuestra provincia, que permita seleccionar al usuario sus coeficientes de cultivo; en función de la fase fenológica, de las humedades relativas, velocidades del viento; de las profundidades radicales, densidades de siembra y porcentajes máximos de agua aprovechable (Avidan, 1994).

## **2.2. Información agrotécnica de los cultivos utilizados**

En esta información detallaremos: las profundidades radicales efectivas de los cultivos que deben ser menores a la profundidad efectiva del suelo; los porcentajes de agua aprovechable, que es la sensibilidad de la planta ante el consumo de agua ya sea por el suelo o el clima y su coeficiente  $K_c$  que es el porcentaje o cantidad de agua que necesita el cultivo en etapas de cosecha o mediados (**Tabla 3**; Avidan, 1994; FAO24, 1990).

## **2.3. Características de los tipos de suelos usuales de acuerdo a su textura**

Se genera una base de datos en la cual se presentan rangos que especifican capacidad de campo de los suelos, su punto de marchitez permanente, densidad aparente, velocidad de infiltración media y permeabilidad que son elementos de vital importancia para determinar el régimen del cultivo (**Tabla 4**; Avidan, 1994).

## **2.4. Tipos de emisores existentes en el mercado para sistema de riego por aspersión y micro-aspersión.**

La elección de un sistema de riego por aspersión o micro-aspersión está en función del tipo de cultivo seleccionado y de la dotación existente, se ha generado una base de datos de algunos emisores en el cual se especifica la presión de operación o funcionamiento y el ángulo de cobertura (**Tabla 5**; Avidan, 1994; Plastigama, 2012).

## **2.5. Tuberías con unión por sellado elastomérico (UZ) y unión por cementante solvente (EC) para riego.**

Se implementará una base de datos de un conjunto de tuberías existentes en el mercado y sus costos, se deja a disposición del usuario agregar o actualizar la base de datos como el considere más conveniente (**Tabla 6**; Plastigama, 2012).

Tabla 3: Información agrotécnica referencial de cultivos utilizados

CULTIVO	dp m	dh m	Kc								zr			Pa				
			COEFICIENTES DE CULTIVO Kc (MEDIADOS Y/O COSECHA) CORRESPONDIENTES A CULTIVOS EXTENSIVOS Y DE HORTALIZAS, SEGÚN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS PREDOMINANTES (Tomados de FAO 24; Pag. 67 a 69 y 80)											MAXIMOS PORCENTAJES DE AGUA A PROVECHABLE SUGERIDOS DE ACUERDO A EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REF. Y TIPO DE CULTIVO (Tomado de "Calculo de Necesidades Hídricas" Dr. Avidan; pag. 7)				
			Humedad relativa Mínima menor a 20%				Humedad relativa Mínima mayor a 70%				PROFUNDIDAD EFECTIVA DE LAS RAICES EN FASE DE MADURACIÓN, EN m. (Tomados de FAO 24 pag. 102)			Tipo de cultivo o similar	Evapotranspiración de Referencia de 2 a menos de 6 mm/día		Evapotranspiración de Referencia de 6 a 10 mm/día	
			Vel. del viento de 0 a 5 m/s		Vel. del viento > a 5 hasta 8 m/s		Vel. del viento de 0 a 5 m/s		Vel. del viento > a 5 hasta 8 m/s		Mediados	Cosecha	Mediados		Cosecha	Mediados	Cosecha	
Algodón			1,20	0,63	1,25	0,70	1,05	0,65	1,15	0,65				0,75				a
Apio	0,20	0,70	1,10	1,00	1,15	1,05	1,00	0,90	1,05	0,95	0,75	a	1,60	Hortalizas	30	40	15	25
Avena			1,15	0,20	1,20	0,20	1,05	0,25	1,10	0,25	0,30	a	0,75	Cereales	60	70	40	55
Berenjena	0,60	1,00	1,05	0,85	1,10	0,90	0,95	0,80	1,00	0,85	0,75	a	1,20	Hortalizas	30	40	15	25
Calabazas			0,95	0,75	1,00	0,80	0,90	0,70	0,90	0,70	0,75	a	1,20					
Cártano			1,15	0,20	1,20	0,20	1,05	0,25	1,10	0,25	0,90	a	1,80					
Cebada			1,15	0,20	1,20	0,20	1,50	0,25	1,10	0,25	0,60	a	1,50	Cereales	60	70	40	55
Cebollas secas	0,15	0,30	1,05	0,80	1,10	0,85	0,95	0,75	0,95	0,75	0,30	a	0,75	Hortalizas	30	40	15	25
Cebollas verdes	0,30	0,30	1,00	1,00	1,05	1,05	0,95	0,95	0,95	0,95	0,30	a	0,75	Hortalizas	30	40	15	25
Coles, Coiflores, Brocoli, Coles de brucelas	0,50	0,70	1,05	0,90	1,10	0,95	0,95	0,80	1,00	0,85	0,30	a	0,60	Hortalizas	30	40	15	25
Espinaca			1,00	0,95	1,05	1,00	0,95	0,90	0,95	0,90	0,30	a	0,60	Hortalizas	30	40	15	25
Frijoles secos, leguminosas	0,80	0,90	1,15	0,25	1,20	0,25	1,05	0,30	1,10	0,30	0,50	a	0,90	Hortalizas	30	40	15	25
Frijoles verdes	0,60	0,25	1,00	0,90	1,05	0,90	0,95	0,85	0,95	0,85	0,50	a	0,90	Hortalizas	30	40	15	25
Girasol			1,15	0,35	1,20	0,35	1,05	0,40	1,10	0,40	0,45	a	0,90	Oleaginosas	60	70	40	55
Granos (secos)			1,15	0,25	1,20	0,25	1,05	0,30	1,10	0,30	0,75	a	1,60	Cereales	60	70	40	55
Guisantes (arvejas)	0,08	0,80	1,15	1,05	1,20	1,10	1,05	0,95	1,10	1,00	0,50	a	0,90	Oleaginosas	60	70	40	55
Lechuga	0,30	0,30	1,00	0,90	1,05	1,00	0,95	0,90	0,95	0,90	0,30	a	0,60	Hortalizas	30	40	15	25
Lentejas			1,15	0,25	1,05	0,25	1,05	0,30	1,10	0,30	0,50	a	0,90	Cereales	60	70	40	55
Maíz (grano)			1,15	0,60	1,20	0,60	1,05	0,55	1,10	0,55	0,75	a	1,60	Cereales	60	70	40	55
Maíz dulce			1,15	1,05	1,20	1,10	1,05	0,95	1,10	1,00	0,75	a	1,60	Cereales	60	70	40	55
Maní (cacahuete)	0,40	0,40	1,05	0,60	1,10	0,60	0,95	0,55	1,00	0,55	0,50	a	0,90	Oleaginosas	60	70	40	55
Melones	1,00	1,00	1,00	0,75	1,50	0,75	0,95	0,65	0,95	0,65	0,75	a	1,20	Frutales	40	50	20	35
Patatas	0,30	1,10	1,15	0,75	1,20	0,75	1,05	0,70	1,10	0,70	0,30	a	0,75	Oleaginosas	60	70	40	55
Pepino (Fresco cosch. a maq.)	0,30	1,00	0,95	0,75	1,00	0,80	0,90	0,70	0,90	0,70	0,75	a	1,25	Hortalizas	30	40	15	25
Pimientos frescos	0,40	0,70	1,05	0,85	1,10	0,90	0,95	0,80	1,00	0,85	0,40	a	1,00	Hortalizas	30	40	15	25
Rábanos	0,05	0,10	0,85	0,80	0,90	0,85	0,80	0,75	0,80	0,75	0,30	a	0,60	Hortalizas	30	40	15	25
Remolacha	0,20	0,40	1,05	0,95	1,10	1,00	1,00	0,90	1,00	0,90	0,60	a	1,25	Hortalizas	30	40	15	25
Remolacha Azucarera			1,15	1,00	1,20	1,00	1,05	0,90	1,10	0,95	0,60	a	1,25	Caña de azú	60	70	40	55
Remolacha Azucarera(no reg.ult.mes)				0,60		0,60		0,60		0,60	0,60	a	1,25	Caña de azú	60	70	40	55
Sorgo			1,10	0,55	1,15	0,55	1,00	0,50	1,05	0,50	0,50	a	0,90	Oleaginosas	60	70	40	55
Soya	0,10	0,50	1,10	0,45	1,15	0,45	1,00	0,45	1,05	0,45	0,60	a	1,25	Oleaginosas	60	70	40	55
Tomate	0,25	0,40	1,20	0,65	1,25	0,65	1,05	0,60	1,10	0,60	0,40	a	1,00	Hortalizas	30	40	15	25
Trigo			1,15	0,20	1,20	0,20	1,05	0,25	1,10	0,25	0,60	a	1,50	Cereales	60	70	40	55
Zanahorias	0,08	0,20	1,10	0,80	1,15	0,85	1,00	0,70	1,05	0,75	0,30	a	0,60	Hortalizas	30	40	15	25

Fuente: (FAO24, 1990; Avidan, 1994)

Elaboración: El autor

Tabla 4: Características de los tipos de suelos usuales de acuerdo a la textura

TEXTURA	Simbolo	Capacidad de Campo [%]	Punto de Marchites Permanente [%]	Densidad Aparente [gr / cm <sup>3</sup> ]	Velocidad de Infiltración Media [mm/hora]	Permeabilidad	Clasificación
Arcilla sodica	Ac sodica				0 a 1	Muy lenta	F
Arcillo limoso	Ac Lo	35 a 46	17 a 23	1.25 a 1.35	1 a 5	Lenta	F
Arcillo arenoso	Ac Ao	35 a 46	17 a 23	1.25 a 1.35	1 a 5	Lenta	F
Arcilloso	Ac	39 a 49	19 a 24	1.20 a 1.30	1 a 5	Lenta	F
Franco limoso	Fo Lo	31 a 41	15 a 20	1.3 a 1.4	5 a 20	Moderadamente lenta	M
Franco arcillo arenoso	Fo Ac Ao	31 a 41	15 a 20	1.3 a 1.4	5 a 20	Moderadamente lenta	M
Franco arcillo limoso	Fo Ac Lo	31 a 41	15 a 20	1.3 a 1.4	5 a 20	Moderadamente lenta	M
Franco arcilloso	Fo Ac	31 a 41	15 a 20	1.3 a 1.4	5 a 20	Moderadamente lenta	M
Franco	Fo	15 a 27	6 a 12	1.4 a 1.6	20 a 60	Media	M
Franco arenoso	Fo Ao	15 a 27	6 a 12	1.4 a 1.6	20 a 60	Media	M
Arenoso Franco	Ao Fo	10 a 20	4 a 10	1.55 a 1.8	60 a 125	Moderadamente Rapida	G
Arenoso	Ao	10 a 20	4 a 10	1.55 a 1.8	125 a 250	Rapida	G
Arena Gruesa	Ao gruesa	10 a 20	4 a 10	1.55 a 1.8	mas de 250	Muy rapida	G

Fuente: (FAO24, 1990; Avidan, 1994)

Elaboración: El autor

Tabla 5: Tipos de emisores

MODELO DEL ASPERSOR	Presión de operación [PSI]			Presión de operación [Atm.]		
	Min	Max	Prom.	Min	Max	Prom.
NOMBRE COMUN						
CAÑON NAAN DAN: 268 RM 2" BOQ.#16x8.0x4 -(BRONCE) CIRCULO COMPLETO	70	115	92,5	4,76	7,82	6,29
CAÑON NAAN DAN: 268 RM 2" BOQ.#16x8.5x4 -(BRONCE) CIRCULO PARCIAL	70	115	92,5	4,76	7,82	6,29
CAÑON SIME: JOLLY RH 1¼ BOQ.# 8x4 h=1,20 m. (ALUMINIO) CIRCULO COMPLETO	25	55	40	1,70	3,74	2,72
CAÑON SIME: JOLLY RH 1¼ BOQ.# 9x4 h=1,20 m. (ALUMINIO) CIRCULO COMPLETO	25	55	40	1,70	3,74	2,72
CAÑON SIME: JOLLY RH 1¼ BOQ.# 10x4 h=1,20 m. (ALUMINIO) CIRCULO COMPLETO	30	70	50	2,04	4,76	3,40
CAÑON SIME: JOLLY RH 1¼ BOQ.# 12x4 h=1,20 m. (ALUMINIO) CIRCULO COMPLETO	30	70	50	2,04	4,76	3,40
CAÑON SIME: JOLLY RH 1¼ BOQ.# 14x4 h=1,20 m. (ALUMINIO) CIRCULO COMPLETO	30	70	50	2,04	4,76	3,40
MINICAÑON SENNINGER 8025-2-RM 1¼" BOQ.#26x14 h=0,5 m.	35	75	55	2,38	5,10	3,74
MINICAÑON SENNINGER 8025-2-RM 1¼" BOQ.#26x14 h=2,0 m.	35	75	55	2,38	5,10	3,74
MINICAÑON SENNINGER 7025-2-RM 1" BOQ.#20x10 h=0,50 m.	35	70	52,5	2,38	4,76	3,57
MINICAÑON SENNINGER 7025-2-RM 1" BOQ.#20x10 h=2,0 m.	35	70	52,5	2,38	4,76	3,57
ASPERSOR NAAN DAN 5035 RM 1" BOQ.# 3,2x2,5 H=0,50	40	70	55	2,72	4,76	3,74
ASPERSOR NAAN DAN 5035 RM ¾" BOQ.# 3,2x2,5 H=0,50	40	70	55	2,72	4,76	3,74
ASPERSOR SENNINGER 5023-2 de ¾" BOQ.# 16x8 (1/4"x1/8") H=2,00	30	65	47,5	2,04	4,42	3,23
ASPERSOR SENNINGER 5023-2 de ¾" BOQ.# 16x8 (1/4"x1/8") H=0,50	30	65	47,5	2,04	4,42	3,23
ASPERSOR SENNINGER 4023-2 de ¾" BOQ.# 12x16 (3/16"x3/32") H=2,00	30	60	45	2,04	4,08	3,06
ASPERSOR SENNINGER 4023-2 de ¾" BOQ.# 12x16 (3/16"x3/32") H=0,50	30	60	45	2,04	4,08	3,06
ASPERSOR SENNINGER 3023-2 de ¾" BOQ.# 8x6 (1/8"x3/32") H=2,00	30	50	40	2,04	3,40	2,72
ASPERSOR SENNINGER 3023-2 de ¾" BOQ.# 8x6 (1/8"x3/32") H=0,50	30	50	40	2,04	3,40	2,72
ASPERSOR SENNINGER 4123-1 de ¾" BOQ.# 12 (3/16") CIRCULO PARCIAL H=2,00	30	60	45	2,04	4,08	3,06
ASPERSOR SENNINGER 4123-1 de ¾" BOQ.# 12 (3/16") CIRCULO PARCIAL H=0,50	30	60	45	2,04	4,08	3,06
ASPERSOR SENNINGER 3123-1 de ¾" BOQ.# 8 (1/8") CIRCULO PARCIAL H=2,00	30	60	45	2,04	4,08	3,06
ASPERSOR SENNINGER 3123-1 de ¾" BOQ.# 8 (1/8") CIRCULO PARCIAL H=0,50	30	60	45	2,04	4,08	3,06
ASPERSOR NAAN DAN 5022 RM ½" BOQ.# 3,2x2,5 H=0,50	35	60	47,5	2,38	4,08	3,23
ASPERSOR NAAN DAN 5024 RM ½" BOQ.# 3,5 H=0,50 "Tropical"	30	60	45	2,04	4,08	3,06
ASPERSOR DE PRUEBA	30	60	45	2,04	4,08	3,06
MINIASPERSOR 501 rh 1/2" BOQ. .2.2 NAAN	15	40	27,5	1,02	2,72	1,87
MICROASPERSOR MF DE 30 LPH CON REGUL. NEGRO Y ROTOR VERDE.	20	50	35	1,36	3,40	2,38
MICROASPERSOR MF DE 30 LPH CON REGUL. NEGRO Y ROTOR AZUL.	20	50	35	1,36	3,40	2,38
MICROASPERSOR MF DE 30 LPH CON REGUL. NEGRO Y ROTOR GRIS.	20	50	35	1,36	3,40	2,38
MICROASPERSOR MF DE 40 LPH CON REGUL. BEIGE Y ROTOR VERDE.	20	50	35	1,36	3,40	2,38
MICROASPERSOR MF DE 40 LPH CON REGUL. BEIGE Y CON ROTOR AZUL.	20	50	35	1,36	3,40	2,38

Fuente: (Plastigama, 2012)

Elaboración: El autor

Tabla 6: Especificaciones para tuberías con unión por sellado elastométrico (UZ) y unión por cementado solvente (EC) para riego

