



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

PRODUCCIÓN

**"TIPOS DE DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE
RIEGO PARA EL USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA EN
LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS"**

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Jenny Elizabeth Rueda Escobar

GUAYAQUIL - ECUADOR

2016

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mi amada Familia a
los que debo todos mis logros.

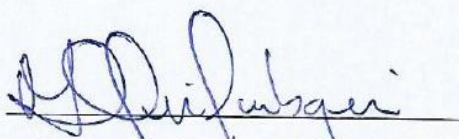
DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MI HIJA


A MI ESPOSO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Quilambaqui', written over a horizontal line.

Miguel Quilambaqui Jara, Ph.D.

VOCAL

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diego Siguenza', written over a horizontal line.

Diego Siguenza Alvarado, M.Sc.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Jenny Elizabeth Rueda Escobar

RESUMEN

En el presente trabajo se parte de un planteamiento básico “el agua es imprescindible para todo ser viviente, razón por la cual el uso de la misma debería ser aprovechado pues de su preservación depende el bienestar de todas las generaciones”.

Un sistema de riego tiene como finalidad suministrar agua necesaria a las especies vegetativas de forma tal que cumplan la función de permanecer y desarrollarse de forma eficiente. Como un problema cada vez mayor se encuentra el mal uso y distribución del agua de riego en los cultivos agrícolas, donde existe por parte de los productores una necesidad para la correcta instalación de sistemas de riego en sus propiedades. Al momento no existe un documento que guíe la instalación de sistemas de riego en áreas verdes. El mayor inconveniente en el momento de diseñar un sistema de riego es la diversidad de criterios para lograr aplicar una cantidad necesaria de agua con la que las especies llegaran a su mejor desarrollo.

Existen espacios verdes que con poco cuidado, requieren las especies vegetales presentes en ellos agua, ya sea potable o de río o de cualquier fuente de abastecimiento, y esta a su vez requiere ser aplicada y dosificada de manera que el uso de la misma sea hecho de manera sostenida y racional.

El objetivo del presente informe es plantear una guía de diseño de sistemas de riego que con una óptima selección de criterios a considerar en la construcción de un sistema de riego con un buen uso y mejor distribución del agua de riego.

Las hipótesis planteadas en el proyecto serán: no hay cultura en la labor agrícola, se siembra en función de prácticas empíricas, dejando el diseño como una opción no posible.

En el presente trabajo de investigación se aplicaron los métodos: inductivo – deductivo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	4
1. Uso, calidad y potencial hídrico del agua en nuestro país	4
1.1. Uso del agua	4
1.2. Recursos hídricos	5
CAPÍTULO 2	12
2. Tipos de riegos existentes en el Ecuador	12
2.1. Riego superficial	13
2.2. Riego por goteo	18
2.3. Riego por aspersión	24
CAPÍTULO 3	34
3. Diseño y mantenimiento de sistemas de riego para cultivos agrícolas	34
3.1. Factores a considerar en cualquier proyecto	34
3.2. Selección de la mejor alternativa para el sistema de riego	38

3.3. Diseño de un sistema de riego por gravedad	72
3.4. Diseño de un sistema de riego por goteo	75
3.5. Diseño de un sistema de riego por aspersión	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	112

ABREVIATURAS

SENAGUA	Secretaría nacional del agua
CNRH	Consejo Nacional de Recursos Hídrico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Figura 1	Extracciones por sector	9
Figura 2	Extracciones por origen	10
Figura 3	Curva generalizada del coeficiente de cultivo K_c	59
Figura 4	Riego por superficie o gravedad	72
Figura 5	Riego por goteo	75
Figura 6	Componentes de un Sistema de Riego por Goteo	77
Figura 7	Sistema de Riego por Goteo	79
Figura 8	Riego por aspersión	81

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Tabla 1	Usos del agua	1
Tabla 2	Recursos Hídricos	6
Tabla 3	Distribución de riego	12
Tabla 4	Eficiencia de conducción en canales secundarios de riego	48
Tabla 5	Eficiencia de conducción en canales terciarios de riego	48

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital para la existencia de la naturaleza y del hombre. Además su importancia en el suelo agrícola es indiscutible ya que condiciona directamente sus posibilidades de cultivo.

