

Ciudad Obregón, Sonora, a 28 de Junio de 2012.

Instituto Tecnológico de Sonora  
P r e s e n t e.

El que suscribe **Héctor Emmanuel Parra Figueroa**, por medio del presente manifiesto bajo protesta de decir verdad, que soy autor y titular de los derechos de propiedad intelectual tanto morales como patrimoniales, sobre la obra titulada: **“diseño de un sistema de riego por goteo automatizado”**, en lo sucesivo “LA OBRA”, misma que constituye el trabajo de tesis que desarrolle para obtener el grado de **Ingeniero Civil** en ésta casa de estudios, y en tal carácter autorizo al Instituto Tecnológico de Sonora, en adelante “EL INSTITUTO”, para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios del objeto del Instituto, es decir, sin fines de lucro, por lo que la presente autorización la extiendo de forma gratuita.

Para efectos de lo anterior, EL INSTITUTO deberá reconocer en todo momento mi autoría y otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente de LA OBRA.

De igual forma, libero de toda responsabilidad a EL INSTITUTO por cualquier demanda o reclamación que se llegase a formular por cualquier persona, física o moral, que se considere con derechos sobre los resultados derivados de la presente autorización, o por cualquier violación a los derechos de autor y propiedad intelectual que cometa el suscrito frente a terceros con motivo de la presente autorización y del contenido mismo de la obra.

**Héctor Emmanuel Parra Figueroa**

(Nombre y firma del autor)



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
Educar para Trascender

**“Diseño de un sistema de riego por goteo  
automatizado”**

**TESIS**

**Que para obtener el título de  
Ingeniero Civil**

Presenta

**Héctor Emmanuel Parra Figueroa**

Cd. Obregón, Sonora;

junio de 2012

**El sueño nos hace salir a la calle con un sí en el medio del pecho, es entonces cuando provocamos lo mejor en cualquier parte. Pero un gran sueño se cumple después de un gran sacrificio, aunque trabajar para un sueño siempre es una fiesta.**

**(JCPM)**

# DEDICATORIAS

A dios por haberme dado la oportunidad de terminar mis estudios

A mis padres: Guadalupe parra y concepción Figueroa, por haberme dado la vida, querirme y apoyarme incondicionalmente en todas mis decisiones ya sean buenas o malas

A mis tías: maría Ramona Figueroa y maría de la luz Figueroa por estar ahí siempre cuando más las necesito querirme y apoyarme

A mis hermanos: José parra y Luis parra, por apoyarme siempre, querirme y ser mis amigos

A mis primos: por ser ustedes una parte muy importante de mi vida y porque sé que si me equivoco estarán ahí para darme el mejor consejo

# RESUMEN

Este trabajo de tesis se desarrolla en el instituto tecnológico de sonora, unidad nainari, en cd. Obregón, sonora, donde existe un problema de sequia de un jardín de enredaderas que se encuentran por fuera del laboratorio de ingeniería civil.

La implementación de un diseño agronómico, un sistema hidráulico eficiente y un control automático permitirá, acrecentar y optimizar el desarrollo el jardín de enredaderas.

Con el diseño de este sistema de riego por goteo automatizado se pretende adecuar a las nuevas técnicas tanto hidropónicas como tecnológicas en los sistemas de riego de jardines, y a la par teniendo un ahorro significativo tanto en agua, energía y mano de obra.-

# INDICE

<b>I.- INTRODUCCION.....</b>	<b>7</b>
1.1.- ANTECEDENTES GENERALES.....	8
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.3.- JUSTIFICACION.....	11
1.4.- OBJETIVO.....	12
<b>II.- METODOLOGIA.....</b>	<b>13</b>
<b>III.- MARCO TEORICO.....</b>	<b>15</b>
3.1.- SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO AUTOMATIZADO.....	15
3.2.- NECESIDADES DE LA AUTOMATIZACION.....	16
3.3.- CONCEPTOS GENERALES DE HIDRAULICA.....	17
3.3.1.- CAUDAL.....	17
3.3.2.- PRESION DE FLUIDO.....	18
3.3.3.- VELOCIDAD.....	18
3.3.4.- NUMERO DE REYNOLDS.....	18
3.4.- SISTEMA DE TUBERIAS.....	21
3.4.1.- ECUACION DE BERNOULLI.....	21
3.4.2.- ECUACION DE DARCY – WEISBACH.....	23
3.4.3.- PÉRDIDAS SECUNDARIAS.....	24
3.4.4.- CARGA DINAMICA TOTAL.....	25
3.5.- SISTEMA AGUA PLANTA.....	25
3.5.1.- POTENCIAL HIDRICO.....	27
3.6.- CONTROL AUTOMATICO DE RIEGO.....	29
3.7.- DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	29
3.8.- EMISORES.....	32

3.8.1.- TIPO DE EMISORES.....	32
3.8.2.- GOTEROS.....	32
3.9.- CONDICIONES BASICAS PARA EFECTUAR EL RIEGO POR GOTEO...	34
3.9.1.- CARACTERISTICAS DEL RIEGO POR GOTEO.....	34
3.10.- EVAPOTRANSPIRACION.....	35
3.10.1.- DEFINICIONES Y CONCEPTOS.....	35
3.10.2.- USO CONSUNTIVO O EVAPOTRANSPIRACION.....	35
3.10.3.- EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (ETP).....	36
3.10.4.- EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA (ETO).....	36
3.10.5.- EVAPOTRANSPIRACION REAL, ACTUAL O EFECTIVA (ETr).....	37
3.10.6.- COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc).....	37
3.11.- DISEÑO AGRONOMICO.....	38
3.11.1.- DEMANDA DE AGUA DEL CULTIVO.....	38
3.11.1.1.- COEFICIENTE Kp.....	39
3.11.2.- DEMANDA NETA DEL CULTIVO.....	39
3.11.3.-DEMANDA BRUTA DEL CULTIVO.....	39
3.11.4.- TIEMPO DE RIEGO DIARIO DEL CULTIVO.....	40
<b>IV.- RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
4.1.- INFORMACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....	41
4.2.- DISEÑO AGRONOMICO.....	41
4.3.- DISEÑO HIDRAULICO.....	42
4.3.1.- RESULTADOS DISEÑO HIDRAULICO POR ECUACIONES.....	44
4.3.2.- RESULTADOS DISEÑO HIDRAULICO POR TABLAS DE EXEL.....	46
<b>V.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>VI.- BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>55</b>

## I. INTRODUCCION

El riego por goteo, igualmente conocido bajo el nombre de «riego gota a gota», es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y abonos.

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros).

Al aplicar este sistema de riego garantizamos el desarrollo de las plantas ya que se les suministrara agua constante, asegurándonos que esta no se desperdiciara y nada más se aplicara la que la planta necesita.

Con este sistema de riego por goteo automatizado aseguramos un ahorro de energía, agua y mano de obra del ser humano garantizando así un ahorro monetario a largo plazo.-

## 1.1 ANTECEDENTES

**Ciudad Obregón** es la cabecera del municipio de Cajeme, es la segunda ciudad en tamaño e importancia del Estado de Sonora (México). Es una ciudad cuya principal actividad económica ha sido la agricultura, la cual, se realiza extensamente en el Valle del Yaqui que está situado al sur de la ciudad, contando con uno de los sistemas de riego más importantes del país.

De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI,<sup>1</sup> Obregón cuenta con 298,625 habitantes. Por su parte el municipio de Cajeme cuenta con 409,310 habitantes.

Está ubicada al sur del Estado, a 50 km de la costa del Mar de Cortés y 115 km de la sierra alta (arriba de los 1500 msnm), dista 240 km de Hermosillo, la capital del Estado.

Las coordenadas son 27°29' latitud norte y 109°59' longitud oeste. Con una altitud sobre el nivel del mar de 40,8 m en el centro. La temperatura en invierno fluctúa entre los 3° mínima y 28 °C máxima; en verano desde los 32 °C mínima y 52 °C máxima. Gran parte de la precipitación pluvial cae durante el verano. Totalizando una media anual de 363 mm

El campus Náinari, se localiza en la zona noroeste de la ciudad, por la calle Antonio Caso y Eusebio Kino, a espaldas de la laguna del Náinari. Cuenta con una superficie total de 240.360.30 m<sup>2</sup>, de la cual 130.854.81 m<sup>2</sup> corresponde al área construida.



Figura 1: mapa del estado de sonora

Este trabajo de campo se sustenta principalmente en el instituto tecnológico de sonora, unidad nainari, donde existe el problema de sequia de enredaderas por falta de humedad y tecnología en la aplicación de sistemas de riego automatizados.

En esta región existe dos problemas, en las temporadas de calor la escases de agua se hace presente por la poca cantidad de agua que se logra recolectar de las lluvias, la temperatura se eleva demasiado y provoca q las plantas se entristezcan o en su defecto que se mueran, debido a que no se les suministra la cantidad de agua que se necesita para mantener la humedad que se requiere en la tierra, para mantener vivas y esplendorosas a las plantas.

En los últimos años la temperatura del ambiente en esta temporada cada vez es más fuerte, provocando que la humedad que hay en la tierra se evapore y haciendo más grande la demanda de agua por las plantas, por esta razón decidimos implementar un sistema de riego, que aparte de cubrir con las necesidades de las plantas este nos brinde un ahorro de energía y agua.