N°	DIAMETRO NOMINAL (mm)	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO INTERIOR (mm)					PRESION DE TRABAJO															ESPESOR NOMINAL PARA DIAMETRO INTERIOR (mm)				
			1	2	3	4	5	Mpa					PSI (lb/pulg <sup>2</sup> )					Kgf/cm <sup>2</sup>					1	2	3	4	5
								1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
1	20 mm	UNION EC	17,6	17,4	17,0			1,25	1,60	2,00			181	232	290			12,75	16,32	20,40			1,2	1,3	1,5		
1	25 mm	UNION EC	22,6	22,4	22,0			1,00	1,25	1,60			145	181	232			10,20	12,75	16,32			1,2	1,3	1,5		
2	32 mm	UNION EC	29,6	29,4	29,0			0,80	1,00	1,25			116	145	181			8,16	10,20	12,75			1,2	1,3	1,5		
3	40 mm	UNION EC	37,6	37,4	37,0	36,2		0,63	0,80	1,00	1,25		91	116	145	181		6,43	8,16	10,20	12,75		1,2	1,3	1,5	1,9	
4	50 mm	UNION EC	47,4	47,0	46,2	45,2		0,63	0,80	1,00	1,25		91	116	145	181		6,43	8,16	10,20	12,75		1,3	1,5	1,9	2,4	
5	63 mm	UNION EC	60,0	59,0	58,2	57,0		0,63	0,80	1,00	1,25		91	116	145	181		6,43	8,16	10,20	12,75		1,5	2,0	2,4	3,0	
6	75 mm	UNION EC	72,0	71,4	70,4	69,2		0,50	0,63	0,80	1,00		73	91	116	145		5,10	6,43	8,16	10,20		1,5	1,8	2,3	2,9	
7	90 mm	UNION EC	86,4	85,6	84,4	83,0	81,4	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	1,8	2,2	2,8	3,5	4,3
8	110 mm	UNION EC	105,6	104,6	103,2	101,6	99,6	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	2,2	2,7	3,4	4,2	5,2
9	125 mm	UNION EC	120,0	118,8	117,2	115,4	113,0	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	2,5	3,1	3,9	4,8	6,0
10	140 mm	UNION EC	134,6	133,2	131,4	129,2	126,6	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	2,7	3,4	4,3	5,4	6,7
11	160 mm	UNION EC	153,6	152,2	150,0	147,6	144,8	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	3,2	3,9	5,0	6,2	7,6
12	200 mm	UNION EC	192,2	190,2	187,6	184,6	181,0	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	3,9	4,9	6,2	7,7	9,5
13	225 mm	UNION EC	216,2	214,0	211,0	207,6	203,6	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	4,4	5,5	7,0	8,7	10,7
14	250 mm	UNION EC	240,2	237,8	234,4	230,8	226,2	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	4,9	6,1	7,8	9,6	11,9
15	315 mm	UNION EC	302,6	299,6	295,4	290,8	285,0	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	6,2	7,7	9,8	12,1	15,0
16	355 mm	UNION EC	341,0	337,6	333,0	327,6	321,2	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	7,0	8,7	11,0	13,7	16,9
17	400 mm	UNION EC	384,2	380,4	375,2	369,2	362,0	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	7,9	9,8	12,4	15,4	19,0
1	50 mm	UNION UZ	47,4	47,0	46,2	45,2		0,63	0,80	1,00	1,25		91	116	145	181		6,43	8,16	10,20	12,75		1,3	1,5	1,9	2,4	
2	63 mm	UNION UZ	60,0	59,0	58,2	57,0		0,63	0,80	1,00	1,25		91	116	145	181		6,43	8,16	10,20	12,75		1,5	2,0	2,4	3,0	
3	75 mm	UNION UZ	72,0	71,4	70,4	69,2		0,50	0,63	0,80	1,00		73	91	116	145		5,10	6,43	8,16	10,20		1,5	1,8	2,3	2,9	
4	90 mm	UNION UZ	86,4	85,6	84,4	83,0	81,4	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	1,8	2,2	2,8	3,5	4,3
5	110 mm	UNION UZ	105,6	104,6	103,2	101,6	99,6	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	2,2	2,7	3,4	4,2	5,2
6	160 mm	UNION UZ	153,6	152,2	150,0	147,6	144,8	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	3,2	3,9	5,0	6,2	7,6
7	200 mm	UNION UZ	192,2	190,2	187,6	184,6	181,0	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	3,9	4,9	6,2	7,7	9,5
8	225 mm	UNION UZ	216,2	214,0	211,0	207,6	203,6	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	4,4	5,5	7,0	8,7	10,7
9	250 mm	UNION UZ	240,2	237,8	234,4	230,8	226,2	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	4,9	6,1	7,8	9,6	11,9
10	315 mm	UNION UZ	302,6	299,6	295,4	290,8	285,0	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	6,2	7,7	9,8	12,1	15,0
11	355 mm	UNION UZ	341,0	337,6	333,0	327,6	321,2	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	7,0	8,7	11,0	13,7	16,9
12	400 mm	UNION UZ	384,2	380,4	375,2	369,2	362,0	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	7,9	9,8	12,4	15,4	19,0
13	500 mm	UNION UZ	384,2	474,0	467,2	459,4	449,8	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	73	91	116	145	181	5,10	6,43	8,16	10,20	12,75	9,8	12,3	15,5	19,2	23,8
14	630 mm	UNION UZ	597,2	588,8	579,0			0,63	0,80	1,00			91	116	145			6,43	8,16	10,20			15,5	19,5	24,2		
1	16 mm	POLIETILENO	14,0	13,8	13,6			0,20	0,32	0,40			29	46	58			2,04	3,26	4,08			0,9	1,1	1,2		
2	17,7 mm	POLIETILENO	15,5					0,32					46					3,26					1,1				

Fuente: (Plastigama, 2012)

Elaboración: El autor

**CAPITULO III**  
**3. METODOLOGÍA**

### 3.1. Primera etapa: Determinación del régimen de cultivo

El propósito de esta investigación es guiar al técnico a establecer el régimen de riego y el diámetro requerido de tubería para un sistema de riego parcelario por aspersión o microaspersión que sea factible económicamente y cumpla con los requerimientos hidráulicos.

Para calcular la cantidad de agua necesaria para un cultivo con método de riego por aspersión o micro-aspersión, se utiliza el procedimiento descrito por el Dr. Albert Avidan en su manual "Calculo de las necesidades de riego".

Los resultados de los cálculos obtenidos se lo resumirán mediante un ejemplo:

Ejercicio: Calcular la cantidad de agua para un cultivo de algodón el cual utiliza un sistema de riego por aspersión de acuerdo a los datos presentados a continuación.

#### Datos del clima:

- Evapotranspiración del tanque ( $E_{tan}$ ) = 12 mm/d
- Coeficiente del tanque ( $K_{tan}$ ) = 0.75
- Humedad relativa media (H.R.)= 60%
- Velocidad del viento > 3 m/s

#### Datos de la parcela:

- Área bruta (A)= 3.6 Ha
- Área neta bajo riego ( $S_r$ ) = 3.24 Ha
- Pendiente = 2%

#### Datos del cultivo:

- Nombre = Algodón
- Fase = Media temprana
- Coeficiente  $K_c$  = 0.9
- % del área bajo riego ( $P_{ar}$ ) = 100%
- Profundidad radicular efectiva ( $z_r$ ) = 0.9 m.
- Máximo porcentaje de agua aprovechable ( $P_a$ ) = 60%

#### Datos de la fuente de agua:

- Caudal ( $Q_s$ ) = 50 m<sup>3</sup>/h
- Disponibilidad = Sin limitaciones

### Sistema de riego:

- Método = Aspersión
- Eficiencia (Ef) = 75%
- Modelo del emisor = Naan 233 4.9 x 2.5
- Presión de operación = 2.5 atm
- Caudal del emisor (q) = 1760 L/h
- Diámetro efectivo (d) = 31 m.
- Angulo de cobertura = 360°
- Espaciamiento entre emisores (de) = 12 m.
- Espaciamiento entre laterales (dl) = 18 m.
- Máxima cantidad de horas para operación por día (Hd) = 17 horas
- Número de días sin funcionamiento del sistema de riego = 2

### Datos del suelo:

- Textura = Franco arcilloso
- Humedad a capacidad de campo (CC.) = 27%
- Punto de marchitez permanente (PMP) = 13%
- Densidad aparente (Da) = 1.3 g/cm<sup>3</sup>
- Infiltración básica (Ib) = 9 mm/h
- Profundidad efectiva = 1.5 m.

### Solución del ejercicio:

- Lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva del cultivo [**LDzr**]

Es la cantidad de agua que se tiene hasta la altura que crecen las raíces del cultivo seleccionado y la obtenemos con la siguiente ecuación:

$$LDzr = CC - PMP \times Da \times zr \times 10$$

Dónde:

CC : Humedad a capacidad de campo (%).

PMP : Punto de marchitez permanente (%).

Da : Densidad aparente en gr/cm<sup>3</sup>.

zr : Profundidad radicular efectiva en m.

$$LDzr = 27\% - 13\% \times 1.3g/cm^3 \times 0.9m \times 10$$

$$LDzr = 163.8 \text{ mm/zr}$$



- Volumen de agua disponible a la profundidad radicular efectiva **[VDzr]**

Es la lámina de agua disponible multiplicada por un valor de conversión de 10 para transformar su valor de mm/zr a m<sup>3</sup>/ha/zr.

$$VDzr = LDzr \times 10$$

$$VDzr = 163.8 \frac{\text{mm}}{\text{zr}} \times 10$$

$$VDzr = 1638 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{zr}$$

- Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva **[LAzr]**

Esta dependerá de la sensibilidad del tipo de cultivo que se seleccione, esto con el objetivo que el cultivo no disminuya su rendimiento y entre en un estado de estrés hídrico y se la obtiene con la siguiente ecuación: (Avidan, 1994); (FAO24, 1990).

$$LAzr = \frac{LDzr \times Pa}{100}$$

Dónde:

LAzr : Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva  $\frac{\text{mm}}{\text{zr}}$

LDzr : Lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva  $\frac{\text{mm}}{\text{zr}}$

Pa : Porcentaje de agua aprovechable (%)

$$LAzr = \frac{163.8 \frac{\text{mm}}{\text{zr}} \times 60\%}{100}$$

$$LAzr = 98.28 \frac{\text{mm}}{\text{zr}}$$

- Precipitación horaria del sistema de riego **[Phr]**

Es la cantidad de agua entregada por el tipo de emisor seleccionado y es calculada de la siguiente manera: (Avidan, 1994); (FAO24, 1990).

$$Phr = \frac{qe \times 100}{de \times dl \times Par}$$

Dónde:

qe : Caudal del emisor  $\frac{\text{L}}{\text{h}}$

de : Distancia entre emisores (m).

dl : Distancia entre laterales (m).

Par : Porcentaje del área bajo riego (%)

$$Phr = \frac{1760 \frac{L}{h} \times 100}{12m \times 18m \times 100\%}$$

$$Phr = 8.15 \frac{mm}{h}$$

Previo al cálculo del uso consuntivo se realiza la **primera comparación** el cual consiste en verificar que el valor de precipitación horaria del sistema de riego sea menor o igual al valor de infiltración básica del suelo esto con la finalidad de evitar la erosión y el arrastre de sedimentos.

$$Phr \leq Ib$$

$$8.15 \frac{mm}{h} \leq 9 \frac{mm}{h} \therefore OK$$

- Cálculo del uso consuntivo **[Etc]**

Depende principalmente del valor del coeficiente Kc del cultivo que está en función de la etapa de crecimiento en la que se encuentra y permite conocer el consumo de agua de la planta.

$$Etc = E_{tan} \times K_{tan} \times K_c$$

Dónde:

E<sub>tan</sub> : Evapotranspiración mediante el tanque evaporímetro  $\frac{mm}{día}$

K<sub>tan</sub> : Coeficiente del tanque (adimensional)

K<sub>c</sub> : Coeficiente del cultivo (adimensional)

$$Etc = 12 \frac{mm}{día} \times 0.75 \times 0.9$$

$$Etc = 8.1 \frac{mm}{día}$$

- Intervalo de riego **[Ir]**

Es el tiempo el cual se demora el sistema de riego en reponer la lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva del cultivo (LD<sub>zr</sub>).

$$Ir = \frac{LA_{zr} \times Par}{Etc \times 100}$$

Dónde:

LA<sub>zr</sub> : Lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva  $\frac{mm}{zr}$

Par : Porcentaje del área bajo riego (%)

Etc : Uso consuntivo  $\frac{\text{mm}}{\text{día}}$

$$I_r = \frac{98.28 \frac{\text{mm}}{\text{Zr}} \times 100\%}{8.1 \frac{\text{mm}}{\text{día}} \times 100}$$

$$I_r = 12.13 \text{ días}$$

Como podemos observar el resultado es 12.13 días de riego, pero esto en la realidad es imposible así que tenemos que redondearlo a su inmediato inferior para obtener el intervalo de riego ajustado.

- Intervalo de riego ajustado **[I<sub>r(aj)</sub>]**

$$I_r \text{ aj} = \text{Integro}(I_r)$$

$$I_r \text{ aj} = 12 \text{ días}$$

- Ciclo de riego **[CR]**

El ciclo de riego se la obtiene de acuerdo a los días en que el sistema se encuentre sin funcionamiento de esta manera se obtiene el periodo exacto de riego de una parcela determinada.

$$CR = I_r \text{ aj} - dp$$

Dónde:

I<sub>r</sub> (aj) : Intervalo de riego ajustado (días)

dp : Número de días en el cual el sistema de riego no funciona

$$CR = 12 \text{ días} - 2 \text{ días}$$

$$CR = 10 \text{ días}$$

- Lámina de riego ajustada **[LR(aj)]**

Se la obtiene en función del intervalo de riego ajustado (Avidan, 1994); (FAO24, 1990).

$$LR \text{ aj} = \frac{I_r \text{ aj} \times \text{Etc} \times 100}{\text{Par}}$$

Dónde:

I<sub>r</sub> (aj) : Intervalo de riego ajustado (días)

Etc : Uso consuntivo  $\frac{\text{mm}}{\text{día}}$

Par : Porcentaje del área bajo riego (%)

$$LR_{aj} = \frac{12 \text{ días} \times 8.1 \frac{\text{mm}}{\text{día}} \times 100}{100\%}$$

$$LR_{aj} = 97.2 \text{ mm}$$

Antes de calcular el porcentaje de agua aprovechado realizamos la **segunda comparación**, que consiste en la comprobación de resultados donde la lámina de riego ajustada debe ser menor o igual a la lámina de agua aprovechable a la profundidad radicular efectiva que evite el desperdicio de agua.

$$\begin{array}{ccc} LR(aj) & LAzr & \\ \hline 97.2 \text{ mm} & 98.28 \text{ mm} & \text{OK} \end{array}$$

- Porcentaje de agua aprovechado, ajustado [**Pa(aj)**]

Al haberse modificado la lámina de riego es de importancia también ajustar el porcentaje de agua aprovechado por el cultivo de la siguiente manera.

$$Pa_{aj} = \frac{LR_{aj} \times 100}{LDzr}$$

Dónde:

LR (aj) : Lámina de riego ajustada (mm)

LDzr : Lámina de agua disponible a la profundidad radicular efectiva  $\frac{\text{mm}}{\text{zr}}$

$$Pa_{aj} = \frac{97.2 \text{ mm} \times 100}{163.8 \frac{\text{mm}}{\text{zr}}}$$

$$Pa_{aj} = 59 \%$$

La **tercera comparación** consiste en verificar que el porcentaje de agua aprovechado, ajustado sea menor o igual al máximo porcentaje de agua aprovechable.