El Ecuador, es un país privilegiado en cuanto a recurso hídrico se refiere. Está catalogado entre los países con más alto volumen específico de agua (m^3/km^2). En 2005, las extracciones de agua totales fueron 9.918 km³, de las cuales 8.076 km³ o el 81 % se destinaron para uso agropecuario, 1.293 km³ o el 13 % para uso municipal, y 0.549 km³ o el 6 % para uso industrial (Tabla 1). La alta disponibilidad de recursos hídricos ha evitado la competencia entre sectores productivos.

Tabla 1 Usos del agua

Fuente: base de datos AQUASTAT (2005)

Usos del agua			
Extracción de agua:			
Extracción total de agua	2005	9 918	millones m ³ /año
- Agrícola (Riego + Ganadería + Acuicultura)	2005	8 076	millones m ³ /año
- Municipal	2005	1 293	millones m ³ /año
- Industrial	2005	549	millones m ³ /año
• Por habitante	2005	720	m ³ /año
Extracción de agua superficial y agua subterránea (primaria y secundaria)	2005	9 915.8	millones m ³ /año
• % sobre los recursos hídricos renovables totales	2005	2.2	%
Fuentes de agua no convencionales:			
Agua residual municipal producida	1999	631	millones m ³ /año
Agua residual municipal tratada	1999	158	millones m ³ /año
Uso directo de agua residual municipal tratada	-	-	millones m ³ /año
Uso directo de agua de drenaje agrícola	-	-	millones m ³ /año
Agua desalinizada producida	2000	2.2	millones m ³ /año

En el caso de nuestro país, el Ecuador, el sistema hidrográfico está constituido por dos grandes vertientes, la que va hacia el Pacífico y la que va hacia la Amazonía, partidas por la cordillera de los Andes, que desempeñan “el papel de una inmensa división de aguas” (Juan Bernardo León, 2007). En los 31 sistemas hidrográficos, 79 cuencas y 137 subcuencas fluían, según el último inventario hídrico realizado en 1989, 146000 millones de metros cúbicos cada año. El problema comienza cuando se asume que el 89% de ese caudal va hacia el Amazonas y solo el 11% restante hacia el Pacífico donde se sitúa alrededor del 90% de la demanda.

Según el III Censo Nacional Agropecuario (2000), la superficie total cosechada de cultivos con infraestructura para el riego en el año 2000 ascendía a 666320 ha, de las cuales los más importantes son el arroz con 153860 ha (23 % del total), los bananos con 148480 ha (22 %), la caña de azúcar con 90830 ha (14 %), las hortalizas con 80740 ha (12 %) y el maíz con 60640 ha (9 %).

Un sistema de riego tiene como finalidad suministrar el agua necesaria a las especies vegetativas presentes en los espacios verdes urbanos y rurales, de forma tal que cumplan la función de permanecer verdes, productivos y atractivos.

Una problemática cada vez más creciente y actual se encuentra en la instalación de sistemas de riego, debido a que hasta el momento no existe un documento que normalice la instalación de sistemas de riego en áreas verdes e instalaciones urbanas y rurales.

El presente trabajo pretende ofrecer una visión actualizada y global de cómo está el sistema de riego en nuestro medio y sugerir estrategias para reflexionar en este buen uso del agua y buscar mejores producciones.

El agua como líquido indispensable para la vida, tiene que ser cuidada y preservada, todos los usos que se le den, deben estar encaminados hacia esa protección.

Por esta razón el objetivo de este trabajo es plantear una guía de diseño con criterios apropiados partiendo de lo que se hace actualmente en nuestro medio para el buen uso del agua en sistemas de riego y lograr un desarrollo efectivo de las labores agrícolas.

CAPÍTULO 1

USO, CALIDAD Y POTENCIAL HÍDRICO DEL AGUA EN NUESTRO PAÍS

Lo dijo Isaac Newton “Las personas construimos demasiados muros y no suficientes puentes.”

1.1. Uso del agua.

Existe una relación entre lo que realiza el hombre y el deterioro de las fuentes de agua, por lo que es necesario organizar la explotación y uso de este recurso en el país, buscando la forma de asegurar la independencia sobre el recurso.

El agua y la desertificación son dos situaciones que implican no solo un problema ecológico sino también tiene dimensiones socioeconómicas, ya que las regiones con más problemas de esta naturaleza corresponden a los países en vías de desarrollo.