La ingeniería mecánica juega un papel muy importante en el riego, ya que aplicando los conocimientos de hidráulica se pueden diseñar sistemas hidráulicos eficientes y realizado una adecuación tecnológica a los sistemas tradicionales,

reemplazándolos por nuevos, como en este caso los sistemas de riego por goteo, coadyuvaran a incrementar el desarrollo de estas plantas.-

La implementación tanto del control automático como de sistemas hidráulicos eficientes permitirá acrecentar el desarrollo de estas plantas. Cambiando el antiguo esquema de producción, por uno más eficiente. Claro que se tendrán que tomar en cuenta factores geológicos y económicos para su implementación.

Con el diseño de estos sistemas se pretende que productores de esta región, los floricultores, entre otros, adecuen las nuevas técnicas tanto hidropónicas como tecnológicas en sus sistemas de producción y a la par teniendo como resultado un aumento en el ahorro de energía, agua y por lo tanto en el ahorro de dinero.-



Figura 2: foto satelital del itson

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el estado de sonora, uno de los principales problemas es la falta de agua, debido a la sequia que cada año se hace presente por la falta de precipitaciones, estas hacen que los mantos acuíferos no se abastezcan lo necesario provocando

su agotamiento por la sobre explotación. Así mismo las presas de la región no recolectan la cantidad de agua necesaria para poder producir la energía eléctrica necesaria para el ser humano, el abastecimiento de agua a los seres humanos, el abastecimiento de agua al ganado de la región, el riego de valles y jardines, entre muchas otras necesidades del ser humano.

En el instituto tecnológico de sonora alrededor del laboratorio de ingeniería civil, se coloco un jardín de enredaderas para mejorar la vista del laboratorio y hacerlo un lugar más agradable. Debido a que a las enredaderas no se les suministraba la cantidad de agua necesaria para su desarrollo, se encontraban tristes y marchitas. La mejor opción para salvar estas enredaderas fue implementar un sistema de riego por goteo automatizado, este sistema además de revivir las enredaderas nos proporcionara un ahorro de agua y energía, así también con este sistema se previene la erosión del suelo y se mantienen los nutrientes de la tierra ya que nada mas abastecerá a las plantas con la cantidad de agua que ellas necesitan para vivir, sin desperdiciar el vital liquido.

### 1.3 JUSTIFICACION

Debido a la falta de adecuación tecnológica en las técnicas de desarrollo de plantas, el diseño de este sistema de riego pretende remplazar los tradicionales métodos de riego por sistemas más eficientes tales como el riego por medio de goteo, haciendo un uso más adecuado del agua. Esto beneficiara principalmente en el ahorro de agua y energía eléctrica

Todo esto apunta hacia el ahorro de agua, ya que actualmente este último está convirtiéndose en un recurso de gran importancia.

De esta manera se podrán aplicar parte de los conocimientos adquiridos e investigar otras técnicas, adquirir nuevos conocimientos, aplicar nuevos métodos. Además este diseño adaptara tecnología apropiada a los sistemas de riego para incrementar el desarrollo de jardines y otras plantas. Es importante mencionar que la adecuación de tecnológica debe ser competitiva en comparación con las existentes en la región.

#### 1.4 OBJETIVO

Diseñar un sistema de riego automatizado, para el ahorro de agua en el riego de un jardín de enredaderas, evaluando el sistema de riego por goteo propuesto.

## II. METODOLOGIA

La metodología para incorporar innovaciones tecnológicas incrementales en procesos de riego incluye las siguientes etapas:

Primera: iniciar un ambiente de innovación tecnológica micro regional. Para incorporar nuevos métodos o procesos a los tradicionales es necesario crear el ambiente adecuado para que la gente entienda que se pretende realizar.

Segunda: difundir los diferentes sistemas de riego. Se deben seleccionar los sistemas de riego con los que se cuentan y escoger el más favorable dependiendo de su eficiencia y calidad

Tercera: promover el sistema de calidad en el marco de desarrollo sustentable. La cultura de calidad debe ser adoptada por las personas, como una forma de vida para poder ser aplicada a sus tareas diarias, tomando en cuenta los efectos en los ámbitos económicos, ecológico y social.

Cuarta: aplicar el modelo de innovación tecnológica para la creación de sistemas de riego

Quinta: después de la realización de proyecto, este debe ser evaluado en este caso tomaremos como base los criterios de García, 2005, que son los siguientes:

La calidad del planteamiento

Las aportaciones al conocimiento

Los beneficios prácticos

La eficacia y la eficiencia

Las repercusiones en el medio

### **III. MARCO TEORICO**

#### **3.1 SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO AUTOMATIZADO**

El riego por goteo, igualmente conocido bajo el nombre de «riego gota a gota», es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua y abonos.

El agua aplicada por este método de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de un sistema de tuberías y emisores (goteros).

Esta técnica es la innovación más importante en agricultura desde la invención de los aspersores en los años 1930.

El riego por goteo ha sido utilizado desde la Antigüedad cuando se enterraban vasijas de arcilla llenas de agua con el fin de que el agua se infiltrara

gradualmente en el suelo. El riego por gota a gota moderno se desarrolló en Alemania hacia 1860 cuando los investigadores comenzaron a experimentar la subirrigación con ayuda de tuberías de arcilla para crear una combinación de irrigación y de sistema de drenaje. En los años 1920, tuberías perforadas fueron utilizadas en Alemania, después O.E. Robey experimentó el riego por tubería porosa de tela en la universidad de Michigan.

Con la llegada de los plásticos modernos después de la Segunda Guerra Mundial, fueron posibles numerosas mejoras. Micro-tubos de plástico y diversos tipos de goteros han sido empleados en invernadero en Europa y en Estados Unidos.

La moderna tecnología de riego por goteo fue inventada en Israel por Simcha Blass y su hijo Yeshayahu. En lugar de liberar el agua por agujeros minúsculos, que fácilmente se podían obstruir por acumulación de partículas minúsculas, el agua se libera por tuberías más grandes y más largas empleando el frotamiento para ralentizar la velocidad del agua en el interior de un emisor (gotero) de plástico. El primer sistema experimental de este tipo fue establecido en 1959 cuando la familia de Blass en el Kibboutz Hatzerim creó una compañía de riegos llamada Netafim. A continuación, desarrollaron y patentaron el primer emisor exterior de riego por gota a gota. Este método muy perfeccionado se ha desarrollado en Australia, en América del Norte y en América del Sur hacia el fin de los años 60. S. (García castillas Ignacio, Briones Sánchez Gregorio. 1977).

### 3.2 NECESIDAD DE LA AUTOMATIZACIÓN

Actualmente nos encontramos en una era a la cual la automatización está jugando un papel trascendental en la competitividad de las empresas, ya que está permitiendo agilizar procesos haciéndolos más eficientes mediante sistemas automatizados.

El rubro en los cuales ha entrado la automatización con más fuerza ha sido la industria automotriz, metal-mecánica, manufacturera, pero en el sector de riego no se ha hecho presente con la misma fuerza que en las anteriores, ya que todavía

en países como México los métodos de riego ya sea para el campo como para jardines ha sido muy rudimentario.

Por lo que es necesario diseñar nuevos sistemas hidráulicos más seguros y eficientes orientados al ahorro de agua, actuando con responsabilidad social; cuidando el medio ambiente, el agua, la energía, el trabajo, liberar el tiempo al trabajador.

La mayoría de los jardines no tienen control automático para las diferentes variables a controlar en el riego de jardines. (García, 2005).

### 3.3 CONCEPTOS GENERALES DE HIDRÁULICA

#### 3.3.1 CAUDAL:

Según Williams, 1992, el caudal  $Q$  es el volumen del fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente. Así por ejemplo en las tuberías de agua los litros por hora que circulan a través de un plano transversal de la tubería.

Ecuación de dimensiones:  $[Q] = [L]^3 [T]^{-1}$

$$1Q = 1\text{m}^3/\text{s SI}$$

Si la velocidad de corriente  $V$  es paralela a la superficie  $A$  vertical o también inclinada, pero paralela a la superficie, el caudal que pasa es nulo. Si la velocidad  $V$  tiene cualquier otra dirección descomponiendo  $V$  según tres ejes, dos paralelos a la superficie y el tercero normal  $V_n$  produce caudal.

Si la superficie a través de la cual se calcula el caudal es finita es evidente que la dirección de la velocidad puede variar de un punto a otro de la misma, y además la superficie puede no ser plana. Llamando  $dA$  al elemento infinitesimal de área, siendo  $c_n$  la componente de la velocidad normal a ese elemento se tendrá:

$$dQ = v_n dA$$

$$Q = \int v_n dA$$

Si  $v$  es la velocidad media normal a la sección  $A$ , de la ecuación anterior se deduce:

$$Q = vA$$

### 3.3.2 PRESIÓN DE FLUIDO

La presión de fluido se transmite con la misma intensidad en todas las direcciones y actúan normalmente a cualquier superficie plana. En el mismo plano horizontal, el valor de la presión en un líquido es igual en cualquier punto. Las medidas de presión se realizan con los manómetros, que pueden ser de diferentes formas. De no advertir lo contrario, a través de todo el libro las presiones serán relativas o manométricas. Las presiones manométricas representan el valor de la presión con relación a la presión atmosférica. (Williams, 1992)

### 3.3.3 VELOCIDAD

Nos indica que la rapidez promedio de las partículas de un fluido al pasar por un punto determinado o la distancia promedio que viajan las partículas por unidad de tiempo. Se mide en pies sobre segundos (ft/s), metros sobre segundos (m/s). (Saldarriaga, 2007).