Este porcentaje sirve para conocer cuando es necesario reponer el flujo de agua al cultivo (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

$$\begin{array}{ccc} Pa(aj) & Pa & \\ \hline 59 \% & 60 \% & \text{OK} \end{array}$$

- Lámina bruta [**LB**]

Esta lámina es calculada de acuerdo al tipo de riego escogido ya sea por aspersión o microaspersión, considerando un porcentaje de eficiencia para cualquiera de los dos métodos.

$$LB = \frac{LR_{aj} \times 100}{Ef}$$

Dónde:

LR (aj) : Lámina de riego ajustada (mm)

Ef : Eficiencia del tipo de riego (%)

$$LB = \frac{97.2\text{mm} \times 100}{75\%}$$

$$LB = 129.6 \text{ mm}$$

- Dosis de riego bruta **[DB]**

Es el volumen total de agua entregado por el sistema de riego en la superficie bruta de la parcela.

$$DB = \frac{LB \times Par}{10}$$

Dónde:

LB : Lámina bruta (mm)

Par : Porcentaje del área bajo riego (%)

$$DB = \frac{129.6\text{mm} \times 100\%}{10}$$

$$DB = 1296 \frac{\text{m}^3}{\text{Ha}}$$

- Horas de riego por turno **[Ht]**

Es el tiempo que demora el emisor seleccionado en reponer la lámina bruta, que dependerá principalmente de la precipitación entregada por el sistema de riego y es calculada con la siguiente ecuación: (Avidan, 1994); (FAO24, 1990).

$$Ht = \frac{LB}{P_{r}}$$

Dónde:

LB : Lámina bruta (mm)

Phr : Precipitación entregada por el sistema de riego  $\frac{\text{mm}}{\text{h}}$

$$Ht = \frac{129.6\text{mm}}{8.15 \frac{\text{mm}}{\text{h}}}$$

$$H_t = 15.91 \frac{h}{\text{turno}}$$

- **Máximo número de horas de riego diarias [Td]**

Es el número de horas; en el cual, el sistema de riego estará en operación durante un día completo, dependerá principalmente de las condiciones sociales y las horas disponibles de la fuente de abastecimiento para el riego.

$$T_d = \text{Integro} \frac{H_m}{H_t}$$

Dónde:

$H_m$  : Horas de riego diarias  $\frac{\text{horas}}{\text{día}}$

$H_t$  : Horas de riego por turno  $\frac{\text{horas}}{\text{turno}}$

$$T_d = \frac{17 \frac{\text{horas}}{\text{día}}}{15.91 \frac{\text{horas}}{\text{turno}}}$$

$$T_d = 1 \frac{\text{turno}}{\text{día}}$$

- **Horas de riego por día [Hd]**

Es el tiempo que el sistema de riego está en operación durante un día (Avidan, 1994); FAO24, 1990)

$$H_d = T_d \times H_t$$

Dónde:

$T_d$  : Máximo número de horas de riego diarias  $\frac{\text{turno}}{\text{día}}$

$H_t$  : Horas de riego por turno  $\frac{\text{horas}}{\text{día}}$

$$H_d = 1 \times 15.91$$

$$H_d = 15.91 \text{ h/día}$$

- **Horas de riego por ciclo [Hc]**

Tiempo en el cual el sistema de riego se encuentra en operación para completar el ciclo de riego calculado.

$$H_c = CR \times H_d$$

Dónde:

CR : Ciclo de riego  $\frac{\text{días}}{\text{ciclo}}$

Hd : Horas de riego por día  $\frac{\text{horas}}{\text{día}}$

$$Hc = 10 \frac{\text{días}}{\text{ciclo}} \times 15.91 \frac{\text{horas}}{\text{día}}$$

$$Hc = 159.1 \frac{\text{horas}}{\text{ciclo}}$$

- Número de turnos por ciclo [**Tc**]

Es el número de intervalos necesarios para cubrir el área de riego (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

$$Tc = CR \times Td$$

Dónde:

CR : Ciclo de riego  $\frac{\text{días}}{\text{ciclo}}$

Td : Máximo número de horas de riego diarias  $\frac{\text{turno}}{\text{día}}$

$$Tc = 10 \frac{\text{días}}{\text{ciclo}} \times 1 \frac{\text{turno}}{\text{día}}$$

$$Tc = 10 \frac{\text{turno}}{\text{ciclo}}$$

- Superficie de riego por cada turno [**St**]

Es la superficie de terreno que es regada por cada turno de riego (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

$$St = \frac{Sr}{Tc}$$

Dónde:

Sr : Superficie de riego  $\frac{\text{ha}}{\text{ciclo}}$

Tc : Número de turnos por ciclo  $\frac{\text{turno}}{\text{ciclo}}$

$$St = \frac{3.24 \frac{\text{ha}}{\text{ciclo}}}{10 \frac{\text{turnos}}{\text{ciclo}}}$$

$$St = 0.324 \frac{\text{ha}}{\text{turno}}$$

- Dosis de riego bruto por cada turno **[DBt]**

Es la cantidad de agua de riego entregada por el sistema en cada turno.

$$DBt = St \times DB$$

Dónde:

St : Superficie de riego por cada turno  $\frac{\text{ha}}{\text{turno}}$

DB : Dosis bruta  $\frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$

$$DBt = 0.324 \frac{\text{ha}}{\text{turno}} \times 1296 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$$

$$DBt = 419.9 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$$

- Caudal requerido **[Qr]**

Es la cantidad de agua necesaria para regar la parcela.

$$Qr = \frac{DBt}{Ht}$$

Dónde:

DBt : Dosis de riego bruto por cada turno  $\frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$

Ht : Horas de riego por turno  $\frac{\text{horas}}{\text{turno}}$

$$Qr = \frac{419.9 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}{15.9 \frac{\text{horas}}{\text{turno}}}$$

$$Qr = 26.4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

La última comparación consiste en verificar que el caudal requerido sea menor o igual a la dotación que posee el sistema de riego.

$$Qr \quad Qs$$

$$26.4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad 50 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \text{OK}$$



- Número de emisores por turno **[E<sub>mt</sub>]**

Cantidad de emisores que se utilizarán en cada ciclo de riego en función del método de riego y de la descarga de cada emisor.

$$E_{mt} = \frac{Q_r \times 1000}{q_e}$$

Dónde:

$Q_r$  : Caudal requerido  $\frac{m^3}{h}$

$q_e$  : Caudal del emisor  $\frac{L}{h}$

$$E_{mt} = \frac{26.4 \frac{m^3}{h} \times 1000}{1760 \frac{L}{h}}$$

$$E_{mt} = 15 \frac{e}{turno}$$

- Volumen bruto por ciclo de riego **[V<sub>Bc</sub>]**

Es el volumen total de agua necesario para satisfacer las necesidades del cultivo en el tiempo de mayor demanda y se calcula de la siguiente manera.

$$V_{Bc} = DBt \times t_c$$

Dónde:

$DBt$  : Dosis bruta por turno  $\frac{m^3}{turno}$

$t_c$  : Turnos de riego por ciclo  $\frac{turno}{ciclo}$

$$V_{Bc} = 419.9 \frac{m^3}{turno} \times 10 \frac{turno}{ciclo}$$

$$V_{Bc} = 4.199 \frac{m^3}{ciclo}$$

- Caudal Especifico **[Q<sub>e</sub>]**

Se lo obtiene dividiendo el caudal requerido en el sistema de riego, entre el área bruta de toda la parcela.

$$Q_e = \frac{Q_r}{A}$$

Dónde:

Qr : Caudal requerido  $\frac{m^3}{h}$

A : Área bruta total de la parcela (ha)

$$Q_e = \frac{26.4 \frac{m^3}{h}}{3.6ha}$$

$$Q_e = \frac{7.33m^3}{h}$$

### 3.2. Segunda etapa: Determinación de las características hidráulicas para un sistema de riego en parcela

Una vez que se define la distribución de los emisores dentro de la parcela, se establece las características hidráulicas del sistema como: diámetros de tubería, velocidades mínimas y máximas, presión de trabajo de cada emisor y capacidad para satisfacer la dotación de entrega a cada emisor de la red (Saldarriaga, 2007).

El diseño hidráulico de las redes del sistema de riego se lo realiza a través del método de las velocidades, el cual consiste en elegir un diámetro de tubería tal que la velocidad del fluido que circula en la misma se encuentre por debajo de la velocidad máxima impuesta (Saldarriaga, 2007).

Las ecuaciones y cálculos son descritos mediante el siguiente procedimiento:

#### 3.2.1 Identificación del nudo crítico

Es aquel que se encuentra más alejado de la fuente de abastecimiento o aquel que requiere una presión más elevada con respecto a otros puntos (Saldarriaga, 2007).

Se puede determinar el nudo crítico calculando la gradiente hidráulica disponible con la siguiente expresión (Saldarriaga, 2007).

$$J = \frac{H_c - Z_i + \frac{P_{min}}{\gamma}}{L_j}$$

Dónde:

Hc : Carga del nudo fuente (m)

Zi : Cota del nudo (m)

Lj : Longitud de tramos hasta el nudo (m)

$\frac{P_{min}}{\gamma}$  : Altura de carga demandada al nudo (m)

### 3.2.2 Pérdidas de carga por longitud de tubería

Para el cálculo de las pérdidas de carga se utiliza una ecuación empírica desarrollada por G.S Williams y A.H Hazen en 1906 que usa un coeficiente de rugosidad para diferentes materiales de tuberías y canales abiertos conocido como coeficiente de Hazen-Williams, dicha ecuación es la siguiente (Saldarriaga, 2007):

$$S_f = \frac{6.824 \times V^{1.851}}{C^{1.851} \times 1.167}$$

Dónde:

- Sf : Pérdida de carga unitaria  $\frac{m}{m}$   
 : Diámetro interno de la tubería (m)  
 V : Velocidad  $\frac{m}{s}$   
 C : Coeficiente Hazen-Williams (adimensional)

### 3.2.3 Pérdida de carga por accesorios expresados en longitud de tubería

En la tabla 7, observamos el catálogo de pérdidas por fricción en accesorios que se usó para el presente trabajo de investigación, el cual permite conocer las pérdidas de fricción en accesorios de acuerdo al diámetro nominal de la tubería y al tipo de accesorio (Plastigama, 2012).

Tabla 7: Perdidas de fricción por accesorios

Diámetro Nominal (mm)	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	200
Accesorio	Pérdidas de carga (m)												
TEE	0,7	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	3,2	3,6	5,0
CODO 90°	1,1	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,6	5,0	5,4	5,5
CODO 45°	0,4	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	3,5
CODO 90° L/R	0,4	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,6
CODO 45° L/R	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,4
VÁLVULA CHECK	2,5	2,7	3,8	4,9	6,8	7,1	8,2	9,3	10,4	11,5	12,5	13,9	17,6
VÁLVULA DE BOLA	11,1	11,4	15,0	22,0	35,8	37,9	38,0	40,0	42,3	46,6	50,9	56,7	72,1
VÁLVULA DE COMPUERTA	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,4

Fuente: (Plastigama, 2012)

### 3.2.4 Velocidad en tramos de tubería

El cálculo de la velocidad en cada tramo de tubería consiste en verificar si el fluido circula dentro de las velocidades mínimas y máximas impuestas, esto con el objetivo de evitar cualquier tipo de fenómeno hidráulico. La velocidad puede ser calculada por la siguiente expresión (Saldarriaga, 2007):

$$V = \frac{10 \times Q}{9 \times x^2}$$

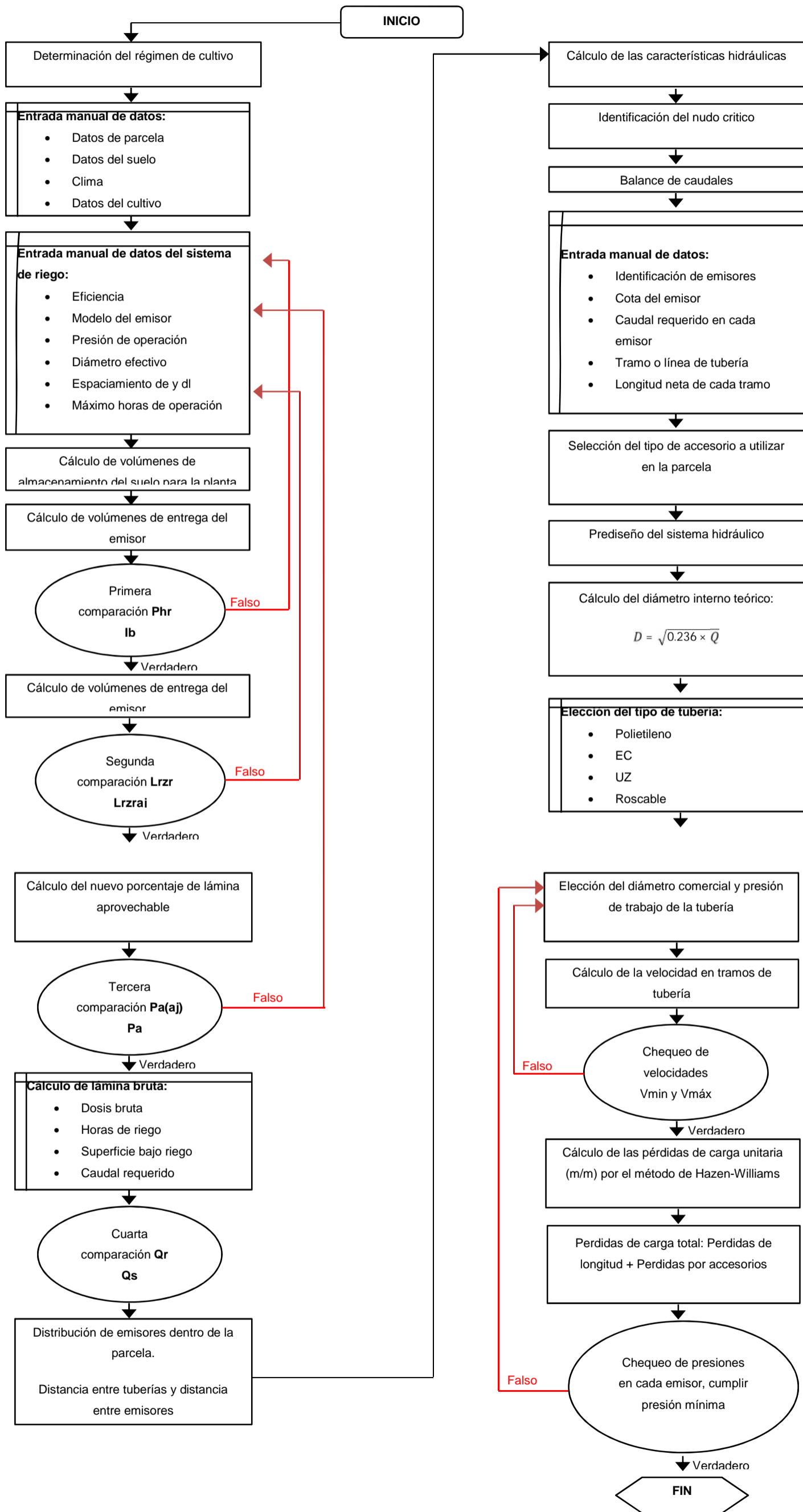
Dónde:

V : Velocidad  $\frac{m}{s}$

Q : Caudal  $\frac{L}{h}$

x : Diámetro interno de la tubería (m)

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso de cálculo del régimen agronómico y las características hidráulicas a través de la herramienta computacional implementada.



### 3.3. Tercera etapa: Implementación de herramienta computacional [HC] en Microsoft Excel para la determinación del régimen de cultivo

Para desarrollar la herramienta computacional (HC) se ingresa la información siguiente:

- 1) Datos de parcela.
- 2) Datos climatológicos.
- 3) Datos de la fuente de abastecimiento.
- 4) datos del tipo de cultivo.
- 5) Datos que corresponden al tipo de sistema de riego escogido (Avidan, 1994; FAO24, 1990; FAO56, 2006).

#### 3.3.1 Datos de la parcela

Especificamos el nombre del cultivo seleccionando esta información desde la lista desplegable como se muestra en la figura 10.

5	N°	DATOS				INFORMACIÓN, COMENTARIOS Y/O VALORES RECOMENDADOS
6		DESCRIPCION	Símbolo	Unidad	VALOR	
7	1	Nombre del cultivo			Algodón	
8	2	Área bruta	A	Granos (secos)		40000 metros cuadrados
9	3	Área Neta bajo riego	Sr	Guisantes (arvejas)		610000 metros cuadrados
10	4	Pendiente		Lechuga		
11	5	Textura		Lentejas		
12	6	Humedad a capacidad de campo	CC.	Maíz (grano)		
13	7	Humedad a punto de marchites permanente	PMP	Maíz dulce		
				Maní (cacahuete)		31 a 41
				Melones		15 a 20
				%	13	

Figura 10: Captura de imagen de (HC) para el ingreso de datos de la parcela

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La lista en donde consta el tipo de cultivo se encuentra en la Tabla 2 que es la información agrotécnica referencial de cultivos utilizados, además se especifica el área bruta, área neta de riego y la pendiente de la parcela.

#### 3.3.2 Datos del suelo

El tipo de suelo se selecciona en la celda “textura” que permite escoger el tipo de suelo a usar y la herramienta computacional informa los intervalos recomendados de las características del suelo, esta información se observa en la (Tabla 3: Características de los tipos de suelos usuales de acuerdo a la textura; ver Figura 11).

5	DATOS				INFORMACIÓN, COMENTARIOS Y/O VALORES RECOMENDADOS	
6		DESCRIPCION	Símbolo	Unidad	VALOR	
10	P	Pendiente		%	2	
11		Textura			Franco arcilloso	
12		Humedad a capacidad de campo	CC.	Franco arcillo arenoso		31 a 41
13		Humedad a punto de marchites permanente	PMP	Franco arcillo limoso		15 a 20
14		Densidad aparente	Da	Franco arcilloso		
15		Infiltración básica	Ib	Franco		1.3 a 1.4
16		Profundidad efectiva.		Franco arenoso		5 a 20
				Arenoso Franco		
				Arenoso		
				Arena Gruesa		CEPTADA. El zr < Prof. Efec

Figura 11: Captura de imagen de (HC) para la selección del tipo de suelo

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Las características del suelo se obtienen mediante análisis de laboratorio para conocer exactamente su humedad a capacidad de campo, humedad a punto de marchites permanente, densidad aparente y su infiltración básica (Avidan, 1994).

### 3.3.3 Datos del clima

Los datos del clima de la zona pueden ser obtenidos in situ en caso de contar con un tanque evaporímetro que proporciona el coeficiente o eficiencia del mismo. Este coeficiente es un valor adimensional que depende del fabricante del tanque evaporímetro y sirve para conocer la eficiencia del mismo. Además disponemos del valor de evapotranspiración de referencia a través del método recomendado por el manual de la FAO 24 “Las necesidades del agua de los cultivos” (método de Penman modificado), que constituye uno de los métodos más exactos con la cantidad de variables que toma en consideración (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

Seguidamente se ingresa el valor de la humedad relativa en porcentaje y el valor de la velocidad del viento a dos metros de altura (m/s). Otro dato que nos permite determinar el área neta máxima de riego es el caudal disponible (m<sup>3</sup>/h). Esta información debe ser ingresada como se muestra en la figura 12.