Algo que limita lograr una gestión integrada de los recursos hídricos es el problema de la falta de informes hidrometeorológicos y de estadísticas del agua en general, que no permite tomar de manera eficiente, adecuada y razonable las mejores decisiones para la asignación del agua, la planificación de sus usos y el ordenamiento de la utilización del territorio, como tampoco posibilita un buen desempeño de las funciones de vigilancia, control y regulación.

En Ecuador no hay estudios integrales que analicen todos los componentes que se relacionan con la degradación de los suelos, se calcula que las áreas sensibles a la desertificación corresponden aproximadamente al 4% del territorio nacional, esto es, 1'100.000 hectáreas. Además, 5'998.341 hectáreas, que representan el 23% de la superficie del país, constituyen las áreas más propensas a procesos erosivos. Las provincias más afectadas por esta desertificación y sequía son: Manabí, Chimborazo y Loja.

Los principales factores que contribuyen a la desertificación son: el clima, los procesos erosivos, la deforestación, la pobreza, la densidad e irregular distribución de la población, la colonización, el aprovechamiento inadecuado de la tierra. La explotación irracional de los recursos naturales y las condiciones socio-económicas de la población logran que la desertificación sea reconocida en el Ecuador como uno de los problemas ambientales que requiere prioritaria atención a nivel nacional (Informe del Ministerio de Relaciones Exteriores).

1.2. Recursos hídricos

La precipitación media anual es de 2274 mm, que suponen 583 km³/año en todo el territorio continental (Tabla 2).

Tabla 2 Recursos hídricos

Fuente: base de datos AQUASTAT (2013)

Recursos hídricos

Recursos hídricos renovables de agua dulce:			
Precipitación (media a largo plazo)	-	2 274	mm/año
	-	583 000	millones m ³ /año
Recursos hídricos renovables internos (media a largo plazo)	-	442 400	millones m ³ /año
Recursos hídricos renovables totales	-	442 400	millones m ³ /año
Tasa de dependencia	-	0	%
Recursos hídricos renovables totales por habitante	2013	28 110	m ³ /año
Capacidad total de presas	2011	7 692	millones m ³

La cantidad de agua disponible en todos los sistemas hidrográficos del país, es de 432 km³/año. El país tiene 31 sistemas hidrográficos de los cuales 24 pertenecen a la vertiente del Pacífico, con una superficie total de 124 644 km² (49 %) y 7 a la vertiente del Amazonas con una superficie de 131 726 km² (51 %). Estos sistemas hidrográficos a la vez se encuentran divididos en 79 cuencas hidrográficas: 72 cuencas pertenecen a la vertiente del Océano Pacífico, de las cuales una parte pertenece a áreas costaneras con 123 216 km² (48 %) y otra parte pertenece a los territorios Insulares aledaños cubriendo 1 428 km² (1 %). Estas cuencas contienen el 88 % de la población. 7 cuencas pertenecen a la vertiente del Amazonas con 131 726 km² (51 %) y el 12 %.

El potencial de recursos subterráneos utilizables en la vertiente del Pacífico se ha estimado en 10.4 km³/año. En la vertiente amazónica no existen estudios que permitan estimar los recursos subterráneos.

El Ecuador no recibe en su territorio prácticamente ningún aporte hídrico de los ríos de los países limítrofes, Colombia y Perú. El río Putumayo es un río fronterizo con Colombia que al tener afluentes tanto en Colombia como en Ecuador se incluye su caudal dentro de los recursos hídricos renovables internos de cada país, correspondiéndole a Ecuador un caudal total de 15 km³.

Las salidas hacia otros países se estiman en 163.8 km³/año de los cuales 35 km³/año van a Colombia (20 km³/año a través del río Mira y 15 km³/año a través del río Putumayo). El caudal restante de 128.76 km³/año va hacia Perú, de los cuales una parte corresponde a los ríos de la vertiente del Pacífico Zarumilla y Chira (llamado Catamayo en Ecuador), cuyo caudal medio anual es 0.29 y 3.47 km³/año, respectivamente. Los otros recursos hídricos superficiales que entran desde Ecuador a Perú, correspondientes a la cuenca del Amazonas, vienen principalmente de los ríos Napo, Tigre, Pastaza, Santiago, Morona, Cenepa y Chinchipe. Su aporte se estima en 125 km³/año.