### 3.3.4 NUMERO DE REYNOLDS

Según Saldarriaga, 2007, el número de Reynolds es el parámetro adimensional de semejanza en los problemas con predominio de viscosidad. También el número de Reynolds cociente de una fuerza de inercia por una fuerza de viscosidad mide el influjo relativo de esta última: un número de Reynolds grande implica un influjo de la viscosidad pequeño y viceversa. Jugando en los fenómenos de resistencia un papel decisivo en que la corriente sea laminar o turbulenta, también jugara un

papel decisivo el número de Reynolds, con números de Reynolds pequeños la corriente es laminar; con números de Reynolds grandes la corriente es turbulenta. Reynolds, físico inglés de finales del siglo pasado, llevo a cabo una serie de experimentos con el sencillo aparato, un tubo de cristal con su boca abocinada termina en una válvula.

En el tubo entra agua desde un recipiente en reposo a una velocidad controlada por dicha válvula. El pequeño depósito contiene un colorante fuerte, por ejemplo anilina, que se inyecta en la entrada del tubo de vidrio por un tubito terminado en una boquilla. El numero de Reynolds en la corriente del tubo de vidrio.

$$Re = \frac{uD}{\nu}$$

Donde: D = diámetro de la tubería, que en este caso permanece constante

$\nu$  = viscosidad cinemática del agua, también constante

Aumenta de una manera continua al abrir la válvula; en efecto, al abrir entonces aumenta el caudal y con el aumenta u, y por lo tanto el numero de Reynolds. Se abre poco a poco la válvula y se observa la corriente:

- al principio de hilo de corriente visible por el colorante es prácticamente una línea recta: *corriente laminar*
- luego, con la válvula suficientemente abierta se empiezan a formar remolinos aguas abajo junto a la válvula, mezclándose allí el colorante con el agua: *comienzo de turbulencia*
- finalmente los remolinos se propagan por todo el tubo, intensificándose la mezcla del colorante y quedando todo el tubo coloreado: *corriente*

Reynolds observo:

- cuando el numero de Reynolds,  $Re > 12.000$  la corriente era necesariamente turbulenta: 12.000 seria el numero critico de Reynolds

superior; pero tomando precauciones delicadas de laboratorio (eliminación de transmisibilidad de vibraciones al aparato) posteriormente se ha conseguido corriente laminar con el número  $Re = 40.000$  no es posible probar la imposibilidad de conseguir corriente laminar con el número de Reynolds aun más elevados. El número crítico de Reynolds superior es, pues, indeterminado.

- Cuando el número de Reynolds  $Re \leq 2.000$  la corriente era necesariamente laminar. Es decir, si se producía alguna perturbación la turbulencia inicial quedaba enseguida amortiguada por la viscosidad y no se desarrollaba jamás un flujo turbulento:  $Re = 2.000$  es el número crítico inferior de Reynolds. En la práctica siempre existen perturbaciones que hacen que por encima de este número la corriente difícilmente es ya totalmente laminar.

El experimento se puede repetir con otros fluidos: aceite, alcohol, etc. ( $\nu$  =variable) y con diversos diámetros de tuberías ( $D$  variable): Reynolds experimento con tuberías de diferentes diámetros. Todo lo cual demuestra que no es un cierto valor de la viscosidad  $\nu$  o de la viscosidad  $u$  lo que condiciona el tránsito de régimen laminar a turbulento, si no un cierto valor de la relación  $u D/\nu = Re$ .

Para un determinado diámetro de tubería la velocidad que hace crítico el número de Reynolds se llama velocidad crítica. En los conductos de agua industriales la velocidad media es superior a la velocidad crítica y el régimen de corriente suele ser siempre turbulento. Este régimen laminar se produce, por ejemplo, en las tuberías de engrase a presión.

Es lógico que en la capa límite turbulenta se forme una subcapa laminar porque la velocidad del fluido en contacto con el contorno es 0 y por lo tanto el número de

Reynolds crece desde 0 formando dicha subcapa laminar, allí donde Re es todavía suficientemente pequeño.

### 3.4 SISTEMA DE TUBERÍAS

#### 3.4.1. ECUACIÓN DE BERNOULLI

Según Saldarriaga, 2007, en un fluido real la viscosidad origina un rozamiento tanto del fluido con el contorno (tubería, canal, etc.) cuando de las partículas de fluido entre si. Naturalmente se sigue cumpliendo el principio de la conservación de la energía o primer principio de la termodinámica.

Es decir, además de las tres clases de energía aparece la energía de fricción, que según la termodinámica no es una energía distinta. La fricción provoca tan solo una variación del estado térmico del fluido. En el fluido real:

$$D_u \neq 0$$

(Aunque si seguimos suponiendo que el fluido se comporta como incomprensible  $\rho \, dv \neq 0$ ) y  $dQ \neq 0$ , con aumento de la temperatura del fluido y/o del medio exterior. Esta fricción en la mecánica de fluidos incomprensibles no es aprovechable y solo en este sentido llamaremos energía perdida, o bien expresada en forma de altura, altura perdida  $H_{r1-2}$

La energía en un punto 1 (o suma de la energía de posición, de presión y cinética en el punto 1) – la energía perdida en el punto 1 y 2 por rozamiento = energía en el punto 2 (o suma de energía de posición, de presión y cinética en el punto 2), o sea:

Ecuación de bernoulli con pérdidas

$$\frac{p_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{r1-2} = \frac{p_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

(Fluido real – viscoso pero compresible –  $v_1, v_2$  velocidades medias en las secciones 1 y 2)

Donde  $H_{r1-2}$  – altura perdida entre el punto 1 y 2 ( $gH_{r1-2} = Y_{r1-2}$  es la energía perdida entre las secciones 1 y 2).

En el análisis del término  $H_{r1-2}$ , que constituye un tema muy importante en el tema de la mecánica de fluidos.

Si la corriente atraviesa una o varias maquinas que la suministran energía (bombas) experimenta un incremento de energía que, expresado en forma de altura, la llamaremos  $\Sigma H_b$ . Así mismo si la corriente atraviesa una o varias maquinas a las que cede energía (turbinas) experimenta un decremento de energía, que expresada en forma de altura, la llamaremos  $-\Sigma H_t$

Por tanto:

La energía del fluido en el punto 1 – la energía perdida en el punto 1 y el punto 2 + la energía suministrada al fluido por las bombas que hay en el punto 1 y el punto 2 – la energía cedida por el fluido las turbinas o motores que hay entre el punto 1 y 2, ha de ser igual a la energía en el punto 2. En hidráulica se prefiere, expresar todas las energías en forma de alturas equivalentes (dividiendo todos los términos por g). Expresando el párrafo anterior mediante una ecuación se tiene la:

$$\frac{p_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - \Sigma H_{tr1-2} + \Sigma H_b - \Sigma H_t = \frac{p_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$P_1/\rho g, p_2/\rho g$  : alturas de presión

$Z_1, Z_2$  : alturas geodésicas

$V_1^2 / 2g, V_2^2 / 2g$  : alturas de velocidad

$\Sigma H_{r1-2}$  : suma de todas las perdidas hidráulicas entre 1 y 2

$\Sigma H_b$  : suma de los incrementos de altura proporcionados por las bombas instaladas entre 1 y 2

$\Sigma H_t$  : suma de los incrementos de altura absorbida por los motores (turbinas) instalados entre 1 y 2

Además:

$P_1/\rho g + z_1 = h_1$  ----- altura piezometrica en el punto 1

$P_1/\rho g + z_1 + V_1^2 / 2g = h_1$  ----- altura total en el punto 1

Si no hay perdidas (fluido ideal) no cesión (turbina) de energía, la altura (energía) total de la corriente permanece constante:

$H = C$  (constante de bernoulli)

### 3.4.2. ECUACIÓN DE DARCY – WEISBACH

Según Saldarriaga, 2007, muchos investigadores han tratado de determinar las leyes que rigen el flujo o circulación de los fluidos en las tuberías. Una de las primitivas expresiones de pérdidas de energía en una tubería fue desarrollada por chezy en 1775.

Se han desarrollado muchas otras formulas empíricas a partir de datos de ensayos y la mayoría de ellas parten de la hipótesis de que la perdida de la energía solo depende de la velocidad, las dimensiones del conducto y la rugosidad de la pared.

Los trabajos de hagen (1839), poiseuille (1840) y Reynolds (1883) demostraron que la densidad y la viscosidad del fluido influyen en la perdida de energía, y más

tarde principalmente como deducción del trabajo de nikuradse (1933), se reconoció generalmente que el efecto de la rugosidad no depende del valor absoluto de esta, si no de su relación al diámetro del tubo.

De todas las formulas utilizadas para determinar las pérdidas de energía en las tuberías, solamente la formula de darcy – weisbach, formula que permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que afectan la perdida.

$$h = f \frac{L V^2}{d 2g}$$

Esto se logra trasportando el coeficiente de rozamiento (f) en función del número de Reynolds.

### 3.4.3 PERDIDAS SECUNDARIAS

Según Saldarriaga, 2007, Para los accesorios, válvulas y ensanchamiento y/o estrechamientos, los podemos determinar mediante:

- Aplicación de tablas de “longitud equivalente”

Esto es el accesorio, es equivalente en su valor de hf a un tramo de tubería. Las tablas de longitud equivalente nos indican la perdida en pies o en metros de columna de agua del accesorio.