5	N°	DATOS				INFORMACIÓN, COMENTARIOS Y/O VALORES RECOMENDADOS	
6		DESCRIPCION	Simbolo	Unidad	VALOR		
17	11	CLIMA	Evapotranspiración de tanque	Etan	mm/día	4,7	
18	12		Coeficiente del tanque.	Ktan.	Adim.	1	
19	13		Humedad relativa mínima	H.R.	%	60	
20	14		Velocidad del viento	V2	m/s.	3	Viento moderado = 10,8 km/h
21	15	FUENTE	Caudal disponible	Qs	m <sup>3</sup> / h	237	= 65,83 lit./seg. = 237000 lit./hora

Figura 12: Captura de imagen de (HC) para el ingreso de datos climáticos

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

### 3.3.4 Elección del tipo de sistema de riego

Con el fin de optimizar el sistema de riego parcelario, se cuenta con algunas alternativas de selección del modelo de emisor que se encuentran en la tabla 5 que es la información de los tipos de emisores. Esta tabla puede ser modificada por el usuario y a la vez es posible incrementar modelos de acuerdo a la necesidad (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

El modelo del emisor se lo ingresa como se muestra en la figura 13.

	B	C	D	E	F	G	H
5		Nº	DATOS				INFORMACIÓN, COMENTARIOS Y/O VALORES RECOMENDADOS
6			DESCRIPCION	Símbolo	Unidad	VALOR	
27	21	SISTEMA DE RIEGO	Eficiencia	Ef	%	75	Riego x aspersión < 75 %
28	22		Modelo del emisor			ASPERSOR NAAN DAN 5022 RM ½" BOQ # 3,2x2,5 H=0,50	
29	23		Presión de operación mínima			ASPERSOR SENNINGER 3023-2 de ¾" BOQ. # 8xt	2,38
30	24		Presión de operación máxima			ASPERSOR SENNINGER 4123-1 de ¾" BOQ. # 12	4,08
31	25		Presión de operación media			ASPERSOR SENNINGER 4123-1 de ¾" BOQ. # 12	3,23
32	26		Angulo de cobertura	a		ASPERSOR SENNINGER 3123-1 de ¾" BOQ. # 8 (	360º
33	27		Presión de operación requerida O Disponible			ASPERSOR NAAN DAN 5024 RM ½" BOQ. # 3,5 ASPERSOR DE PRUEBA	El emisor funciona con la presion dispon
34	28		Caudal de emisor	qc	lit./hora	1000,00	
35	29		Diámetro efectivo	d	m	24,00	
36	30		Disposición de emisores		2	DISPOSICIÓN RECTANGULAR	Considerando Disp. y Vel Viento: de= dl=
37	31		Espaciamento entre emisores	de	m.	12	12,8; Considerando solo Vel. Viento de=dl=
38	32	Espaciamento entre laterales	dl	m.	12	12	
39	33	Número de emisores por planta	Nep	u.	1		
40	34	Máximo horas de operación / día	Hm.	h.	24	Se recomienda 06H00 A 23H00	
41	35	días de paro por ciclo	dpc	día	1	SABADO/DOMINGO, ETC	

Figura 13: Captura de imagen de (HC) para la elección del tipo de emisor

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Al escoger el tipo de emisor la herramienta computacional (HC) calcula el caudal del emisor y diámetro efectivo basado en la información de la presión o altura de carga de la fuente de abastecimiento.

Si la presión disponible no se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento del emisor seleccionado, la herramienta computacional alerta con celdas de relleno color rojo, indicando que la presión se encuentra fuera de rango. Como se muestra en la figura 14.

Ante esta alerta el diseñador procederá a cambiar el tipo de emisor o ingresar una presión que se encuentre dentro de los rangos de funcionamiento del emisor seleccionado.



		B	C	D	E	F	G	H	I
5	N°	DATOS						INFORMACIÓN, COMENTARIOS Y/O VALORES RECOMENDADOS	
6		DESCRIPCION			Símbolo	Unidad	VALOR		
27	21	Eficiencia			Ef	%	75		Riego x aspersión < 75 %
28	22	Modelo del emisor					ASPERSOR NAAN DAN 5022 RM ½' BOQ # 3,2x2,5 H=0,50		
29	23	Presión de operación mínima				atm			2,38
30	24	Presión de operación máxima				atm			4,08
31	25	Presión de operación media				atm			3,23
32	26	Angulo de cobertura			a	Grados			360°
33	27	Presión de operación requerida O Disponible				Atm.	5,0000		El emisor NO funciona con esa presion disp
34	28	Caudal de emisor			qe	lit./hora	PRESION FUERA DE RANGO		
35	29	Diámetro efectivo			d	m	PRESION FUERA DE RANGO		
36	30	Disposición de emisores				2	DISPOSICIÓN RECTANGULAR		Modifique la presion requerida ya que esta fuera de los rangos de operación del Aspersor
37	31	Espaciamiento entre emisores			de	m.	12		
38	32	Espaciamiento entre laterales			dl	m.	12		
39	33	Número de emisores por planta			Nep	u.	1		
40	34	Máximo horas de operación / día			Hm.	h.	24		Se recomienda 06H00 A 23H00
41	35	días de paro por ciclo			dpc	día	1		SABADO/DOMINGO, ETC

Figura 14: Captura de imagen de (HC) para alertar que el emisor seleccionado se encuentra fuera de presión de rango

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La celda “Disposición de Emisor” hace referencia a la forma geométrica de los emisores dentro de la parcela que podrá ubicarse de dos formas, rectangular o triangular.

Luego de elegir la disposición de los emisores y el valor de velocidad del viento adecuado; es posible definir la distancia máxima entre emisores (de) y laterales (dl) de acuerdo a dos criterios a) considera la disposición de emisores y b) velocidad del viento. La disposición rectangular de los emisores dentro de la parcela es tal como se indica en la figura 15 (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

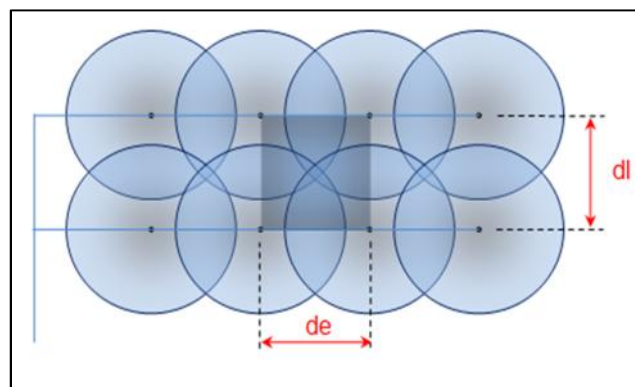


Figura 15: Disposición rectangular de emisores

Fuente: (Avidan, 1994); (Pizarro, 1990)

Elaboración: El autor

La disposición triangular o tres bolillos, de los emisores dentro de la parcela se muestra en la figura 16 (Avidan, 1994).

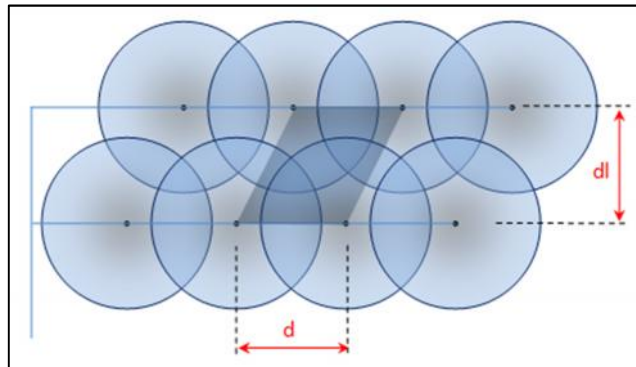


Figura 16: Disposición triangular de emisores

Fuente: (Avidan, 1994); (Pizarro, 1990)

Elaboración: El autor

Es importante que el diseñador tome en cuenta que la disposición rectangular tiene la ventaja de permitir mayor facilidad en las labores agrícolas mecanizadas y la desventaja de obtener menores valores de la distancia entre emisores ( $d_e$ ) y laterales ( $d_l$ ); al contrario la disposición triangular de emisores, permite mayores valores de distancia entre laterales y emisores pero dificulta las labores agrícolas mecanizadas. Esta decisión influye directamente en la ubicación de emisores y laterales de riego, parámetro indispensable para obtener distancias máximas para un diseño técnico y económicamente factible.

Operativamente, la disposición de los emisores se la realiza desde la lista desplegable tal como se muestra en la figura 17

28	22	Modelo del emisor			ASPERSOR NAAN DAN 5022 RM 1/2" BOQ # 3,2x2,5 H=0,50	
29	23	Presión de operación mínima		atm		2,38
30	24	Presión de operación máxima		atm		4,08
31	25	Presión de operación media		atm		3,23
32	26	Angulo de cobertura	a	Grados		360°
33	27	Presión de operación requerida O Disponible		Atm.	3,6353	OK el emisor funciona con la presion dispon
34	28	Caudal de emisor	qe	lit./hora	1000,00	
35	29	Diámetro efectivo	d	m	24,00	
36	30	Disposición de emisores		2	DISPOSICIÓN RECTANGULAR	Considerando Disp. y Vel Viento: $d_e = d_l =$
37	31	Espaciamiento entre emisores	$d_e$		DISPOSICIÓN RECTANGULAR	8; Considerando solo Vel. Viento $d_e = d_l =$
38	32	Espaciamiento entre laterales	$d_l$	m.	DISPOSICIÓN TRIANGULAR 12	

Figura 17: Captura de imagen de (HC) para la disposición de emisores

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Al ingresar el número máximo de horas de operación por día se debe considerar el tiempo, en el cual el usuario controle el funcionamiento correcto del sistema de riego, por lo que se recomienda un máximo de 17 horas diarias (Avidan, 1994; FAO24, 1990; Pizarro, 1990).

Se considera que el sistema de riego no funcionara en los días no laborables y de mantenimiento (se recomienda entre uno y dos días) (Avidan, 1994; FAO24, 1990; Pizarro, 1990).

### 3.3.5 Resultados agronómicos

El cálculo del régimen de riego es proyectado teóricamente con conceptos sobre la relación suelo-agua-planta y está concebido como un balance hídrico por medio de láminas de agua. La cantidad de agua que es necesario reponer será determinado por el tiempo en que llega al suelo y es entregada por el sistema de riego seleccionado versus la capacidad de retención de agua que tiene el suelo a disposición para la planta, más el consumo que dispone la planta en su periodo de máximo consumo. Este balance hídrico se representa gráficamente en la figura 18 (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

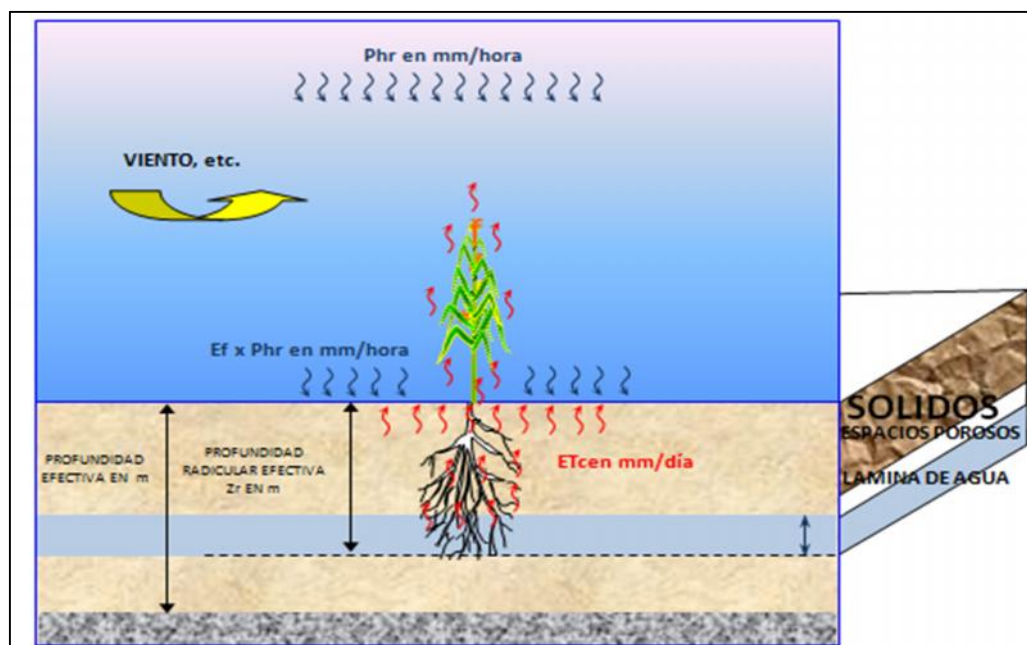


Figura 18: Explicación gráfica sobre la relación suelo-agua-planta

Fuente: (Avidan, 1994)

El control del balance hídrico se realiza mediante comprobaciones de algunas condiciones de diseño calculadas con las ecuaciones indicadas en la primera etapa.

### 3.3.6 Primera comprobación: Precipitación horaria Infiltración básica

La herramienta computacional (HC) chequea si la precipitación horaria ( $Phr$ ) del modelo de emisor seleccionado es menor o igual a la infiltración básica del suelo ( $I_b$ ), con el objeto de evitar pérdidas de agua y daños al suelo por escorrentía (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

En la figura 19 se puede observar un resumen de todas las ecuaciones utilizadas para la primera comparación.

RESULTADOS DE REQUERIMIENTOS HIDRICOS Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN						
Nº	RESULTADOS					
	DESCRIPCION	Simbolo	Unidad	ECUACIÓN	VALOR	
1	Lámina de agua disponible a la prof. radicular efec. del cultivo	LDzr	mm./zr	$= (CC - PMP) * Da * zr * 10$	75,6	
2	Volumen de agua disponible a la prof. radicular efectiva	VDzr	m <sup>3</sup> / ha./zr	$= LDzr * x10$	756	
3	Lámina de agua aprovechable a la prof. radicular efectiva	Lazr	mm./zr	$= LDzr * Pa / 100$	37,8	
4	Precipitación Horaria del sistema de riego.	Phr	mm / h.	$= qe * 100 / ( de * dl * x Parp.)$	6,94	
5	<b>PRIMERA Comparación de Phr &lt;= Ib</b>			ACEPTADO. La Precipitación del sistema es menor que la Ib		

Figura 19: Captura de imagen de (HC) para la primera comparación del sistema

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La herramienta computacional (HC) controla y alerta al diseñador a través de relleno de color verde cuando esta condición se cumple o celda color rojo cuando no la cumple. Tal como se indica en la figura 20.

RESULTADOS DE REQUERIMIENTOS HIDRICOS Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN						
Nº	RESULTADOS					
	DESCRIPCION	Simbolo	Unidad	ECUACIÓN	VALOR	
1	Lámina de agua disponible a la prof. radicular efec. del cultivo	LDzr	mm./zr	$= (CC - PMP) * Da * zr * 10$	75,6	
2	Volumen de agua disponible a la prof. radicular efectiva	VDzr	m <sup>3</sup> / ha./zr	$= LDzr * x10$	756	
3	Lámina de agua aprovechable a la prof. radicular efectiva	Lazr	mm./zr	$= LDzr * Pa / 100$	37,8	
4	Precipitación Horaria del sistema de riego.	Phr	mm / h.	$= qe * 100 / ( de * dl * x Parp.)$	10,00	
5	<b>PRIMERA Comparación de Phr &lt;= Ib</b>			RECHAZADO. La Precipitación es mayor a Infiltración		

Figura 20: Captura de imagen de (HC) para dar alerta en caso de no cumplir la primera comparación

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Para que se cumpla la condición de precipitación horaria del emisor, existen 3 alternativas: (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

1. Incrementar la distancia entre laterales y emisores para abarcar mayor área de riego por emisor y disminuir la precipitación horaria, este incremento se lo debe realizar considerando que no sea mayor al recomendado por traslape.
2. Disminuir la presión de trabajo del emisor seleccionado para minimizar el caudal del emisor y por lo tanto también la precipitación horaria.
3. Cambiar el tipo de emisor de tal manera que con la presión disponible se entregue un menor valor de caudal.

### 3.3.7 Segunda y tercera comprobación.

Convencionalmente el proceso del diseño exige; comprobar que la lámina ajustada sea menor que la aprovechable y que el porcentaje aprovechado sea menor al máximo porcentaje recomendado para el tipo de cultivo seleccionado (Avidan, 1994).

Estas dos comprobaciones siempre se van a cumplir puesto que la (HC) hace que el intervalo de riego ajustado en días se redondee al entero inferior (Avidan, 1994).

### 3.3.8 Cuarta comprobación

La cuarta comparación hace referencia al caudal requerido que debe ser menor al caudal disponible de la fuente de abastecimiento. El caudal requerido está en relación directa al Área Neta bajo riego (ha); lo que permitirá determinar la máxima área que es posible regar con el caudal disponible (Avidan, 1994).

### 3.3.9 Optimización del diseño.

El objetivo es diseñar un sistema de riego técnico y económicamente factible que cumpla con todas las comprobaciones maximizando el área de riego.

Esta optimización la realiza la herramienta computacional con los botones de incremento o decremento de la distancia entre emisores y laterales, como se indica en la figura 21.

O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
$Dzr \times Pa / 100$	37,8								
$Pa / (de \times dl \times Parp.)$	6,94								
<b>OPTIMIZACION DEL EMISOR SELECCIONADO</b>									
<b>1ra ITERACIONES (TANTEO)</b>			MAXIMO POR TRASLAPE		<b>RELACION PROPORCIONAL</b>				
Espaciamiento entre emisores	12	▲			INVERSA CON LA PRECIPITACION HORARIA				
Espaciamiento entre laterales	12	▼	12,8		DIRECTA CON LAS HORAS DE RIEGO				
AREA DE RIEGO POR EMISOR (m <sup>2</sup> )	144								
<b>AJUSTE POR SEGURIDAD</b>									
<b>2da ITERACION (TANTEO)</b>			<b>RELACION PROPORCIONAL</b>						
Área Neta bajo riego (Ha)	61	▲	DIRECTA CON EL CAUDAL REQUERIDO						
		▼	DIRECTA CON EL NUMERO DE EMISORES POR TURNO						

Figura 21: Captura de imagen de (HC) para optimización del sistema de riego

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La (HC) alertará al usuario con celdas de relleno color rojo cuando algunas de las condiciones no se cumplan, como se indica en la figura 22 (Avidan, 1994); (FAO24, 1990).

Símbolo	Unidad	ECUACIÓN	VALOR
Lazr	mm/zr	= LDzr x Pa /100	37.8
Phr	mm / h.	=qe x 100 / (de x di x Parp.)	10.00
RECHAZADO. La Precipitación es mayor a			
Etc.	mm / día	= Etan x Ktan. x Kc	5.03
Ir	días	= Lazr x Parp. / Etc x 100	7.51
Ir <sub>aj</sub>	días	= ENTERO Ir	7.00
CR	días	= Ir <sub>aj</sub> - dpc	6
Lr <sub>aj</sub>	mm.	= Ir <sub>aj</sub> x Etc x 100 / Parp.	35.21
Pa <sub>aj</sub>	%	= Lr <sub>aj</sub> * 100 / LDzr	46.57
ACEPTADO. La lamina ajustada es menor que la aprovechada			
Pa <sub>aj</sub>	%	= Lr <sub>aj</sub> * 100 / LDzr	46.57
Si el % aprovechado es menor al maximo % aprovechado			
LB	mm.	= Lr <sub>aj</sub> * 100 / Ef	46.95
Si el % aprovechado es menor al maximo			
Ht	h / Turno	= LB / Phr	4.69
Td	turnos / día	= Hm / Ht	5.000
Hd	h / día	= Td x Ht	23.47
Hc	h / ciclo	= CR x Hd	140.840
Tc	Turnos/ciclo	= CR x Td	30
St	ha / turno	= Sr / Tc	2.400
DBt	m <sup>3</sup> / turno	= St x DB	1126.720
Qr	m <sup>3</sup> / hora	= DBt / Ht	240.00
NO el Caudal Requerido es mayor al disponible			
Emt	u.	= Qr * 1000 / qe	240.00
VBc	m <sup>3</sup> / ciclo	= DBt x Tc	33802

OPTIMIZACION DEL EMISOR SELECCIONADO			
1ra ITERACCIONES (TANTEO)		MAXIMO POR TRASLAPE	RELACION PROPORCIONAL
Espaciamiento entre emisores	10	▲	INVERSA CON LA PRECIPITACION HORARIA
Espaciamiento entre laterales	10	▼	DIRECTA CON LAS HORAS DE RIEGO
AREA DE RIEGO POR EMISOR (m <sup>2</sup> )	100		
			12.8

AJUSTE POR SEGURIDAD

OPTIMIZACION DEL AREA DE RIEGO			
2da ITERACCION (TANTEO)		RELACION PROPORCIONAL	
Área Neta bajo riego (Ha)	72	▲	DIRECTA CON EL CAUDAL REQUERIDO
		▼	DIRECTA CON EL NUMERO DE EMISORES POR TURNO

Figura 22: Captura de imagen de (HC) para alertar en caso de no cumplirse alguna condición

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Este proceso permite optimizar el sistema de riego seleccionado y el caudal disponible (Avidan, 1994; FAO24, 1990).

### 3.4. Cuarta etapa: Implementación de herramienta computacional en Microsoft Excel para la determinación de las características hidráulicas de la red

Para el diseño de un sistema de riego se determinara caudales, diámetros de tubería y presiones en los emisores. Los cálculos hidráulicos consistirán en conocer los caudales que circularán en las redes terciarias considerando las tolerancias de presiones se calcula los diámetros de tubería y régimen de presiones (Pizarro, 1990).

Las características hidráulicas se determinan en una red tipo parcela, en la cual la distribución de emisores adoptada es la forma rectangular o triangular dependiendo de la disposición del diseñador (Pizarro, 1990).

Para el presente caso, se optó con una disposición como se ilustra en la figura 23 y su procedimiento de cálculo se lo describe seguidamente (Pizarro, 1990).

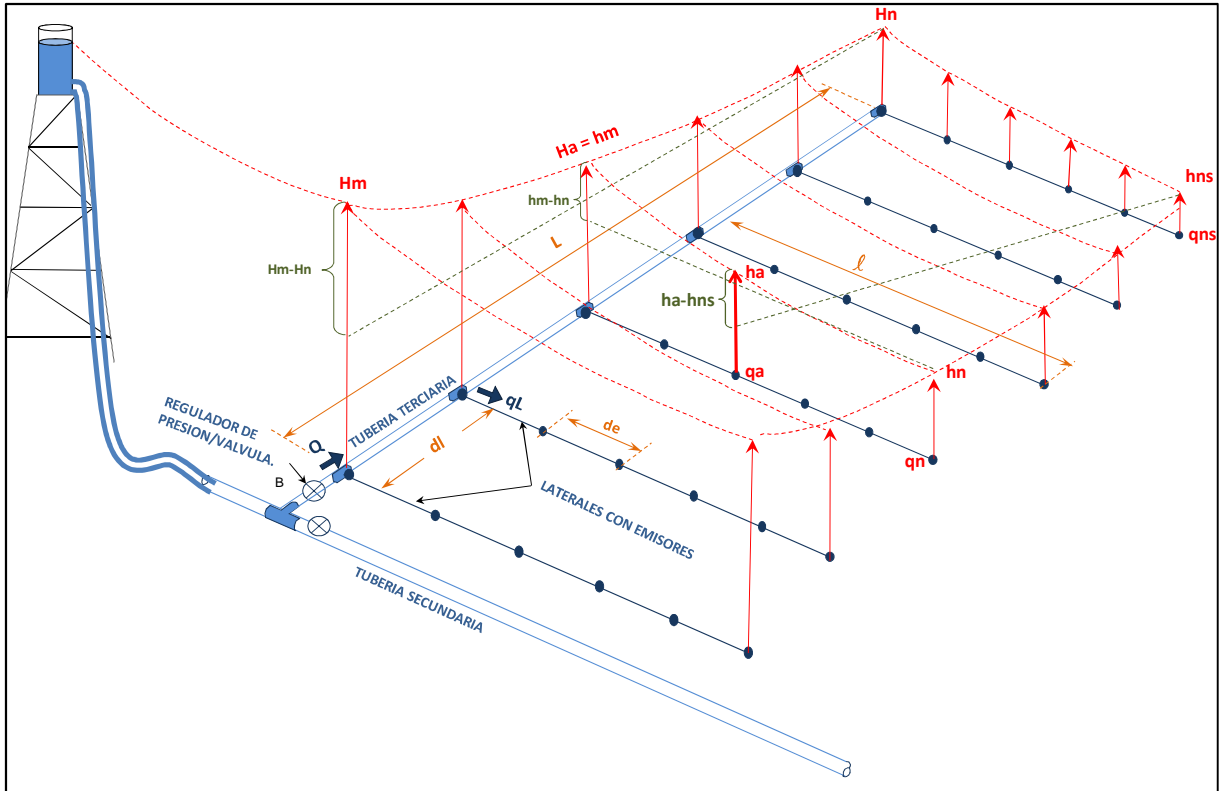


Figura 23: Presiones y caudales en una subunidad de riego

Fuente: (Pizarro, 1990)

Elaboración: El autor

### 3.4.1 Identificación del nudo crítico en la parcela

Identificamos el nudo crítico ubicando el emisor más lejano con respecto a la fuente de abastecimiento, como se observa en la figura 24 (Saldarriaga, 2007; Pizarro, 1990).

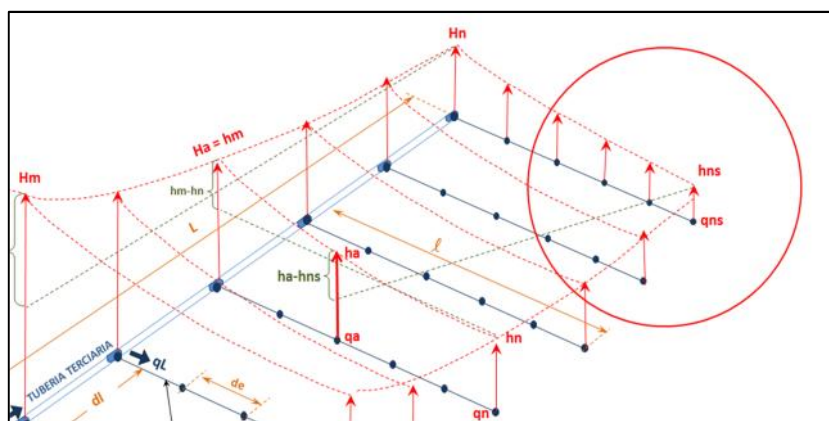


Figura 24: Ubicación del emisor más alejado respecto a la fuente de abastecimiento

Fuente: (Pizarro, 1990)

Elaboración: El autor

### 3.4.2 Determinación del caudal total [Qi]

El caudal  $Q_i$  o caudal total se determina desde el emisor más alejado hacia la fuente de abastecimiento, partiendo de la primera ley de Kirchoff; “La suma neta de todos los caudales que confluyen en un nudo debe ser nula”. El balance de caudales se aprecia en la figura 25 (Saldarriaga, 2007).

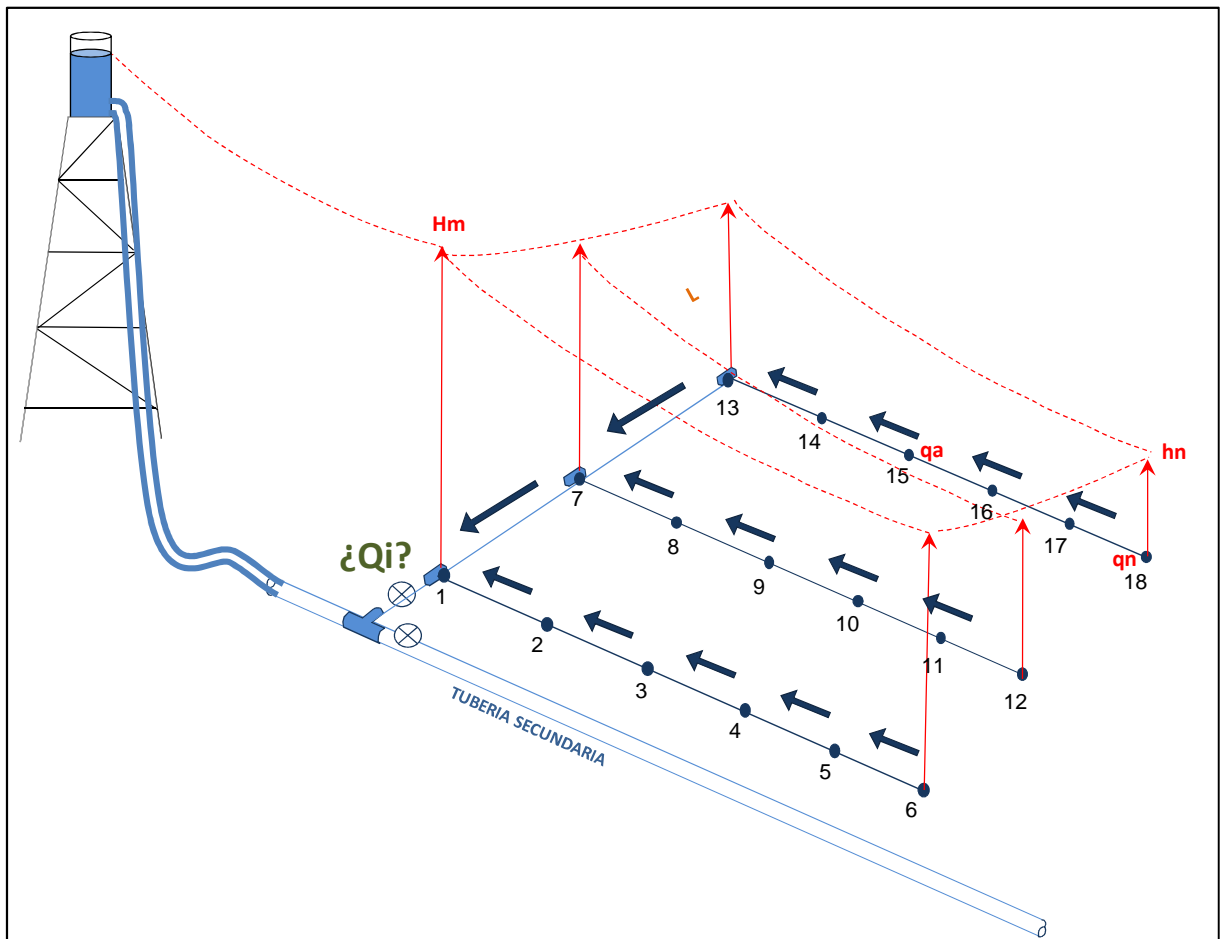


Figura 25: Balance de caudales

Fuente: (Pizarro, 1990); (Saldarriaga, 2007)

Elaboración: El autor

Desarrollaremos un ejemplo en donde determinaremos el caudal total de la red parcelaria.

Con los datos presentados en la tabla 8 se realiza el diseño de la red parcelaria tomando como referencia la figura 25; se calculan los valores de las presiones en cada uno de los emisores y velocidades en tramos de tubería (Saldarriaga, 2007).



Tabla 8: Ejemplo de red hidráulica para riego en parcela

Nudo	Cota (m)	DEMANDA (Litros/hora)	Línea	L Longitud Neta del tramo (m)	BALANCE DE CAUDALES (Litros/hora)
TA	1040 m.s.n.m				
1	1000 m.s.n.m	1500 L/h	TA - 1	50	27000 L/h
2	1000 m.s.n.m	1500 L/h	1 - 2	17	25500 L/h
3	1000 m.s.n.m	1500 L/h	2 - 3	17	24000 L/h
4	1000 m.s.n.m	1500 L/h	3 - 4	17	22500 L/h
5	1000 m.s.n.m	1500 L/h	4 - 5	17	21000 L/h
6	1000 m.s.n.m	1500 L/h	5 - 6	17	19500 L/h
7	1000 m.s.n.m	1500 L/h	1 - 7	17	18000 L/h
8	1000 m.s.n.m	1500 L/h	7 - 8	17	16500 L/h
9	1000 m.s.n.m	1500 L/h	8 - 9	17	15000 L/h
10	1000 m.s.n.m	1500 L/h	9 - 10	17	13500 L/h
11	1000 m.s.n.m	1500 L/h	10 - 11	17	12000 L/h
12	1000 m.s.n.m	1500 L/h	11 - 12	17	10500 L/h
13	1000 m.s.n.m	1500 L/h	7 - 13	17	9000 L/h
14	1000 m.s.n.m	1500 L/h	13 - 14	17	7500 L/h
15	1000 m.s.n.m	1500 L/h	14 - 15	17	6000 L/h
16	1000 m.s.n.m	1500 L/h	15 - 16	17	4500 L/h
17	1000 m.s.n.m	1500 L/h	16 - 17	17	3000 L/h
18	1000 m.s.n.m	1500 L/h	17 - 18	17	1500 L/h

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 8 observamos que en el emisor número 18 tenemos la demanda mínima de 1500 L/h y al realizar el balance de caudales alcanzamos 27000 L/h en el emisor número 1 (Saldarriaga, 2007).

### 3.4.3 Pérdidas de carga por accesorios

Como se explicó en el capítulo metodología, las pérdidas de carga por accesorios se consideran a partir de la tabla 7 presentada por el catalogo agrícola plastigama especificando el tipo y número de accesorio que se utilizará en la red de riego parcelario (Pizarro, 1990; Plastigama, 2012).

Ingresamos en la celda que corresponde los tipos de accesorios de la lista desplegable como se muestra en la figura 26.