- Uso del factor K y la carga de velocidad ( $v^2/2g$ )

Las perdidas por fricción para accesorios en un sistema de tuberías, también puede determinarse usando el factor “k” que multiplicado directamente con ( $v^2/2g$ ) nos da el valor de la perdida por fricción. Para encontrar “k” la obtendremos de nomogramas donde con solamente conocer el diámetro del accesorio e interceptar la línea de “k” obtendremos este valor buscado.

### 3.4.4 CARGA DINÁMICA TOTAL

Según Saldarriaga, 2007, la carga dinámica total, es la suma de las energías contra las cuales trabaja la bomba para mover el fluido de un punto a otro.

La CDT se determina de la siguiente forma:

$$CDT = H_{est} + H_{ed} + H_{f1-2} + v^2/2g$$

$H_{est}$  = carga estática de succión (+ 0 -)

$H_{ed}$  = carga estática de descarga

$H_{f1-2}$  = pérdidas por fricción totales en el sistema

$v^2/2g$  = carga de velocidad

la CDT se expresa en:

m.c.a (metros de columna de agua)

p.c.a. (pies de columna de agua)

### 3.5 SISTEMA AGUA PLANTA

Según García; Ligeró; Romero y Sánchez 1979, la circulación del agua en las plantas cumple la función de transporte de nutrientes y otras sustancias y se realiza de un modo peculiar diferente a los animales.

El agua circula a través de las plantas, desde la raíz hasta las hojas por los vasos lenosos. Es absorbida por la raíz, a raíz de los pelos radiculares haciendo así que las plantas se nutran y su degradación fisiológica se demore más en el tiempo mientras que no la tenga. El agua se mueve en el interior de la planta siguiendo las diferencias de potencial hídrico. El potencial hídrico consta de varios componentes:

Potencial hídrico = potencial asmotico + potencial de presión + potencial matricial + potencial gravitacional

Potencial osmico: Está relacionado con la osmolaridad de la disolución acuosa. Depende de los osmolitos disueltos en el agua.

Potencial de presión: es el relacionado con la presión que ejercen las paredes celulares vegetales contra la célula. Es máximo cuando alcanza la máxima turgencia y mínimo cuando alcanza el valor de plasmólisis incipiente.

Potencial matricial: Está relacionado con la absorción por capilaridad del agua.

Potencial gravitacional: Es aquel relacionado con la fuerza de gravedad.

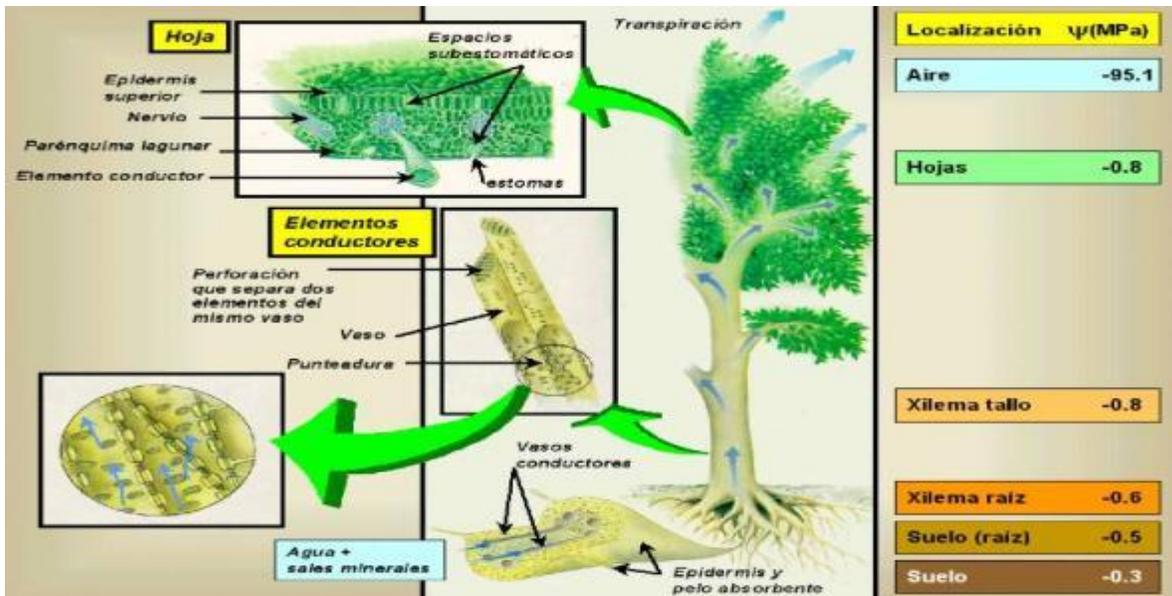


Figura 3: circulación del agua a través de la planta

Así el agua viaja desde las zonas con mayor potencial hídrico a las zonas con menores potenciales. Una planta en un suelo optimo (potencial hídrico cercano a 0 kpa) absorbería agua por las raíces, viajaría por el xilema, llegaría a las hojas donde se evaporaría y pasaría a la atmosfera, la cual tiene un potencial hídrico realmente bajo (del orden de desenas de kpa negativo). Este proceso descrito se

llama transpiración. Así la mayoría del agua absorbida por la planta es evaporada en las hojas. Estas fuerzas de la evaporación de la vida de todos crean una tensión negativa que es la que “tira” del agua hacia las ramas superiores ya que el proceso de capilaridad no es suficiente para llevar el agua a varios metros de altura. Por último existe otra fuerza que hace subir el agua por el xilema de la planta, es una presión positiva ejercida por la raíz que absorbe agua activamente (gracias a la absorción de osmolitos).

### 3.5.1 POTENCIAL HÍDRICO

Según Taiz y Zeiger, 2002, El agua en estado líquido es un fluido cuyas moléculas se hallan en constante movimiento. La capacidad de las moléculas de agua para moverse en un sistema particular depende de su energía libre. La magnitud mas empleada para expresar y medir el estado de energía libre del agua es el potencial hídrico  $\Psi$ . El potencial hídrico puede expresarse en unidades de energía por unidades de masa o volumen, la unidad de uso más común es el megapascal (Mpa = 10 bares) aunque en el pasado reciente también se han utilizado la atmosfera y el bar (1 bar = 0.987 atm).

El movimiento del agua en el suelo y en las plantas ocurre de manera espontanea a lo largo de gradientes de energía libre, desde las regiones donde el agua es abundante, y por lo tanto tiene alta energía libre por unidad de volumen (mayor  $\Psi$ ), a zonas donde la energía libre del agua es baja (menor  $\Psi$ ). El agua pura tiene una energía libre muy alta debido a que todas las moléculas pueden moverse libremente.

Este es el estado de referencia del potencial hídrico; a una masa de agua pura, libre, sin interacciones con otros cuerpos, y a presión normal, le corresponde un  $\Psi$  igual a 0. El  $\Psi$  está fundamentalmente determinado por el efecto osmótico, asociado con la presencia de solutos, por las fuerzas matricas que adsorben o retienen agua en matrices solidas o coloidales, por el efecto de la altura y por presiones positivas o negativas o tensiones presentes en los recipientes o conductos donde se encuentra.

Estos factores tienen un efecto aditivo que típicamente disminuye el potencial hídrico del suelo o planta con respecto al potencial del agua pura. Así, en un sistema particular, el potencial hídrico total es la suma algebraica de cuatro componentes:

$$\Psi_h = \Psi_o + \Psi_m + \Psi_g + \Psi_p$$

Donde  $\Psi$  significa potencial, y los subíndices h, o, m, g, p, significa hídrico, osmótico, matricio, gravitatorio, y de presión, respectivamente.

El  $\Psi_o$  representa el componente determinado por la presencia de solutos disueltos, disminuye la energía libre del agua y puede ser cero o asumir valores negativos. A medida que la concentración del soluto (es decir, el número de partículas de soluto por unidad de volumen de la disolución) aumenta, el  $\Psi_o$  se hace más negativo. Sin la presencia de otros factores que afecten el potencial hídrico, las moléculas de agua de las disoluciones se moverán desde lugares con poca concentración de solutos a lugares con mayor concentración de soluto. El  $\Psi_o$  se considera 0 para el agua pura. El  $\Psi_m$  representa el grado de retención del agua, debido a las interacciones con matrices sólidas o coloidales. Tales matrices las constituyen el material coloidal del suelo y las paredes celulares. Puede tener valores nulos o negativos. Por último, el  $\Psi_g$  representa la influencia del campo gravitatorio y normalmente es positivo, si bien esto depende de la posición elegida para el estado de referencia. El  $\Psi_p$  representa la presión hidrostática y puede asumir valores positivos o negativos según el agua está sometida a presión o tensión. Así por ejemplo, el potencial de presión  $\Psi_p$  en las células es positivo y representa la presión ejercida por el protoplasto contra la pared celular, mientras que en el xilema es negativo debido a la tensión desarrollada por diferencias en el potencial hídrico originadas en la transpiración.

En el sistema SUELO – PLANTA – ATMOSFERA, el potencial hídrico puede ser medido en varios puntos de la vía del movimiento del agua desde el suelo a través de la planta hasta la atmósfera. A lo largo de ese trayecto, varían las

contribuciones de los diferentes componentes en la determinación del componente hídrico.