Tomando como referencia el ejemplo anterior tenemos que en los emisores números 1 y 7 necesitamos un accesorio tipo "T" y para el emisor número 13 un codo de 90°, obteniendo los siguientes resultados:

Nudo	Cota (m)	CAUDAL REQUERIDO Q (Litros/hora)	Línea	L Longitud Neta del tramo (m)	ACCESORIO TIPO 1		ACCESORIO TIPO 2		ACCESORIO TIPO 3		ACCESORIO TIPO 1	PERDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS EXPRESADA EN LONG. TUBERÍA	LONGITUD TOTAL L (m)
					SELECCIÓN DE LA DENOMINACION DEL ACCESORIO	CANTIDAD EN EL TRAMO	SELECCIÓN DE LA DENOMINACION DEL ACCESORIO	CANTIDAD EN EL TRAMO	SELECCIÓN DE LA DENOMINACION DEL ACCESORIO	CANTIDAD EN EL TRAMO			
TA	1040 msnm.												
1	1000 msnm.	27000 lit. / hora	TA - 1	50	TEE	1					2,50	2,50	52,50
2	1000 msnm.	25500 lit. / hora	1 - 2	17									17,00
3	1000 msnm.	24000 lit. / hora	2 - 3	17									17,00
4	1000 msnm.	22500 lit. / hora	3 - 4	17									17,00
5	1000 msnm.	21000 lit. / hora	4 - 5	17									17,00
6	1000 msnm.	19500 lit. / hora	5 - 6	17									17,00
7	1000 msnm.	18000 lit. / hora	1 - 7	17	TEE	1					2,30	2,30	19,30
8	1000 msnm.	16500 lit. / hora	7 - 8	17									17,00
9	1000 msnm.	15000 lit. / hora	8 - 9	17									17,00
10	1000 msnm.	13500 lit. / hora	9 - 10	17									17,00
11	1000 msnm.	12000 lit. / hora	10 - 11	17									17,00
12	1000 msnm.	10500 lit. / hora	11 - 12	17									17,00
13	1000 msnm.	9000 lit. / hora	7 - 13	17	CODO 90°	1					3,40	3,40	20,40
14	1000 msnm.	7500 lit. / hora	13 - 14	17									17,00
15	1000 msnm.	6000 lit. / hora	14 - 15	17									17,00
16	1000 msnm.	4500 lit. / hora	15 - 16	17									17,00
17	1000 msnm.	3000 lit. / hora	16 - 17	17									17,00
18	1000 msnm.	1500 lit. / hora	17 - 18	17									17,00

Figura 26: Captura de imagen de (HC) para la elección del tipo de accesorio

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

### 3.4.4 Prediseño del sistema de riego

Una vez que se ubica el nudo crítico y los accesorios a utilizar; calculamos los diámetros de tubería, velocidades en cada tramo de la red parcelaria y pérdidas de carga totales.

Al conocer las pérdidas de carga totales expresadas en longitud de tubería podemos chequear y determinar las presiones de operación del sistema de riego en cada emisor (Pizarro, 1990; Saldarriaga, 2007; Plastigama, 2012).

Para el presente proyecto se ha calculado el primer emisor y línea de tubería de forma manual.

- **Diámetro teórico en tramos de tubería**

Para conducir el caudal necesario en los tramos de tubería se calcula un diámetro teórico que permitirá hacer una primera elección del diámetro comercial adecuado como se puede apreciar en la figura 27.

Una fórmula práctica para la selección del diámetro interno de una tubería es la siguiente (Pizarro, 1990):

$$D = \sqrt{0.236 \times Q}$$

Dónde:

D : Diámetro interno de la tubería (mm)

Q : Caudal ( $\frac{L}{h}$ )

Siguiendo con el ejemplo anterior tenemos:

$$D = \sqrt{0.236 \times 27000 \frac{L}{h}}$$

$$D = 79.82 \text{ mm}$$

ACCESORIO TIPO 1	PERDIDA DE CARGA POR ACCESORIOS EXPRESADA EN LONG. TUBERIA	LONGITUD TOTAL Lt (m)	DIAMETRO INTERNO PRACTICO SUGERIDO (mm) PARA QUE VELOCIDAD < 1,5 m/s $D = \sqrt{0,236 \times Q}$	TIPO DE TUBERIA	Ø DIAMETRO NOMINAL (mm)	SELECCIÓN DE PRESION DE TRABAJO (Mpa)	SELECCIÓN DE PRESION DE TRABAJO (m.c.a.)	D DIAMETRO INTERIOR Ø (mm)
2,50	2,50	52.50	79,82	EC	90 mm	1,00	98,72	83,00
		17,00	77,58	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40
		17,00	75,26	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40
		17,00	72,87	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40
		17,00	70,40	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40
		17,00	67,84	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40
2,30	2,30	19.30	65,18	EC	63 mm	0,63	62,19	60,00
		17,00	62,40	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20
		17,00	59,50	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20
		17,00	56,44	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20
		17,00	53,22	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20
		17,00	49,78	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20
3,40	3,40	20.40	46,09	EC	32 mm	1,00	98,72	58,20
		17,00	42,07	EC	40 mm	1,00	98,72	58,20
		17,00	37,63	EC	50 mm	1,00	98,72	58,20
		17,00	32,59	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20
		17,00	26,61	EC	75 mm	1,00	98,72	29,40
		17,00	18,81	EC	90 mm	1,25	123,40	29,00

Figura 27: Captura de imagen de (HC) para el cálculo del diámetro teórico

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

- **Velocidades en tramos de tubería**

Una buena elección del diámetro de tubería conlleva a obtener un rango de valores de velocidades coherentes con el diseño impuesto (Saldarriaga, 2007; Pizarro, 1990).

Para evitar la sedimentación en la tubería se recomienda velocidades superiores a 0.5 m/s y velocidades máximas de 2.5 m/s para evitar fenómenos hidráulicos como cavitación (Saldarriaga, 2007; Pizarro, 1990).

La velocidad queda definida de la siguiente manera: (Saldarriaga, 2007).

$$V = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

- V : Velocidad  $\frac{m}{s}$   
Q : Caudal  $\frac{m^3}{s}$   
A = Área de la tubería ( $m^2$ )

De la misma ecuación podemos transformarla para poder utilizarla en otras unidades (Saldarriaga, 2007).

$$V = \frac{10 \times Q}{9 \times \frac{D}{1000}^2}$$

Dónde:

- V : Velocidad  $\frac{m}{s}$   
Q : Caudal  $\frac{L}{h}$   
D : Diámetro interno de la tubería (mm)

$$V = \frac{10 \times 27000 \frac{L}{h}}{9 \times (83 \text{ mm})^2}$$

$$V = 1.3862 \frac{m}{s}$$

Los resultados de las velocidades obtenidas del ejemplo anterior se pueden observar en la figura 28.

- **Pérdidas de carga y chequeo de presiones**

Como ya se explicó en la etapa 2 del capítulo metodología las pérdidas de carga se calculan por el método descrito por Hazen-Williams cuya ecuación para las pérdidas es la siguiente (Saldarriaga, 2007):

$$S_f = \frac{6.824 \times V^{1.851}}{C^{1.851} \times 1.167}$$

Dónde:

- Sf : Pérdida de carga unitaria  $\frac{m}{m}$

- : Diámetro interno de la tubería (m)
- V : Velocidad ( $\frac{m}{s}$ )
- C : Coeficiente Hazen-Williams

$$Sf = \frac{6.824 \times 1.3862^{1.851}}{150^{1.851} \times 0.0831^{1.167}}$$

$$Sf = 0.02138 \frac{m}{m}$$

Los resultados obtenidos se observan en la figura 28 para todos los emisores del ejemplo planteado.

Ø DIAMETRO INTERNO PRACTICO SUGERIDO (mm) PARA QUE VELOCIDAD < 1,5 m/s  $D = \sqrt{0,236 \times Q}$	TIPO DE TUBERIA	Ø DIAMETRO NOMINAL (mm)	SELECCIÓN DE PRESION DE TRABAJO (Mpa)	SELECCIÓN DE PRESION DE TRABAJO (m.c.a.)	D DIAMETRO INTERIOR Ø (mm)	VELOCIDAD (m/s)  $V = \frac{10 \times Q}{9 \times \pi \times \phi^2}$	PERDIDA DE CARGA UNITARIA (m/m) HAZEM - WILLIAMS	PERDIDA DE CARGA TOTAL DINAMICA $H_f = Sf \times L$ (m)	ALTURA DE CARGA (Metros)
						↓			↓ Si el valor viene
79.82	EC	90 mm	1,00	98,72	83,00	1,3862	0,02138	1,12	38,88
77,58	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40	1,7691	0,04003	0,68	38,20
75,26	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40	1,6650	0,03578	0,61	37,59
72,87	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40	1,5610	0,03175	0,54	37,05
70,40	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40	1,4569	0,02795	0,48	36,57
67,84	EC	75 mm	0,63	62,19	71,40	1,3528	0,02436	0,41	36,16
65,18	EC	63 mm	0,63	62,19	60,00	1,7684	0,04901	0,95	35,21
62,40	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20	1,7228	0,04839	0,82	34,39
59,50	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20	1,5662	0,04056	0,69	33,70
56,44	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20	1,4096	0,03337	0,57	33,13
53,22	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20	1,2530	0,02684	0,46	32,68
49,78	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20	1,0964	0,02096	0,36	32,32
46,09	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20	0,9397	0,01576	0,32	32,00
42,07	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20	0,7831	0,01124	0,19	31,81
37,63	EC	63 mm	1,00	98,72	58,20	0,6265	0,00744	0,13	31,68
32,59	EC	32 mm	1,00	98,72	29,40	1,8413	0,12142	2,06	29,62
26,61	EC	32 mm	1,25	123,40	29,00	1,2616	0,06128	1,04	28,58
18,81	EC	32 mm	1,25	123,40	29,00	0,6308	0,01699	0,29	28,29

Figura 28: Captura de imagen de (HC) para el cálculo de velocidad en tramos de tubería y chequeo de presiones de cada emisor

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La herramienta computacional (HC) alertará al usuario con celdas de relleno color rojo cuando la presión de trabajo de la tubería se encuentre fuera de rango, como se observa en la figura 29 (Saldarriaga, 2007).

Ø DIAMETRO NOMINAL (mm)	SELECCIÓN DE PRESION DE TRABAJO (Mpa)	SELECCIÓN DE PRESION DE TRABAJO (m.c.a.)	Ø DIAMETRO INTERIOR Ø (mm)	VELOCIDAD (m/s) $V = \frac{10 \times Q}{9 \times \pi \times \phi^2}$	PERDIDA DE CARGA UNITARIA (m/m) HAZEM - WILLIAMS	PERDIDA DE CARGA TOTAL DINAMICA Hf = Sf x L (m)	ALTURA DE CARGA (Metros)	SI PRESION DESPUES DE PERDIDAS CON LA PRESION DEL DISEÑO AGRONOMICO	SI LA PRESION DE TRABAJO DE LA TUBERIA RESISTE LA PRESION DEL SISTEMA
				↓			↓ 1065,00	Si el valor es menor	
90 mm	1,00	98,72	83,00	1,3862	0,02138	1,12	63,88	63,88	98,72
75 mm	0,63	62,19	71,40	1,7691	0,04003	0,68	63,20	63,20	62,19
75 mm	0,63	62,19	71,40	1,6650	0,03578	0,61	62,59	62,59	62,19
75 mm	0,63	62,19	71,40	1,5610	0,03175	0,54	62,05	62,05	62,19
75 mm	0,63	62,19	71,40	1,4569	0,02795	0,48	61,57	61,57	62,19
75 mm	0,63	62,19	71,40	1,3528	0,02436	0,41	61,16	61,16	62,19
63 mm	0,63	62,19	60,00	1,7684	0,04901	0,95	60,21	60,21	62,19
63 mm	1,00	98,72	58,20	1,7228	0,04839	0,82	59,39	59,39	98,72
63 mm	1,00	98,72	58,20	1,5662	0,04056	0,69	58,70	58,70	98,72
63 mm	1,00	98,72	58,20	1,4096	0,03337	0,57	58,13	58,13	98,72
63 mm	1,00	98,72	58,20	1,2530	0,02684	0,46	57,68	57,68	98,72
63 mm	1,00	98,72	58,20	1,0964	0,02096	0,36	57,32	57,32	98,72
63 mm	1,00	98,72	58,20	0,9397	0,01576	0,32	57,00	57,00	98,72
63 mm	1,00	98,72	58,20	0,7831	0,01124	0,19	56,81	56,81	98,72
63 mm	1,00	98,72	58,20	0,6265	0,00744	0,13	56,68	56,68	98,72
32 mm	1,00	98,72	29,40	1,8413	0,12142	2,06	54,62	54,62	98,72
32 mm	1,25	123,40	29,00	1,2616	0,06128	1,04	53,58	53,58	123,40
32 mm	1,25	123,40	29,00	0,6308	0,01699	0,29	53,29	53,29	123,40

Figura 29: Captura de imagen de (HC) para alertar en caso de no cumplirse la presión de trabajo en la tubería

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

### 3.5. Quinta Etapa: Comprobación de resultados de herramienta computacional (HC) en Microsoft Excel con software libre

En la presente etapa se exponen y comentan los resultados obtenidos por (HC) y se comparan con 3 software libres.

La primera comparación consistirá en el cálculo del uso consuntivo del cultivo utilizando software Cropwat, la segunda comparación será la distribución de emisores dentro de la parcela con software Gestar 2016 y por último el cálculo de las características hidráulicas mediante software Epanet.

Con el objeto de determinar la fiabilidad de la herramienta computacional se adopta los siguientes datos de partida: que tendrán referencia, a la disposición de riego en parcela así como tipo de emisor a usar y condición topográfica de parcela a diseñar.

- Área de riego: 3.24 Ha
- Tipo de cultivo: Algodón
- Textura del suelo: Franco
- Clima: Estación meteorología La Argelia
- Sistema de riego: Aspersión
- Modelo del Emisor: Semminger 4023-2 de ¾" BOQ. #12x16(3/16"x3/32") H = 0.50 m
- Distribución de emisores: Forma rectangular
- Cota del tanque de abastecimiento: 1040 msnm

- Cota de emisores: 1000 msnm
- Velocidad mínima: 0.60 m/s
- Velocidad máxima: 1.90 m/s.

Para el presente proyecto se toma en cuenta que los resultados obtenidos por los 3 tipos de software libres son 100% fiables ya que se trata de herramientas de estudio disponibles en la actualidad.

Los resultados obtenidos por la herramienta computacional y software libres se presentan en la siguiente tabla resumen.

Tabla 9: Comparación de resultados de (HC) con software libres

Método de análisis	Software				Fiabilidad según IGF
	Herramienta computacional	Cropwat	Gestar 2016	Epanet	
Uso consuntivo del cultivo	3.41 mm/día	3.45 mm/día			<b>98.84 % (Muy buena)</b>
Cantidad de emisores dentro de la parcela	256 emisores		322 emisores		<b>79.5 % (Buena)</b>
Presión de operación en nudo crítico	33.25 m			33.91 m	<b>98.1 % (Muy buena)</b>
Velocidad en la última línea de tubería	1.21 m/s			1.16 m/s	<b>96 % (Muy buena)</b>

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

## CONCLUSIONES

- En cuanto al objetivo principal de la investigación, mediante la tabla presentada por el Índice General de Fiabilidad se determinó que la fiabilidad de la herramienta computacional es muy buena al obtener resultados mayores al 90% para el cálculo del régimen agronómico y diseño hidráulico en parcela.
- El usuario que utilice la herramienta computacional cuenta con una base de datos de algunos cultivos, tipos de suelo y tipos de emisores existentes; esta información puede ser modificada y es posible agregar datos según convenga al objetivo del usuario.
- La herramienta computacional fue comparada con 3 tipos de software libres, para el cálculo del uso consuntivo del cultivo se utilizó software Cropwat, obteniendo un resultado del 98.84% de fiabilidad, en lo referente a la distribución de emisores con software Gestar un 79.5% de fiabilidad y para las características hidráulicas usamos Epanet con resultados del 96 al 98% de fiabilidad de las características hidráulicas de la red.
- Mediante la herramienta computacional se puede optimizar un sistema de riego en parcela cumpliendo todas las condiciones agronómicas aumentando o disminuyendo distancia entre emisores y laterales.
- La Herramienta computacional podrá ser utilizada para el diseño y comprobación de pequeñas parcelas.



## **RECOMENDACIONES**

- Para el uso de la herramienta computacional se recomienda que el usuario tenga conocimientos básicos en el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo y que domine los conceptos acerca del balance hídrico que existe entre el suelo el agua y la planta para que pueda hacer la mejor elección del sistema de riego en parcela.
- Seguir incrementando información en las hojas correspondientes a la base de datos para que la herramienta computacional sea aprovechada de mejor manera.

## BIBLIOGRAFÍA

- Avidan, D. A. (1994). Determinación del regimen de riego de los cultivos. Estado de Israel: CINADCO.
- EPANET. (2012). EPANET. España.
- FAO24. (1990). Las necesidades de agua de los cultivos. Roma: Libri Mundi.
- FAO56. (28 de Abril de 2006). Evapotranspiración de referencia. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-x0490s/x0490s01.pdf>
- García, J. L. (2001). Formulación y evaluación de planes de riego TOMO VII. Madrid: CEDEX.
- García, J. L. (2001). Sistemas de riego localizado TOMO VI. Madrid: CEDEX.
- García, J. L. (2001). Sistemas de riego por aspersión TOMO IV. Madrid: CEDEX.
- Granados, A. (2001). Redes colectivas de riego a presión. Madrid: CEDEX.
- Gestar, (Enero de 2014). Gestar diseño y gestión de regadíos. Obtenido de <http://www.acquanalyst.com/>
- Jiménez, E. (2008). Modificación de la técnica de riego localizado. Habana: FLACSO.
- Linsley, K. P. (1993). Hidrología para ingenieros. México: McGRAW-HILL.
- Pizarro, F. (1990). Riegos localizados de alta frecuencia. Madrid: S.A. MUNDI-PRENSA LIBROS.
- Plastigama. (2012). Catálogo Agrícola. Soluciones agrícolas plastigama, 35-56; 69-74.
- Plastigama. (2012). Catálogo Agrícola. Soluciones agrícolas plastigama, 4-34.
- Rodríguez, A. (2003). Estudio de la gestión del agua de riego y aplicación de las técnicas de Benchmarking a las zonas regables de Andalucía. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Sáenz, G. M. (2008). Hidrología en la ingeniería. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.
- Saldarriaga, J. (2007). Hidráulica de tuberías. Bogotá: Alfaomega.
- Santos, L. P. (2010). El riego y sus tecnologías. España: Albaceta.
- Sevilla, U. d. (Enero de 2007). Ingeniería Agroforestal. Obtenido de Open Course Ware Uniersidad de Sevilla: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_08.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_08.htm)

## **ANEXOS**

Tabla 10: Coeficiente  $K_p$ , en el caso de tanque clase A, para diferentes cubiertas

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en suelo desnudo			
		baja < 40	media 40 - 70	alta > 70		baja < 40	media 40 - 70	alta > 70
HR media (%)								
Velocidad del viento (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del cultivo a barlovento (m)			
Baja < 2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,7	0,8	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,6	0,7	0,8
	100	0,7	0,8	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,5	0,6	0,7
Moderada 2 a 5	1	0,5	0,6	0,65	1	0,65	0,75	0,8
	10	0,6	0,7	0,75	10	0,55	0,65	0,7
	100	0,65	0,75	0,8	100	0,5	0,6	0,65
	1000	0,7	0,8	0,8	1000	0,45	0,55	0,6
Alta 5 a 8	1	0,45	0,5	0,6	1	0,6	0,65	0,7
	10	0,55	0,6	0,65	10	0,5	0,55	0,65
	100	0,6	0,65	0,7	100	0,45	0,5	0,6
	1000	0,65	0,7	0,75	1000	0,4	0,45	0,55
Muy alta > 8	1	0,4	0,45	0,5	1	0,5	0,6	0,65
	10	0,45	0,55	0,6	10	0,45	0,5	0,55
	100	0,5	0,6	0,65	100	0,4	0,45	0,5
	1000	0,55	0,6	0,65	1000	0,35	0,4	0,45

Fuente: (FAO56, 2006)

Tabla 11: Coeficiente  $K_p$ , en el caso de tanque enterrado tipo colorado, para diferentes cubiertas

Tanque tipo Colorado	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en suelo desnudo			
		baja < 40	media 40 - 70	alta > 70		baja < 40	media 40 - 70	alta > 70
HR media (%)								
Velocidad del viento (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del cultivo a barlovento (m)			
Baja < 2	1	0,75	0,75	0,8	1	1,1	1,1	1,1
	10	1	1	1,1	10	0,85	0,85	0,85
	≥ 100	1,1	1,1	1,1	100	0,75	0,75	0,8
					1000	0,7	0,7	0,75
Moderada 2 a 5	1	0,65	0,7	0,7	1	0,95	0,95	0,95
	10	0,85	0,85	0,9	10	0,75	0,75	0,75
	≥ 100	0,95	0,95	0,95	100	0,65	0,65	0,7
					1000	0,6	0,6	0,65
Alta 5 a 8	1	0,55	0,6	0,65	1	0,8	0,8	0,8
	10	0,75	0,75	0,75	10	0,65	0,65	0,65
	≥ 100	0,8	0,8	0,8	100	0,55	0,6	0,65
					1000	0,5	0,55	0,6
Muy alta > 8	1	0,5	0,55	0,6	1	0,7	0,75	0,75
	10	0,65	0,7	0,7	10	0,55	0,6	0,65
	≥ 100	0,7	0,75	0,75	100	0,5	0,55	0,6
					1000	0,45	0,5	0,55

Fuente: (FAO56, 2006)

Tabla 12: Factor de corrección del viento en función de la altura de medición

Corrección del viento		Corrección del viento		Corrección del viento	
Altura de Medición	Factor de Corrección	Altura de Medición	Factor de Corrección	Altura de Medición	Factor de Corrección
0,5000	1,3500	4,5000	0,8650	8,5000	0,7925
1,0000	1,1500	5,0000	0,8500	9,0000	0,7850
1,5000	1,0600	5,5000	0,8400	9,5000	0,7775
2,0000	1,0000	6,0000	0,8300	10,0000	0,7700
2,5000	0,9650	6,5000	0,8225	10,5000	0,7631
3,0000	0,9300	7,0000	0,8150	11,0000	0,7575
3,5000	0,9050	7,5000	0,8075	11,5000	0,7522
4,0000	0,8800	8,0000	0,8000	12,0000	0,7472

Fuente: (FAO24, 1990)

Tabla 13: Factor de ponderación W para efectos de la radiación sobre ETo a diferentes temperaturas y latitudes

Altura estación[msnm]	Temperatura media °C				
	2	4	6	8	10
0	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55
500	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57
1000	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58
1500	0,4750	0,5050	0,5350	0,5650	0,5950
2000	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61
2500	0,5050	0,5350	0,5650	0,5950	0,6250
3000	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64
3500	0,5300	0,5650	0,5950	0,6250	0,6500
4000	0,54	0,58	0,61	0,64	0,66
Altura estación[msnm]	Temperatura media °C				
	12	14	16	18	20
0	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68
500	0,6	0,62	0,65	0,67	0,7
1000	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71
1500	0,6250	0,6500	0,6750	0,7000	0,7200
2000	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73
2500	0,6500	0,6750	0,7000	0,7200	0,7400
3000	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75
3500	0,6750	0,7000	0,7200	0,7400	0,7600
4000	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77
Altura estación[msnm]	Temperatura media °C				
	22	24	26	28	30
0	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78
500	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79
1000	0,73	0,75	0,77	0,79	0,8
1500	0,7400	0,7600	0,7800	0,8000	0,8100

..... continúa

<b>2000</b>	0,75	0,77	0,79	0,81	0,82
<b>2500</b>	0,7600	0,7800	0,8000	0,8150	0,8300
<b>3000</b>	0,77	0,79	0,81	0,82	0,84
<b>3500</b>	0,7800	0,8000	0,8150	0,8300	0,8450
<b>4000</b>	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85
<b>Altura estación[msnm]</b>	<b>Temperatura media °C</b>				
	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>40</b>
<b>0</b>	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85
<b>500</b>	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
<b>1000</b>	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87
<b>1500</b>	0,8300	0,8400	0,8550	0,8650	0,8750
<b>2000</b>	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
<b>2500</b>	0,8450	0,8550	0,8650	0,8750	0,8850
<b>3000</b>	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89
<b>3500</b>	0,8550	0,8650	0,8800	0,8900	0,8950
<b>4000</b>	0,86	0,87	0,89	0,9	0,9

Fuente: (FAO24, 1990)

Tabla 14: Corrección para la temperatura  $f(t)$  con respecto a la radiación de ondas largas  $R_{nl}$

<b>Tm.</b>	<b>f(t)</b>
0	11
2	11,4
4	11,7
6	12
8	12,4
10	12,7
12	13,1
14	13,5
16	13,8
18	14,2
20	14,6
22	15
24	15,4
26	15,9
28	16,3
30	16,7
32	17,2
34	17,7
36	18,1

Fuente: (FAO24, 1990)

Tabla 15: Radiación extraterrestre  $R_a$  expresada en equivalente de evaporación, en mm/día (Hemisferio Norte)

HEMISFERIO NORTE												
Latitud	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
4	14,3	15,0	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
6	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15,0	14,2	13,7
8	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15,0	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
10	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
12	12,8	13,9	15,1	15,7	15,7	15,5	15,5	15,6	15,2	14,4	13,3	12,5
14	12,4	13,6	14,9	15,7	15,8	15,7	15,7	15,7	15,1	14,1	12,8	12,0
16	12,0	13,3	14,7	15,6	16,0	15,9	15,9	15,7	15,0	13,9	12,4	11,6
18	11,6	13,0	14,6	15,6	16,1	16,1	16,1	15,8	14,9	13,6	12,0	11,1
20	11,2	12,7	14,4	15,6	16,3	16,4	16,3	15,9	14,8	13,3	11,6	10,7
22	10,7	12,3	14,2	15,5	16,3	16,4	16,4	15,8	14,6	13,0	11,1	10,2
24	10,2	11,9	13,9	15,4	16,4	16,6	16,5	15,8	14,5	12,6	10,7	9,7
26	9,8	11,5	13,7	15,3	16,4	16,7	16,6	15,7	14,3	12,3	10,3	9,3
28	9,3	11,1	13,4	15,3	16,5	16,8	16,7	15,7	14,1	12,0	9,9	8,8
30	8,8	10,7	13,1	15,2	16,5	17,0	16,8	15,7	13,9	11,6	9,5	8,3
32	8,3	10,2	12,8	15,0	16,5	17,0	16,8	15,6	13,6	11,2	9,0	7,8
34	7,9	9,8	12,4	14,8	16,5	17,1	16,8	15,5	13,4	10,8	8,5	7,2
36	7,4	9,4	12,1	14,7	16,4	17,2	16,7	15,4	13,1	10,6	8,0	6,6
38	6,9	9,0	11,8	14,5	16,4	17,2	16,7	15,3	12,8	10,0	7,5	6,1
40	6,4	8,6	11,4	14,3	16,4	17,3	16,7	15,2	12,5	9,6	7,0	5,7
42	5,9	8,1	11,0	14,0	16,2	17,3	16,7	15,0	12,2	9,1	6,5	5,2
44	5,3	7,6	10,6	13,7	16,1	17,2	16,6	14,7	11,9	8,7	6,0	4,7
46	4,9	7,1	10,2	13,3	16,0	17,2	16,6	14,5	11,5	8,3	5,5	4,3
48	4,3	6,6	9,8	13,0	15,9	17,2	16,5	14,3	11,2	7,8	5,0	3,7
50	3,8	6,1	9,4	12,7	15,8	17,1	16,4	14,1	10,9	7,4	4,5	3,2

Fuente: (FAO24, 1990)

Tabla 16: Radiación extraterrestre  $R_a$  expresada en equivalente de evaporación, en mm/día (Hemisferio Sur)

HEMISFERIO SUR												
Latitud	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0	15,0	15,2	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
12	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
20	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
36	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
38	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
40	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	5,9	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3
42	17,8	15,5	12,2	8,8	6,1	4,9	5,4	7,4	10,6	14,0	16,8	18,3
44	17,8	15,3	11,9	8,4	5,7	4,4	4,9	6,9	10,2	13,7	16,7	18,3
46	17,7	15,1	11,5	7,9	5,2	4,0	4,4	6,5	9,7	13,4	16,7	18,3
48	17,6	14,9	11,2	7,5	4,7	3,5	4,0	6,0	9,3	13,2	16,6	18,2
50	17,5	14,7	10,9	7,0	4,2	3,1	3,5	5,5	8,9	12,9	16,5	18,2

Fuente: (FAO24, 1990)



Tabla 17: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes (Hemisferio Norte)

HEMISFERIO NORTE												
Latitud	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>0</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>	<b>12,1</b>
1	12,040	12,060	12,080	12,120	12,140	12,160	12,140	12,140	12,100	12,080	12,060	12,040
2	11,980	12,020	12,060	12,140	12,180	12,220	12,180	12,180	12,100	12,060	12,020	11,980
3	11,920	11,980	12,040	12,160	12,220	12,280	12,220	12,220	12,100	12,040	11,980	11,920
4	11,860	11,940	12,020	12,180	12,260	12,340	12,260	12,260	12,100	12,020	11,940	11,860
<b>5</b>	<b>11,8</b>	<b>11,9</b>	<b>12,0</b>	<b>12,2</b>	<b>12,3</b>	<b>12,4</b>	<b>12,3</b>	<b>12,3</b>	<b>12,1</b>	<b>12,0</b>	<b>11,9</b>	<b>11,8</b>
6	11,760	11,880	12,000	12,220	12,360	12,460	12,360	12,320	12,100	11,960	11,840	11,740
7	11,720	11,860	12,000	12,240	12,420	12,520	12,420	12,340	12,100	11,920	11,780	11,680
8	11,680	11,840	12,000	12,260	12,480	12,580	12,480	12,360	12,100	11,880	11,720	11,620
9	11,640	11,820	12,000	12,280	12,540	12,640	12,540	12,380	12,100	11,840	11,660	11,560
<b>10</b>	<b>11,6</b>	<b>11,8</b>	<b>12,0</b>	<b>12,3</b>	<b>12,6</b>	<b>12,7</b>	<b>12,6</b>	<b>12,4</b>	<b>12,1</b>	<b>11,8</b>	<b>11,6</b>	<b>11,5</b>
11	11,540	11,760	12,000	12,340	12,640	12,760	12,660	12,440	12,120	11,800	11,560	11,440
12	11,480	11,720	12,000	12,380	12,680	12,820	12,720	12,480	12,140	11,800	11,520	11,380
13	11,420	11,680	12,000	12,420	12,720	12,880	12,780	12,520	12,160	11,800	11,480	11,320
14	11,360	11,640	12,000	12,460	12,760	12,940	12,840	12,560	12,180	11,800	11,440	11,260
<b>15</b>	<b>11,3</b>	<b>11,6</b>	<b>12,0</b>	<b>12,5</b>	<b>12,8</b>	<b>13,0</b>	<b>12,9</b>	<b>12,6</b>	<b>12,2</b>	<b>11,8</b>	<b>11,4</b>	<b>11,2</b>
16	11,240	11,580	12,000	12,520	12,860	13,060	12,960	12,640	12,220	11,780	11,360	11,140
17	11,180	11,560	12,000	12,540	12,920	13,120	13,020	12,680	12,240	11,760	11,320	11,080
18	11,120	11,540	12,000	12,560	12,980	13,180	13,080	12,720	12,260	11,740	11,280	11,020
19	11,060	11,520	12,000	12,580	13,040	13,240	13,140	12,760	12,280	11,720	11,240	10,960
<b>20</b>	<b>11,0</b>	<b>11,5</b>	<b>12,0</b>	<b>12,6</b>	<b>13,1</b>	<b>13,3</b>	<b>13,2</b>	<b>12,8</b>	<b>12,3</b>	<b>11,7</b>	<b>11,2</b>	<b>10,9</b>
21	10,940	11,460	12,000	12,620	13,140	13,380	13,260	12,840	12,300	11,680	11,140	10,840
22	10,880	11,420	12,000	12,640	13,180	13,460	13,320	12,880	12,300	11,660	11,080	10,780
23	10,820	11,380	12,000	12,660	13,220	13,540	13,380	12,920	12,300	11,640	11,020	10,720
24	10,760	11,340	12,000	12,680	13,260	13,620	13,440	12,960	12,300	11,620	10,960	10,660
<b>25</b>	<b>10,7</b>	<b>11,3</b>	<b>12,0</b>	<b>12,7</b>	<b>13,3</b>	<b>13,7</b>	<b>13,5</b>	<b>13,0</b>	<b>12,3</b>	<b>11,6</b>	<b>10,9</b>	<b>10,6</b>
26	10,640	11,260	12,000	12,740	13,360	13,760	13,580	13,040	12,320	11,580	10,840	10,520
27	10,580	11,220	12,000	12,780	13,420	13,820	13,660	13,080	12,340	11,560	10,780	10,440
28	10,520	11,180	12,000	12,820	13,480	13,880	13,740	13,120	12,360	11,540	10,720	10,360
29	10,460	11,140	12,000	12,860	13,540	13,940	13,820	13,160	12,380	11,520	10,660	10,280
<b>30</b>	<b>10,4</b>	<b>11,1</b>	<b>12,0</b>	<b>12,9</b>	<b>13,6</b>	<b>14,0</b>	<b>13,9</b>	<b>13,2</b>	<b>12,4</b>	<b>11,5</b>	<b>10,6</b>	<b>10,2</b>
31	10,340	11,080	11,980	12,940	13,680	14,100	13,980	13,260	12,400	11,460	10,540	10,120
32	10,280	11,060	11,960	12,980	13,760	14,200	14,060	13,320	12,400	11,420	10,480	10,040
33	10,220	11,040	11,940	13,020	13,840	14,300	14,140	13,380	12,400	11,380	10,420	9,960
34	10,160	11,020	11,920	13,060	13,920	14,400	14,220	13,440	12,400	11,340	10,360	9,880
<b>35</b>	<b>10,1</b>	<b>11,0</b>	<b>11,9</b>	<b>13,1</b>	<b>14,0</b>	<b>14,5</b>	<b>14,3</b>	<b>13,5</b>	<b>12,4</b>	<b>11,3</b>	<b>10,3</b>	<b>9,8</b>
36	10,000	10,940	11,900	13,140	14,080	14,600	14,380	13,540	12,420	11,280	10,240	9,700
37	9,900	10,880	11,900	13,180	14,160	14,700	14,460	13,580	12,440	11,260	10,180	9,600
38	9,800	10,820	11,900	13,220	14,240	14,800	14,540	13,620	12,460	11,240	10,120	9,500
39	9,700	10,760	11,900	13,260	14,320	14,900	14,620	13,660	12,480	11,220	10,060	9,400
<b>40</b>	<b>9,6</b>	<b>10,7</b>	<b>11,9</b>	<b>13,3</b>	<b>14,4</b>	<b>15,0</b>	<b>14,7</b>	<b>13,7</b>	<b>12,5</b>	<b>11,2</b>	<b>10,0</b>	<b>9,3</b>
41	9,50	10,65	11,90	13,35	14,50	15,10	14,80	13,80	12,70	11,15	9,90	9,20
<b>42</b>	<b>9,4</b>	<b>10,6</b>	<b>11,9</b>	<b>13,4</b>	<b>14,6</b>	<b>15,2</b>	<b>14,9</b>	<b>13,9</b>	<b>12,9</b>	<b>11,1</b>	<b>9,8</b>	<b>9,1</b>
43	9,35	10,55	11,90	13,40	14,65	15,30	15,05	13,95	12,75	11,05	9,75	9,00
<b>44</b>	<b>9,3</b>	<b>10,5</b>	<b>11,9</b>	<b>13,4</b>	<b>14,7</b>	<b>15,4</b>	<b>15,2</b>	<b>14,0</b>	<b>12,6</b>	<b>11,0</b>	<b>9,7</b>	<b>8,9</b>
45	9,20	10,45	11,90	13,45	14,80	16,55	15,30	14,10	12,60	10,95	9,60	8,80
<b>46</b>	<b>9,1</b>	<b>10,4</b>	<b>11,9</b>	<b>13,5</b>	<b>14,9</b>	<b>17,7</b>	<b>15,4</b>	<b>14,2</b>	<b>12,6</b>	<b>10,9</b>	<b>9,5</b>	<b>8,7</b>
47	8,95	10,30	11,85	13,55	15,05	16,85	15,50	14,25	12,60	10,90	9,40	8,50
<b>48</b>	<b>8,8</b>	<b>10,2</b>	<b>11,8</b>	<b>13,6</b>	<b>15,2</b>	<b>16,0</b>	<b>15,6</b>	<b>14,3</b>	<b>12,6</b>	<b>10,9</b>	<b>9,3</b>	<b>8,3</b>