### 3.6 CONTROL AUTOMÁTICO DE RIEGO

Para un óptimo funcionamiento del sistema hidráulico, este último debe de contar con sistema de control, preferentemente automático con la finalidad de reducir tiempos y evitar la escases de agua en los tinacos, alertar al usuario mediante alarmas sonoras y luminosas en el caso de cualquier contingencia.



Figura 4: reloj para la automatización del sistema de tuberías

### 3.7 DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Según García y Briones, 1977, Un sistema de riego por goteo es aquel donde se aplica agua, algunas veces se aplica el agua mezclada con la solución que contiene nutrientes, dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual, los emisores (goteros) que son anexados a la línea lateral suministran las necesidades del agua a cada planta.

Con un sistema de riego por goteo, el agua puede ser suministrada a la planta con base en una baja tensión y una alta frecuencia, con la cual se crea un ambiente optimo de humedad necesaria en el suelo. El riego por goteo puede darse mediante dos formas. Uno con goteros y bolsas negras y el otro con cintilla.

Debido a la frecuencia de los riegos, se pueden obtener eficiencias muy altas. La eficiencia en el uso del agua se define como el rendimiento del cultivo por unidad de agua aplicada. Las investigaciones hechas por Hiler y Howell (1972), indicaron que la eficiencia en el uso del agua podría ser aumentada en un 50% o más usando un riego por goteo en lugar de un riego por superficie.

Debido a que solamente la zona radicular de la planta es suplida con agua, bajo un apropiado manejo solo una pequeña cantidad de agua se pierde por percolación profunda, consumo por las plantas no beneficiosas, o evaporación desde la superficie del suelo.

1. Ahorro de agua: debido al alto control en este posible en este sistema de riego, el agua puede ser aplicada muy eficientemente. Solamente aquella porción del suelo con actividad radicular necesita ser irrigada y las perdidas por evaporación pueden ser reducidas al mínimo. La baja tasa en la aplicación de agua, la cual es frecuentemente un poco mayor que la tasa de la evapotranspiración, reduce las perdidas por percolación profunda.
2. Respuesta del cultivo: un alto promedio temporal de nivel de humedad junto con una adecuada aeración del suelo, puede mantenerse con este sistema. Esto resulta en una respuesta favorable de algunos cultivos aumentando su rendimiento y la calidad de sus frutos.
3. Ahorro de mano de obra: la mayoría de los sistemas de riego por goteo son permanentes o semipermanentes teniendo así muy bajos requerimientos de mano de obra. Estos sistemas pueden ser automatizados para lograr una reducción adicional en la mano de obra y fertilizantes.
4. Uso óptimo y ahorro de fertilizantes: el fertilizante puede ser aplicado a través de un sistema de riego por goteo usando un equipo especial. Debido al alto control que se ejerce sobre el agua, esto puede resultar también en un buen control en la aplicación de fertilizantes, resultando en notables ahorros.
5. Menos crecimientos de hierbas: debido a que solo una fracción de la superficie del suelo es mojada con este sistema, se reduce el área

disponible para el crecimiento de hierbas y plantas no benéficas. Así, el control necesario para las hierbas es mucho menor que para otros sistemas.

6. Ahorro en pesticidas y control en ciertas enfermedades de las plantas: las partes de las plantas arriba de la superficie del suelo se encuentran completamente secas bajo un sistema de riego por goteo. Reduciendo la incidencia de hongos y otras plagas que dependen de un ambiente húmedo.
7. Posible uso de agua salina: debido al mantenimiento de una presión osmótica baja que produce el esfuerzo de la planta para obtener agua que bajo condiciones salinas podría resultar en altas presiones osmóticas.
8. Una rápida maduración: expertos en tomates, uvas, remolacha azucarera, para nombrar solo algunos cultivos han demostrado una temprana maduración a la obtenida con otros sistemas de riego.
9. Minimiza la formación de costras en la superficie del suelo: un problema significativo en algunos suelos es la formación de una superficie costrosa dura. Esto puede evitar la emergencia del cultivo, aun pensando que haya germinado apropiadamente. Al mantener una alta humedad constante, la formación de costras es eliminada.
10. Mejora la penetración de las raíces: el alto promedio de humedad que se mantiene con un riego por goteo puede aliviar el problema de algunos suelos cuya penetración es mínima o imposible con un bajo contenido de humedad.
11. Puede operar en suelos con muy baja tasa de infiltración: teóricamente, el agua puede ser aplicada con un sistema de riego por goteo a tasas tan pequeñas como 0.025 cm/hr, con el correspondiente decrecimiento de las posibilidades de escurrimiento de agua en estos suelos.

### 3.8 EMISORES

Son los elementos que se insertan en las tuberías laterales que controlan la salida de alguna de las mismas a una forma y velocidad adecuadas a las condiciones de diseño. (Ramírez, 2001)

#### 3.8.1 TIPOS DE EMISORES

Los emisores se pueden dividir en: emisores de caudal inferior a 161/n. donde estarían incluidos los goteros y emisores de alto caudal superior a los 161/h, que incluiría a micro aspersores y difusores. (Ramírez, 2001)

#### 3.8.2 GOTEROS

Según Ramírez, 2001, los goteros son emisores que suministran el agua en forma de gotas a esa velocidad (gota a gota), cuyo caudal no sobrepasa los 161/h. se pueden establecer distintas clasificaciones de los goteros: dependiendo del punto de inserción (goteros pinchados, interlinea o integrados), en función de sensibilidad a las variaciones de presión, por la forma en que se produce la pérdida de carga por la sensibilidad a las obturaciones, los tipos de goteros más comunes son:

- Micro tubos: consisten en un tubo de plástico, generalmente polietileno, muy fino y flexible, pinchado en el lateral y abierto al final por donde sale el agua. Donde el diámetro interior es muy pequeño, se produce la pérdida de carga por rozamiento, lo que hace que en su interior circula el agua y régimen laminar a bajas velocidades. Resultan baratos, pero presentan los inconvenientes típicos del régimen laminar (sensibilidad a la temperatura y presión). Junto a la baja durabilidad de vida a la frecuencia de las obturaciones.
- Helicoidales: básicamente consiste en una condición en espiral; lo que supone un gotero más compacto que los micro tubos el recorrido helicoidal

del agua de laminar propio del tipo de gotero anterior, con lo que tiene mejores características.

- Netafin o de laberinto: consiste en un tortuoso recorrido, con continuos cambios de dirección, donde se obliga pasar el agua, provocando la pérdida del agua. Son los más evolucionados dentro de los goteros llamados de largo recorrido entre los que se incluyen también los helicoidales y los micro tubos, ya que pueden trabajar en régimen turbulento, por lo que son menos sensibles a la temperatura, la presión y las obturaciones. Suelen ser este tipo la mayoría de los goteros interlinean.
- De orificio. Son goteros muy sencillos, en los que la pérdida de la carga se produce al atravesar el agua el paso estrecho por donde sale. Muy económicos, pero sensibles a las obturaciones lo que les da baja durabilidad.
- Autocompensantes: regula el caudal, manteniéndolo constantemente a las variaciones de la presión, mediante un elastómetro; de manera que este contrae el paso a través de él conforme aumenta la presión y lo abre al disminuir la misma.
- Auto limpiante: limpian las obturaciones que se les puede producir, los que les da una larga vida pero son caros. La limpieza se produce por elementos flexibles o bien pueden ser una limpieza continua en una cámara con distintos orificios y condiciones.
- Filtros de anillos: tienen la misma aplicación que los filtros de malla, es decir, separarlos en pequeños sólidos en suspensión. Consta de un cilindro hueco que contiene en su interior un conjunto concéntrico de anillas que unidas forman canales de filtrado. Su limpieza es sencilla, pues consiste en abrir el cilindro y separar las anillas para limpiarlas bajo un chorro de agua.

### 3.9 CONDICIONES BÁSICAS PARA EFECTUAR EL RIEGO POR GOTEO

Según García y Briones, 1977.

1. Aplicación del agua a la zona radicular de la planta donde se halla un % de la risosfe una continua saturación, es decir que se mantiene su capacidad de campo.
2. Este riego se realiza preferentemente en forma diurna o bajo la influencia de la luz.
3. Los riegos frecuentes son diarios o por lo menos cada 2 o 3 días, esto depende del cultivo con el fin de mantener el perfil del suelo.
4. Mediante el sistema se aprovecha la fertilización controlada, es decir la aplicación de fertilizantes solubles
5. La cantidad de agua a utilizar corresponde al uso real del suelo, además debe de ser totalmente limpia de impurezas o sedimentos

#### 3.9.1 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO POR GOTEO

Según García y Briones, 1977.

1. El agua se aplica al suelo desde una fuente puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en sentido vertical y horizontal
2. No se moja todo el suelo, si no parte del mismo
3. Utiliza pequeños caudales a baja presión
4. La aplicación del agua se realiza a partir de un # variable de emisores próximos a la planta
5. Al existir zonas secas no exploradas por las raíces y zonas húmedas se considera un # en franjas o surcos
6. Se mantiene el nivel optimo de humedad en el suelo
7. Requiere de un abonado frecuente
8. Es un riego de alta frecuencia

### 3.10 EVAPOTRANSPIRACIÓN

#### 3.10.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS

Los factores que intervienen en el proceso de evapotranspiración son diversos, variables en el tiempo y en el espacio y se pueden agrupar en aquellos de orden climático, los relativos a la planta y los asociados al suelo. Esta diversidad de factores, por una parte, ha dado lugar a distintas orientaciones al abordar el complejo fenómeno y diferentes respuestas ante su estimación; ha favorecido, por otro lado, el desarrollo de una serie de conceptos tendientes a lograr una mayor precisión de ideas al referirse al fenómeno y surgen como un intento de considerar las distintas condiciones de clima, suelo y cultivo prevalecientes en el momento en que el fenómeno ocurre. Estas definiciones o conceptos, entre otros, son: "uso consuntivo, evapotranspiración potencial, evapotranspiración de referencia o del cultivo de referencia, evapotranspiración real y cultivo de referencia". (Vargas, 1963; Salgado, 1966; Manríquez, 1971; Tosso, 1972; Merlet, 1986; Rojas, 1994.)