Fuente: (FAO24, 1990)

Tabla 18: Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes (Hemisferio Sur)

HEMISFERIO SUR												
Latitud	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
1,0	12,14	12,14	12,1	12,08	12,06	12,04	12,04	12,06	12,08	12,12	12,14	12,16
2,0	12,18	12,18	12,1	12,06	12,02	11,98	11,98	12,02	12,06	12,14	12,18	12,22
3,0	12,22	12,22	12,1	12,04	11,98	11,92	11,92	11,98	12,04	12,16	12,22	12,28
4,0	12,26	12,26	12,1	12,02	11,94	11,86	11,86	11,94	12,02	12,18	12,26	12,34
5,0	12,3	12,3	12,1	12	11,9	11,8	11,8	11,9	12	12,2	12,3	12,4
6,0	12,36	12,32	12,1	11,96	11,84	11,74	11,76	11,88	12	12,22	12,36	12,46
7,0	12,42	12,34	12,1	11,92	11,78	11,68	11,72	11,86	12	12,24	12,42	12,52
8,0	12,48	12,36	12,1	11,88	11,72	11,62	11,68	11,84	12	12,26	12,48	12,58
9,0	12,54	12,38	12,1	11,84	11,66	11,56	11,64	11,82	12	12,28	12,54	12,64
10,0	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,8	12	12,3	12,6	12,7
11,0	12,66	12,44	12,12	11,8	11,56	11,44	11,54	11,76	12	12,34	12,64	12,76
12,0	12,72	12,48	12,14	11,8	11,52	11,38	11,48	11,72	12	12,38	12,68	12,82
13,0	12,78	12,52	12,16	11,8	11,48	11,32	11,42	11,68	12	12,42	12,72	12,88
14,0	12,84	12,56	12,18	11,8	11,44	11,26	11,36	11,64	12	12,46	12,76	12,94
15,0	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2	11,3	11,6	12	12,5	12,8	13
16,0	12,96	12,64	12,22	11,78	11,36	11,14	11,24	11,58	12	12,52	12,86	13,06
17,0	13,02	12,68	12,24	11,76	11,32	11,08	11,18	11,56	12	12,54	12,92	13,12
18,0	13,08	12,72	12,26	11,74	11,28	11,02	11,12	11,54	12	12,56	12,98	13,18
19,0	13,14	12,76	12,28	11,72	11,24	10,96	11,06	11,52	12	12,58	13,04	13,24
20,0	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9	11	11,5	12	12,6	13,1	13,3
21,0	13,26	12,84	12,3	11,68	11,14	10,84	10,94	11,46	12	12,62	13,14	13,38
22,0	13,32	12,88	12,3	11,66	11,08	10,78	10,88	11,42	12	12,64	13,18	13,46
23,0	13,38	12,92	12,3	11,64	11,02	10,72	10,82	11,38	12	12,66	13,22	13,54
24,0	13,44	12,96	12,3	11,62	10,96	10,66	10,76	11,34	12	12,68	13,26	13,62
25,0	13,5	13	12,3	11,6	10,9	10,6	10,7	11,3	12	12,7	13,3	13,7
26,0	13,58	13,04	12,32	11,58	10,84	10,52	10,64	11,26	12	12,74	13,36	13,76
27,0	13,66	13,08	12,34	11,56	10,78	10,44	10,58	11,22	12	12,78	13,42	13,82
28,0	13,74	13,12	12,36	11,54	10,72	10,36	10,52	11,18	12	12,82	13,48	13,88
29,0	13,82	13,16	12,38	11,52	10,66	10,28	10,46	11,14	12	12,86	13,54	13,94
30,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2	10,4	11,1	12	12,9	13,6	14
31,0	13,98	13,26	12,4	11,46	10,54	10,12	10,34	11,08	11,98	12,94	13,68	14,1
32,0	14,06	13,32	12,4	11,42	10,48	10,04	10,28	11,06	11,96	12,98	13,76	14,2
33,0	14,14	13,38	12,4	11,38	10,42	9,96	10,22	11,04	11,94	13,02	13,84	14,3
34,0	14,22	13,44	12,4	11,34	10,36	9,88	10,16	11,02	11,92	13,06	13,92	14,4
35,0	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8	10,1	11	11,9	13,1	14	14,5
36,0	14,38	13,54	12,42	11,28	10,24	9,7	10	10,94	11,9	13,14	14,08	14,6
37,0	14,46	13,58	12,44	11,26	10,18	9,6	9,9	10,88	11,9	13,18	14,16	14,7
38,0	14,54	13,62	12,46	11,24	10,12	9,5	9,8	10,82	11,9	13,22	14,24	14,8
39,0	14,62	13,66	12,48	11,22	10,06	9,4	9,7	10,76	11,9	13,26	14,32	14,9
40,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10	9,3	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15
41,0	14,8	13,8	12,7	11,15	9,9	9,2	9,5	10,65	11,9	13,35	14,5	15,1
42,0	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2
43,0	15,05	13,95	12,75	11,05	9,75	9	9,35	10,55	11,9	13,4	14,65	15,3
44,0	15,2	14	12,6	11	9,7	8,9	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4
45,0	15,3	14,1	12,6	10,95	9,6	8,8	9,2	10,45	11,9	13,45	14,8	16,55
46,0	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	17,7
47,0	15,5	14,25	12,6	10,9	9,4	8,5	8,95	10,3	11,85	13,55	15,05	16,85
48,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16

Fuente: (FAO24, 1990)

Tabla 19: Factor de corrección C para una ecuación Penman determinada

HUMEDAD RELATIVA	H.R max = 30%				H.R max = 60%				H.R max = 90%			
Rs [mm/día]	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
<b>RELACION VEL.</b>	<b>VELOCIDAD VIENTO DIA / VELOCIDAD VIENTO NOCHE = 4</b>											
<b>0</b>	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
<b>3</b>	0,79	0,84	0,92	0,97	0,92	1,00	1,11	1,19	0,99	1,10	1,27	1,32
<b>6</b>	0,68	0,77	0,87	0,93	0,85	0,96	1,11	1,19	0,94	1,10	1,26	1,33
<b>9</b>	0,55	0,65	0,78	0,90	0,75	0,88	1,02	1,14	0,88	1,01	1,16	1,27
	<b>VELOCIDAD VIENTO DIA / VELOCIDAD VIENTO NOCHE = 3</b>											
<b>0</b>	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
<b>3</b>	0,76	0,81	0,88	0,94	0,87	0,96	1,06	1,12	0,94	1,04	1,18	1,28
<b>6</b>	0,61	0,68	0,81	0,88	0,77	0,88	1,02	1,10	0,86	1,01	1,15	1,22
<b>9</b>	0,46	0,56	0,72	0,82	0,67	0,79	0,88	1,05	0,78	0,92	1,06	1,18
	<b>VELOCIDAD VIENTO DIA / VELOCIDAD VIENTO NOCHE = 2</b>											
<b>0</b>	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
<b>3</b>	0,69	0,76	0,85	0,92	0,83	0,91	0,99	1,05	0,89	0,98	1,10	1,14
<b>6</b>	0,53	0,61	0,74	0,84	0,70	0,80	0,94	1,02	0,79	0,92	1,05	1,12
<b>9</b>	0,37	0,48	0,65	0,76	0,59	0,70	0,84	0,95	0,71	0,81	0,96	1,06
	<b>VELOCIDAD VIENTO DIA / VELOCIDAD VIENTO NOCHE = 1</b>											
<b>0</b>	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
<b>3</b>	0,64	0,71	0,82	0,89	0,78	0,86	0,94	0,99	0,85	0,92	1,01	1,05
<b>6</b>	0,43	0,53	0,68	0,79	0,62	0,70	0,84	0,93	0,72	0,82	0,95	1,00
<b>9</b>	0,27	0,41	0,59	0,70	0,50	0,60	0,75	0,87	0,62	0,72	0,87	0,96

Fuente: (FAO24, 1990)

Tabla 20: Resumen de cálculos para determinar la evapotranspiración de referencia ETo

FACTOR		Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Nov.	Dic.
	Nro de días del mes	[días]	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Tm.	Temperatura media	°C												
Tmax.	Temperatura mínima	°C												
Tmin.	Temperatura máxima	°C												
H.R.m.	Humedad Relativa media	%												
H.R.mín	Humedad Relativa Mínima	%												
H.R.máx	Humedad relativa Máxima	%												
Vz	Velocidad Viento a altura Z	km/día												
n	Heliofania	horas/día												
ea	Presión de Vapor de Saturación	mbar												
ed	Presión de Vapor real del aire	mbar												
	( ea - ed )	mbar												
V2	V2 = Vz x Factor de Corrección	km/día												
f (u)	Función del Viento	km/día												
W	W es función de altitud est.y Tm.													
1 - W														
Ra	Ra es función del mes y Latitud	mm/día												
N	Función de Latitud y el mes.	horas/día												
n/N		horas/día												
Ctte 1	Ctte.1 = (1- )*(0.25+0.5*n/N)													
Rns	Rns= Ra * Ctte1													
f(t)	f(t) es función de Tm.													
f(ed)	f(e) = 0.34 - 0.044 *( ed ) <sup>0.5</sup>													
f(n/N)	f(n/N) = 0.1+ 0.9 * n/N													
Rnl	Rnl = f(t) *f(ed) * f(n/N)													
Rn	Rn = Rns - Rnl													
W * Rn														
C	Factor de corrección de Penman													
Eto	Evapotranspiración de Referencia. Eto = C [ W * Rn + ( 1 - W ) * f(u) * ( Ca - Cd ) ]	[mm/día]												
		Redondeado [mm/mes]												

Fuente: (FAO24, 1990)

Elaboración: El autor

Tabla 21: Porcentaje de horas diurnas, p, en la ecuación de Blaney-Criddle

Latitud	Grados	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Norte</b>													
	60	4,67	5,65	8,08	9,65	11,74	12,39	12,31	10,70	8,57	6,98	5,04	4,22
	50	5,98	6,30	8,24	9,24	10,68	10,91	10,99	10,00	8,46	7,45	6,10	5,65
	40	6,76	6,72	8,33	8,95	10,02	10,08	10,22	9,54	8,39	7,75	6,72	6,52
	35	7,05	6,88	8,35	8,83	9,76	9,77	9,93	9,37	8,36	7,87	6,97	6,88
	30	7,30	7,03	8,38	8,72	9,53	9,49	9,67	9,22	8,33	7,99	7,19	7,15
	25	7,53	7,14	8,39	8,61	9,33	9,23	9,45	9,09	8,32	8,09	7,40	7,42
	20	7,74	7,25	8,41	8,52	9,15	9,00	9,25	8,96	8,30	8,18	7,58	7,66
	15	7,94	7,36	8,43	8,44	8,98	8,80	9,05	8,83	8,28	8,26	7,75	7,88
10	8,13	7,47	8,45	8,37	8,81	8,60	8,86	8,71	8,25	8,34	7,91	8,10	
0	8,50	7,66	8,49	8,21	8,50	8,22	8,50	8,49	8,21	8,50	8,22	8,50	
<b>Sur</b>													
	10	8,86	7,87	8,53	8,09	8,18	7,86	8,14	8,27	8,17	8,62	8,53	8,88
	20	9,24	8,09	8,57	7,94	7,85	7,43	7,76	8,03	8,13	8,76	8,87	9,33
	30	9,70	8,33	8,62	7,73	7,45	6,96	7,31	7,76	8,07	8,97	9,24	9,85
40	10,27	8,63	8,67	7,49	6,97	6,37	6,76	7,41	8,02	9,21	9,71	10,49	

Fuente: (Sáenz, 2008)

Tabla 22: Coeficientes de uso consuntivo mensual K para uso en la ecuación de Blaney-Criddle

Cosecha	Región	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
<b>Alfalfa</b>	California, zona costera	0,60	0,65	0,70	0,80	0,85	0,85	0,80	0,70	0,60
	California, interior	0,65	0,70	0,80	0,90	1,10	1,00	0,85	0,80	0,70
	Dakota del Norte		0,84	0,89	1,00	0,86	0,78	0,72		
	Utah, St. George		0,88	1,15	1,24	0,97	0,87	0,81		
<b>Maíz</b>	Dakota del Norte			0,47	0,63	0,78	0,79	0,70		
<b>Algodón</b>	Arizona		0,27	0,30	0,49	0,86	1,04	1,03	0,81	
	Texas	0,24	0,22	0,61	0,42	0,50				
<b>Cultivos de huertos</b>	Arizona	0,57	0,60	0,60	0,64	0,64	0,68	0,68	0,65	0,62
<b>Cítricos</b>	California, zona costera		0,40	0,42	0,52	0,55	0,55	0,55	0,50	0,45
<b>Pastos</b>	California, localidad Murrieta			0,84	0,84	0,77	0,82	1,09	0,70	
<b>Papas</b>	Dakota del Norte			0,45	0,74	0,87	0,75	0,54		
	Dakota del Sur			0,69	0,60	0,80	0,89	0,39		
<b>Cereales menores</b>	Dakota del Norte		0,19	0,55	1,13	0,77	0,30			
<b>Trigo</b>	Texas	0,64	1,16	1,26	0,87					
<b>Sorgo</b>	Arizona					0,34	0,72	0,97	0,62	0,60
	Kansas				0,80	0,94	1,17	0,86	0,47	
	Texas				0,26	0,73	1,20	0,85	0,49	
<b>Soya</b>	Arizona				0,26	0,58	0,92	0,92	0,55	
<b>Azúcar de remolacha</b>	California, zona costera		0,39	0,38	0,36	0,37	0,35	0,38		
	California, interior		0,30	0,60	0,86	0,96	0,91	0,41		
	Montana					0,83	1,05	1,02		
<b>Hortalizas</b>	California, interior	0,19	0,26	0,38	0,55	0,71	0,82	0,69	0,37	0,35

Fuente: (Sáenz, 2008)

Tabla 23: Coeficientes de uso consuntivo estacional  $K_s$ , para uso en la ecuación de Blaney-Criddle, para cosechas irrigadas, en el Occidente de los Estados Unidos

<b>Cosecha</b>	<b>Longitud de período o estación de cosecha</b>	<b><math>K_s</math></b>
Alfalfa	Entre heladas	0.80 - 0.85
Frijoles	3 meses	0.60 - 0.70
Maíz	4 meses	0.75 - 0.85
Algodón	7 meses	0.65 - 0.75
Lino	7 - 8 meses	0,80
Cereales menores	3 meses	0.75 - 0.85
Sorgo	4 - 5 meses	0,70
Cultivos de huertos, cítricos	7 meses	0.50 - 0.65
Nuez de nogal	Entre heladas	0,700
Pastos	Entre heladas	0,750
Trébol ladino	Entre heladas	0.80 - 0.85
Papas	3 1/2 meses	0.65 - 0.75
Arroz	3 - 5 meses	1.00 - 1.20
Azúcar de remolacha	6 meses	0.65 - 0.75
Tomates	4 meses	0,70
Vegetales pequeños	3 meses	0,60

Fuente: (Sáenz, 2008)