#### 3.10.2 USO CONSUNTIVO O EVAPOTRANSPIRACIÓN

Los primeros estudios que abordaron el tema del riego hablaron de utilización consuntiva, cantidad de agua que se expresaba en metros cúbicos por hectárea regada. Luego, en 1941, la División de Riegos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos y la Oficina Planificadora de Recursos Nacionales, definieron el concepto de uso consuntivo o evapotranspiración como "la suma de los volúmenes del agua utilizada para el crecimiento vegetativo de las plantas en una superficie dada, tanto en la transpiración como en la formación de tejidos vegetales y de la evaporada por el terreno adyacente ya sea proveniente de la nieve o de las precipitaciones caídas en un tiempo dado". (Salgado, 1966)

Más tarde, en 1952, H.F. Blaney y W.D. Criddle definieron "uso consumo o evapotranspiración" en términos muy similares a los anteriores como "la suma de los volúmenes de agua usados por el crecimiento vegetativo de una cierta área por conceptos de transpiración y formación de tejidos vegetales y evaporada

desde el suelo adyacente, proveniente de la nieve o precipitación interceptada en el área en cualquier tiempo dado, dividido por la superficie del área". (Vargas, 1963; Salgado, 1966,)

### 3.10.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

Existe acuerdo entre los diversos autores al definir la "ETP", concepto introducido por Charles Thornthwaite en 1948, como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. Según esta definición, la magnitud de la "ETP" está regulada solamente por las condiciones meteorológicas o climáticas, según el caso, del momento o período para el cual se realiza la estimación. (Vargas, 1963; Salgado, 1966; Millar, 1972; Manríquez, 1971; Rovira, 1976; Merlet y Santibáñez, 1989)

El concepto de "ETP" es ampliamente utilizado y desde su introducción ha tenido gran influencia en los estudios geográficos del clima mundial; de hecho su diferencia respecto de las precipitaciones ( $P_p$ -"ETP") ha sido frecuentemente usada como un indicador de humedad o aridez climática. También ha influido sobre la investigación hidrológica. ( Rosenberg et al., 1983). Y ha significado el mayor avance en las técnicas de estimación de la evapotranspiración. (Sánchez, 1992)

### 3.10.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA ( $ET_o$ )

La noción de " $ET_o$ " ha sido establecida para reducir las ambigüedades de interpretación a que da lugar el amplio concepto de evapotranspiración y para relacionarla de forma más directa con los requerimientos de agua de los cultivos. Es similar al de "ETP", ya que igualmente depende exclusivamente de las condiciones climáticas, incluso en algunos estudios son considerados equivalentes (McKenney y Rosenberg, 1993). Pero se diferencian en que la " $ET_o$ " es aplicada a un cultivo específico, estándar o de referencia, habitualmente gramíneas o alfalfa,

de 8 a 15 cm de altura uniforme, de crecimiento activo, que cubre totalmente el suelo y que no se ve sometido a déficit hídrico (Doorenbos y Pruitt, 1976; Jensen et al., 1990) Es por lo anterior que en los últimos años está reemplazando al de "ETP".

### 3.10.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL, ACTUAL O EFECTIVA (ETr)

No obstante las mayores precisiones alcanzadas con la incorporación de algunos de los conceptos anteriores, las condiciones establecidas por ellos no siempre se dan en la realidad, y aquella evapotranspiración que ocurre en la situación real en que se encuentra el cultivo en el campo, difiere de los límites máximos o potenciales establecidos. Para referirse a la cantidad de agua que efectivamente es utilizada por la evapotranspiración se debe utilizar el concepto de evapotranspiración actual o efectiva, o bien, más adecuadamente, el de evapotranspiración real.

La "ETr" es más difícil de calcular que la "ETP" o "ETo", ya que además de las condiciones atmosféricas que influyen en la "ETP" o "ETo", interviene la magnitud de las reservas de humedad del suelo y los requerimientos de los cultivos. Para determinarla se debe corregir la "ETP" o "ETo" con un factor "Kc" dependiente del nivel de humedad del suelo y de las características de cada cultivo. (Rovira, 1976; Rojas, 1994; Ortega-Farías et al., 2000; Molina et al., 2003.)

### 3.10.6 COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

Como puede desprenderse del apartado anterior, un coeficiente de cultivo, "Kc", es un Coeficiente de ajuste que permite calcular la "ETr" a partir de la "ETP" o "ETo". Estos coeficientes dependen fundamentalmente de las características propias de cada cultivo, por tanto, son específicos para cada uno de ellos y dependen de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas, por ello, son variables a lo largo del tiempo. Dependen también de las características del suelo y su humedad (Ferreira y Valenzuela, 1975; Rovira, 1976; Santibáñez et al., 1979;

Rojas, 1994; Ortega-Farías et al., 2000.). Así como de las prácticas agrícolas y del riego.(Novoa, 1998 y 1999.)

Se hace alusión a estos "Kc" en numerosas publicaciones, puesto que permiten conocer la "ETr" a partir de la "ETP" o "ETo" evitando el uso de métodos más precisos, pero de más difícil aplicación. Pueden encontrarse en literatura especializada o bien derivarse de acuerdo a los lineamientos establecidos por la FAO. (Doorenbos y Pruitt, 1976.)

### 3.11 DISEÑO AGRONÓMICO

Es un medio para aplicar el agua superficial a los cultivos, con el fin de completar la acción de las lluvias, es decir se aplica el agua a la zona radicular de los cultivos de f que esta puede ser utilizada a su máxima frecuencia.

#### 3.11.1 DEMANDA DE AGUA DEL CULTIVO

Según: <http://es.scribd.com/doc/7331128/Diseno-Agronomico-Criterios-de-Diseno-Ing>

La demanda de agua de un cultivo o evapotranspiración del cultivo (ETC), depende del estado de desarrollo en que se encuentre la planta, una forma práctica de determinar las demandas de agua es atreves de la bandeja de evaporación clase A instrumento que se encuentra en la mayoría de las estaciones meteorológicas y donde usted puede solicitar la información sobre la evaporación de la bandeja.

$$ETc = EB * Kp * Kc \text{ (mm/día)}$$

ETc = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

EB = evaporación desde la bandeja (mm/día)

Kp = coeficiente de la bandeja (adimensional)

Kc = coeficiente del cultivo (adimensional)

### 3.11.1.1 COEFICIENTE Kp

El coeficiente de la bandeja Kp es el factor característico del evaporímetro y depende de las condiciones donde esté instalado. Varía normalmente entre los valores de 0.6 y 0.8. el coeficiente de cultivo y las distintas etapas de su desarrollo.

### 3.11.2 DEMANDA NETA DEL CULTIVO

- Es la transformación de mm/día a litros/planta/día
- Hay que multiplicar los mm/día por el marco de plantación (MP en m<sup>2</sup>) y por el porcentaje de cubrimiento (Pc en %) del follaje con relación al marco de plantación; de esta forma las demandas netas del cultivo (D.N.C) serán las siguientes:

$$D.N.C = \frac{ET_c * M.P.* P.C}{100}$$

### 3.11.3 DEMANDA BRUTA DEL CULTIVO

Pero como los métodos de riego que se utilizan no son del 100% eficientes, la demanda real o bruta (D.B.C en lts/planta/día) será igual a la demanda neta dividida por la eficiencia. Si se está regando por goteo esta eficiencia será igual del 90% al 95%

$$D.B.C. = \frac{D.N.C}{\text{eficiencia}}$$

### 3.11.4 TIEMPO DE RIEGO DIARIO DEL CULTIVO

El tiempo de riego del cultivo se puede calcular con la información que ya se tiene de la siguiente información

$$T.R.D = \frac{D.B.C}{n.g.* q.g.}$$

T.R.D = tiempo de riego diario en horas/día

D.B.C = demanda bruta del cultivo

n.g. = numero de goteros por planta

q.g. = caudal del gotero

## IV RESULTADOS

### 4.1 INFORMACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Para la realización de cualquier cálculo hidráulico de un sistema de riego por goteo se debe conocer cierta información:

información de un sistema de riego por goteo	
consumo de agua por día de la planta	8 lts
la cantidad de plantas a sembrar	23 plantas
cantidad de riegos por día	1
tiempo promedio del riego (minutos)	2 hrs
condiciones del método de cultivo hidropónico	goteo
distancia entre planta	3 m
Planta	enredadera
material de la tubería	polietileno
clima	caliente
Temperatura	extrema

### 4.2 DISEÑO AGRONÓMICO

- Se tomo un gotero por cada planta
- La eto se obtuvo de la la pagina de [www.agroson.org.mx](http://www.agroson.org.mx)
- De igual manera el factor kc se extrajo de las tablas que están en <http://info.elriego.com/epoca-frecuencia-y-momento-del-riego/>

$$E.T.C = E_{To} * K_c = 8.11 * 0.9$$

$$E.T.C = \underline{7.30 \text{ mm/día}}$$

$$D.N.C = \frac{ET_c * M.P.* P.C}{100} = \frac{7.30 \text{ mm} * 1 * 1 * 0.90}{100} = 6.57 \text{ lts/día}$$

$$D.B.C. = \frac{D.N.C}{\text{eficiencia}} = \frac{6.57 \text{ lts/dia}}{0.90} = 7.3 \text{ lts/dia}$$

$$T.R.D = \frac{D.B.C}{n.g.* q.g.} = \frac{7.3 \text{ lts}}{1 * 4 \text{ lts/h}} = 1.825 \text{ Hrs}$$

- Aplicando la ecuación anterior el tiempo de regado nos dio como resultado 1.850 hrs si lo pasamos a tiempo real esto vendría siendo 1.50 hrs (una hora con cincuenta minutos)
- El tiempo de riego diario se redondea a 2 horas por día para q la planta tenga un poco de humedad más de la que necesita y los rayos del sol no le afecten al momento del calentamiento del suelo

### 4.3 DISEÑO HIDRÁULICO

- En este punto no fue necesario hacer un diseño de la tubería que se iba a necesitar debido a que el gasto que ocupamos es un tanto pequeño y con el diámetro comercial de tubería cubriremos las necesidades del sistema, en este caso sería una manguera negra de polietileno de baja densidad de 13.7 mm de diámetro interior y de 16 mm de diámetro exterior especialmente para riegos.
- En este punto evaluamos el sistema de riego ya instalado para ver si cumple con las mínimas presiones requeridas para el óptimo funcionamiento de los goteros.
- Los goteros están regulados a 4 lts/hora
- La presión de trabajo para el buen funcionamiento de los goteros está entre un margen de 15 mca a 20 mca
- Los goteros necesitan estar en este rango de presiones para q trabajen adecuadamente y arrojen el gasto que se requiere
- Se dividieron en dos sistemas de riego uno que abastece la parte derecha de enfrente y la otra abastece la parte izquierda de enfrente y lateral izquierda

## Laboratorio vista planta



Figura 5: vista de planta de la ubicación de las enredaderas

- Se hizo el cálculo de las caídas de presiones por dos métodos (ecuaciones y hoja de excel) para cada uno de los sistemas para ver si estas cumplirían con el mínimo requerido por los goteros

## Tabla de pérdidas

Accesorio	k
Valvula Abierta	0.2
Codo 90°	1
Codo 45°	0.4
Entrada	0.5
Salida	1
Reducción	$0,5(1-(D1/D2)^2)^2$
TEE	1.75

Figura 6: tabla de perdidas

### 4.3.1 RESULTADO DISEÑO HIDRAULICO POR ECUACIONES

Cálculos mediante ecuaciones del sistema de riego lado "A"

Datos:

$$Q = 24 \text{ l/h} = 0.00000667 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 45.3 \text{ m}$$

$$D = 0.0137 \text{ m}$$

$$A = 0.0001474 \text{ m}^2$$

$$K_b = 5$$

$$\Sigma = 0.002$$

$$Vis = 0.000001141 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pa = 16 \text{ mca}$$

$$\Sigma k = 13.7$$

$$Z_1 = 0$$

$$Z_2 = 0.27 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.00000667 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0001474 \text{ m}^2} = 0.0452 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v^2 = 0.00204 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{VD}{vis} = \frac{\left(0.0452 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0.0137 \text{ m})}{0.000001141 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 542.716 \text{ adimensional}$$

$$f = \left[ \frac{1}{2 \log \left( 3.71 \left( \frac{13.7 \text{ mm}}{0.002 \text{ mm}} \right) \right)} \right]^2 = 0.01288$$

$$\Sigma hf = (f) \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2(g)} \right) = (0.01288) \left( \frac{45.3 \text{ m}}{0.0137 \text{ m}} \right) \left( \frac{(0.0452 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \right) = 0.00442 \text{ m}$$

$$\Sigma hk = (\Sigma k) \left( \frac{v^2}{2(g)} \right) = (13.7) \left( \frac{(0.0452 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \right) = 0.00142 \text{ m}$$

$$\frac{P_b}{\gamma} = 16 \text{ mca} - 0.27 \text{ m} - 0.00442 \text{ m} - 0.00142 \text{ m} = 15.72 \text{ mca}$$

Calculo mediante ecuaciones del sistema de riego del lado "B"

$$Q = 64 \text{ l/h} = 0.00001778$$

$$\text{m}^3/\text{s}$$

$$L = 46.5 \text{ m}$$

$$D = 0.0137 \text{ m}$$

$$A = 0.0001474 \text{ m}^2$$

$$K_b = 5$$

$$K_{be} = 10$$

$$\Sigma = 0.002$$

$$V_{is} = 0.000001141 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$P_a = 16 \text{ mca}$$

$$\Sigma k = 18.45$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.00001778 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0001474 \text{ m}^2} = 0.12062 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v^2 = 0.01455 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{VD}{vis} = \frac{\left(0.12062 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0.0137 \text{ m})}{0.000001141 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1448.285 \text{ adimensional}$$

$$f = \left[ \frac{1}{2 \log \left( 3.71 \left( \frac{13.7 \text{ mm}}{0.002 \text{ mm}} \right) \right)} \right]^2 = 0.01288 \text{ m}$$

$$\Sigma hf = (f) \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{v^2}{2(g)} \right) = (0.01288) \left( \frac{46.5 \text{ m}}{0.0137 \text{ m}} \right) \left( \frac{(0.12062 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \right) = 0.0324 \text{ m}$$

$$\Sigma hk = (\Sigma k) \left( \frac{v^2}{2(g)} \right) = (18.45) \left( \frac{(0.12062 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right) = 0.0136 \text{ m}$$

$$\frac{P_b}{\gamma} = 16 \text{ mca} - 0.0136 \text{ m} - 0.0324 \text{ m} = 15.954 \text{ mca}$$

#### 4.3.2 DISEÑO HIDRAULICO POR TABLAS DE EXEL

Calculo mediante tabla de excel del sistema de riego del lado "A"

DATOS		
Q =	0.00000667	m <sup>3</sup> /s
L =	45.3	m
D =	0.0137	m
A =	0.0001474	m <sup>2</sup>
Kb=	5	
K =	1	
Σ =	0.002	
Vis=	0.000001141	m <sup>2</sup> /s
P1 =	16 mca	
Σk =	13.7	

RESULTADOS		
V=	0.045247418	m/s
V <sup>2</sup> =	0.002047329	m/s
f=	0.01288355	
Σhf=	0.004449388	m
Σhs=	0.002005342	m
p2=	15.72354527	mca

Calculo mediante tabla de excel del sistema de riego del lado "B"

DATOS		
Q =	0.00001778	m <sup>3</sup> /s
L =	46.5	m
D =	0.0137	m
A =	0.0001474	m <sup>2</sup>
Kb =	1	
Kbe =	10	
Σ =	0.002	
Vis =	0.000001141	m <sup>2</sup> /s
Pa =	16 mca	
Σk =	18.45	

RESULTADOS		
V=	0.12061456	m/s
V <sup>2</sup> =	0.01454787	m/s
f=	0.01288355	
Σhf=	0.0324539	m
Σhs=	0.01773769	m
p2=	15.9498	mca

- Los valores que salen mediante las formulas y las tablas de excel son muy parecidas varían con decimales nada mas, estos valores nos indican que las presiones son adecuadas para el buen funcionamiento de los goteros y cumplen con la mínima requerida.

- Estos valores también pueden ser encontrados en el programa epanet simulando un sistema de riego con estas características

### DISEÑO DE LA TUBERIA VISTA DE PLANTA

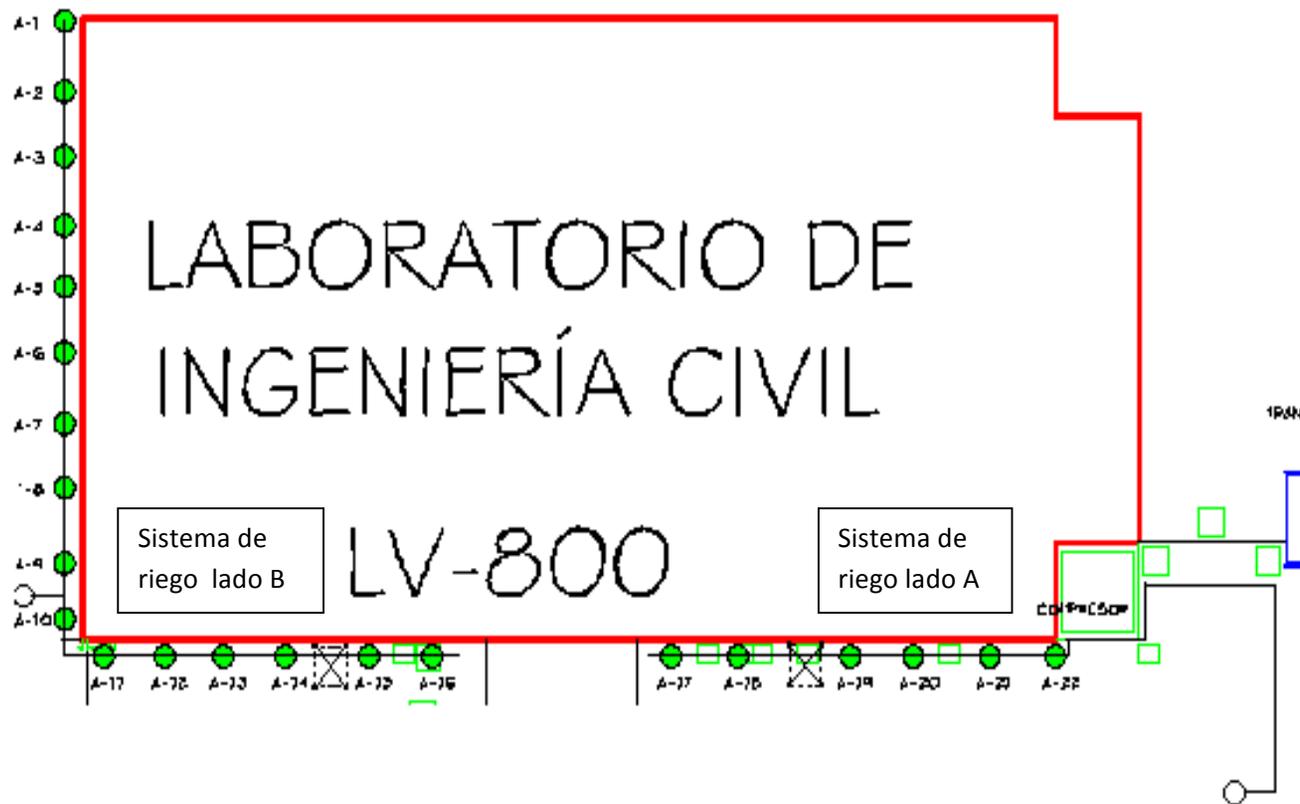


Figura 7: vista de planta del sistema de riego

Esta foto indica cuando se comenzó el zanjeado para introducir la tubería sistema de riego



Figura 8. Excavación



Figura 9. Tendido de tubería

Estas fotos indican la colocación de uniones en la tubería así como también cuando fue colocada la tubería en la zanja



Figura 10. Conexión de codos



Figura 11. Instalación terminada

En estas fotos se puede observar la conexión que se hizo a la red de agua para poder obtener el líquido que ocuparíamos



Figura 12. Conexión de codos



Figura 13. Conexión llave de paso

En estas fotos podemos observar la colocación de los manómetros para poder ver las presiones que tenemos en la tubería, así como también una válvula eléctrica para la automatización del sistema.

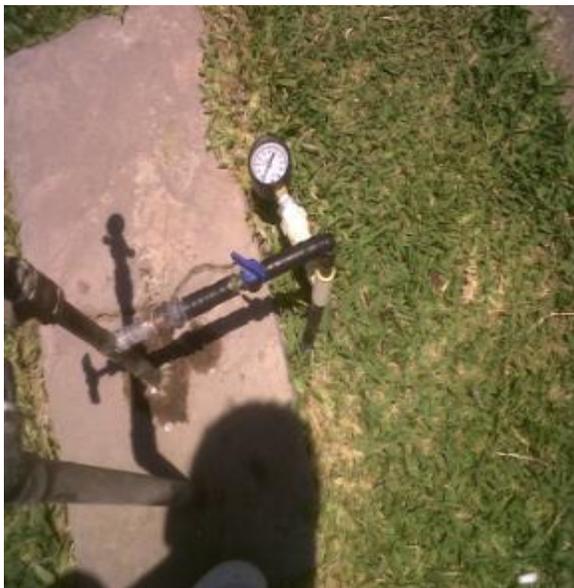


Figura 14. Conexión de manómetros



Figura 15. Conexión de válvula eléctrica

En esta foto podemos observar el funcionamiento de unos goteros y verificar que si estén suministrando el liquido a las plantas



Figura 16. Colocación de goteros      Figura 17. Verificación funcionamiento goteros

En estas fotos podemos ver el aforo que se le realizo a los goteros para verificar que estos estuvieran arrojando la cantidad de agua que se determino por cada planta.



Figura 18. Aforo de goteros

Figura 19. Resultado de aforos

En estas fotos podemos observar la tubería de 13.7 mm (diámetro interior) que se aplico al sistema de riego así como algunas partes por donde se colocó



Figura 20. Colocación de la tubería



Figura 21. Tendido de tubería

Las fotos anteriores son algunas de las enredaderas que se colocaron por fuera del laboratorio de ingeniería civil y nos muestran como se encontraban las plantas antes de que el sistema de riego fuera implementado. Estas enredaderas tenían muy poco desarrollo hasta se comenzaban a secar por la falta de el vital liquido



Figura 22. Enredaderas antes de la implementación del sistema de riego por goteo

Esta es la vista que presenta el laboratorio de ingeniería civil después de haber implementado el sistema de riego. En la figura 23 se puede apreciar el desarrollo de las enredaderas.



Figura 23. Enredaderas después de la implementación del sistema de riego por

## V.- CONCLUSIONES

Se concluye que con el diseño e instalación de un sistema de riego automatizado justo a la medida de las necesidades que tenemos, se reduce el consumo de agua por planta; también se reduce el consumo de energía, la contaminación del suelo, tiempo del operario y el ahorro de agua ya que en la actualidad este líquido es de vital importancia para el ser humano

La reducción de costos se logra gracias a la implementación de nuevas tecnologías en este caso la del sistema automatizado que logra el ahorro de energía así como el ahorro en la mano de obra humana ya que no es necesario que este se esté manejando constantemente por seres humanos.

El funcionamiento del sistema de riego fue el correcto, ya que como se mostró en las figuras del crecimiento de las enredaderas se pudo observar que se están desarrollando favorablemente

Un beneficio importante fue la reducción del gasto de agua, esto debido a que el sistema arroja solamente la cantidad de agua que la planta necesita para poder vivir y desarrollarse a la perfección, sin tener desperdicios al regar de manera tradicional.

Por último el sistema se tiene que estar monitoreando periódicamente para su correcto funcionamiento ya que es un sistema automatizado y puede tener errores de funcionamiento debido a los bajones de electricidad o a que los goteros se tapen y no arrojen el gasto necesario que deben de arrojar.

## BIBLIOGRAFIA

Agroson (2011), clima obtenido el 15 de mayo del 2012:

<http://www.agroson.org.mx/>

Diseño agronómico <http://www.rregar.com/index.php?/informacion-tecnica-de-riego/disenio-agronomico.html>

Extracción de los valores de Kc para el resultado de la ETo:

<http://info.elriego.com/epoca-frecuencia-y-momento-del-riego/>

Extracción de formulas para el diseño agronómico:

<http://es.scribd.com/doc/7331128/Diseno-Agronomico-Criterios-de-Diseno-Ing>

Extracción de definiciones de la evapotranspiración:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiraci%C3%B3n>

Barrero Ripoll, Antonio. (2005) Fundamentos y aplicaciones de la mecánica de fluidos. McGraw Hill

García castillas Ignacio, Briones Sánchez Gregorio. (1977). Sistemas de riego por aspersión y goteo.

García córdoba, Fernando. (2005). La investigación tecnológica: investigar, idear e innovar en ingenierías y ciencias sociales. Editorial limusa. México

Manríquez, Isidoro (1971): Determinación de uso consumo en 6 cultivos, sometidos a diferentes tratamientos de humedad de suelo, para la provincia de Ñuble Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

Merlet B., H.A. (1986): Evapotranspiración potencial y necesidades netas de agua de riego en Chile. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago.

Merlet B., Horacio y Santibáñez Q., Fernando (1989): Evaluación y cartografía de la evapotranspiración potencial en la zona de climas mediterráneos de Chile. Boletín Técnico, Número 48, págs. 27-50. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile

McKenney, M.S. y Rosenberg, N.J. (1993): Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 64, págs. 81-110.

Molina T., Jose Manuel; Luis A. Gurovich R. y Eduardo Varas C. (2003): Modelación y Análisis Probabilístico del Balance Hídrico Superficial de un Sistema de Riego en Chile Central. *Ingeniería del Agua* **10** (2): 135 –147..

Ramírez, Alejandro. (2001) riego por goteo simplificado. SEP-IPN

Rojas Cerpa, Nelson Zilay (1994): Determinación de la evapotranspiración de *Pinus radiata* D. Don en vivero, mediante lisímetro de drenaje. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

Rosenberg, N.J.; Blad, B.L. y Verma, S.B. (1983): *Microclimate, the Biological Environment*. John Wiley & Sons. Second edition. New York.

Rovira P., Adriano (1976): Selección de fórmula para estimar evapotranspiración potencial en Chillán-Chile. *Notas Geográficas*. Número 7, págs. 31-44.

Saldarriaga, Juan. (2007). Hidráulica de tuberías. Alfaomega

Sánchez T., M.I. (1992): Métodos para el Estudio de la Evaporación y Evapotranspiración, Cuadernos Técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología. Geofoma Ediciones. Logroño.

Salgado Seguel, Luis Gabriel (1966): Métodos para determinar evapotranspiración actual y potencial. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

Vargas Alister, Humberto (1963): Correlación entre la evapotranspiración de alfalfa y trébol rosado y la evaporación de tres tipos diferentes de bandejas de evaporación. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

Williams King, Horace.(1992). Manual de hidráulica. 1a edición. UTEHA- Noriega editores. México