El balance hídrico global del país es muy positivo, incluso por vertiente, pero existen cuencas deficitarias, en diferentes zonas y en algunas épocas del año. Las cuencas deficitarias se concentran en dos áreas: la provincia de Manabí (sistemas hidrográficos de Jama, Portoviejo y Jipijapa) y al este y sur del golfo

de Guayaquil (sistemas de Taura, Balao y Arenillas-Zarumilla) (SENAGUA, 2011b).

En 1999 el agua residual municipal producida se estimó en 0.631 km^3 , de los cuales 0.158 km^3 recibían tratamiento.

En el Ecuador, la mayor parte del consumo de agua se destina al riego, estimándose su uso en un 80% del consumo total; sin embargo, las pérdidas en la captación, conducciones primarias, secundarias y terciarias y en el ámbito de parcela, hacen que las eficiencias varíen entre el 15% y 25% (Galárraga, 2004). Es un hecho contradictorio, señala Hofstede (2004), que el Ecuador en medio de una situación hídrica favorable, el 60% de la población rural no tenga acceso a agua potable y que sólo el 7% de toda la tierra productiva sea regada.

En 2011, la capacidad embalsada de agua destinada para hidroelectricidad, agua potable, riego, control de inundaciones y turismo era de 7.69 km^3 a través de 12 presas multipropósito. El embalse de Daule Peripa, que abastece la costa, tiene una capacidad total de 6.30 km^3 , representando el 82 % de la capacidad total del país. Le siguen a distancia las presas de La Esperanza, Chongón y Tahuin con 0.45 km^3 , 0.28 km^3 y 0.21 km^3 respectivamente. La presa de Daniel Palacios o Paute es la central hidroeléctrica más grande del

Ecuador, con una capacidad de 1 075 MW (Cabrera et al, 2012; SENAGUA, 2011b).

En la figura se muestra como variaron los porcentajes de extracciones por sectores.

Extracciones de agua por sector
Total: 9 918 millones de m³ en 2005

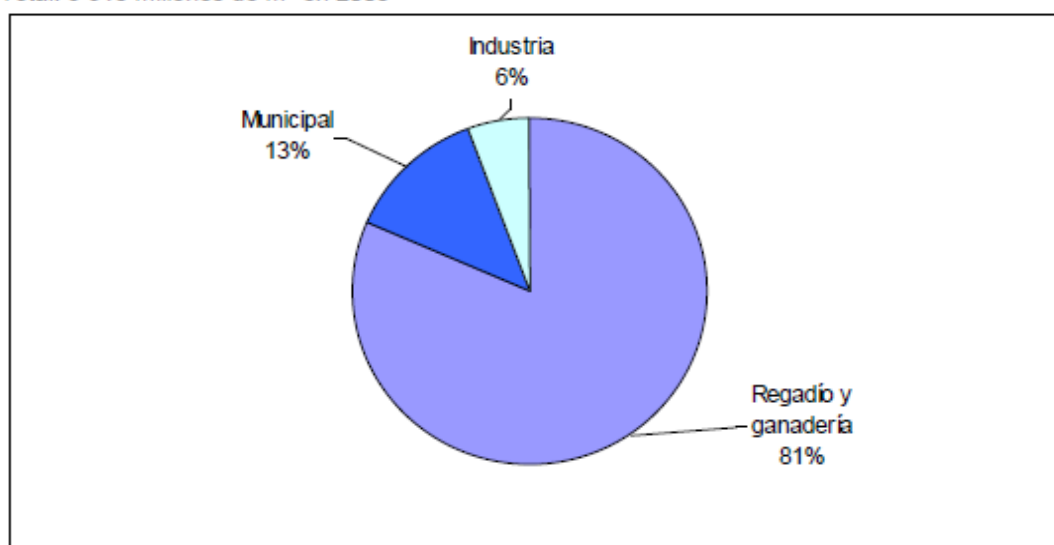


Figura 1 Extracciones por sector

Fuente: base de datos AQUASTAT (2005)

La alta disponibilidad de recursos hídricos superficiales y los costos que suponen la extracción de aguas subterráneas ha restringido su utilización para riego, a pesar de su importante riqueza. La extracción de aguas subterráneas es principalmente para uso municipal e industrial, estimándose en 0.312 km³

Muchos abastecimientos de agua pequeños y rurales dependen de fuentes de agua subterránea (Cabrera et al, 2012).

Extracciones de agua por origen
Total: 9 918 millones de m³ en 2005

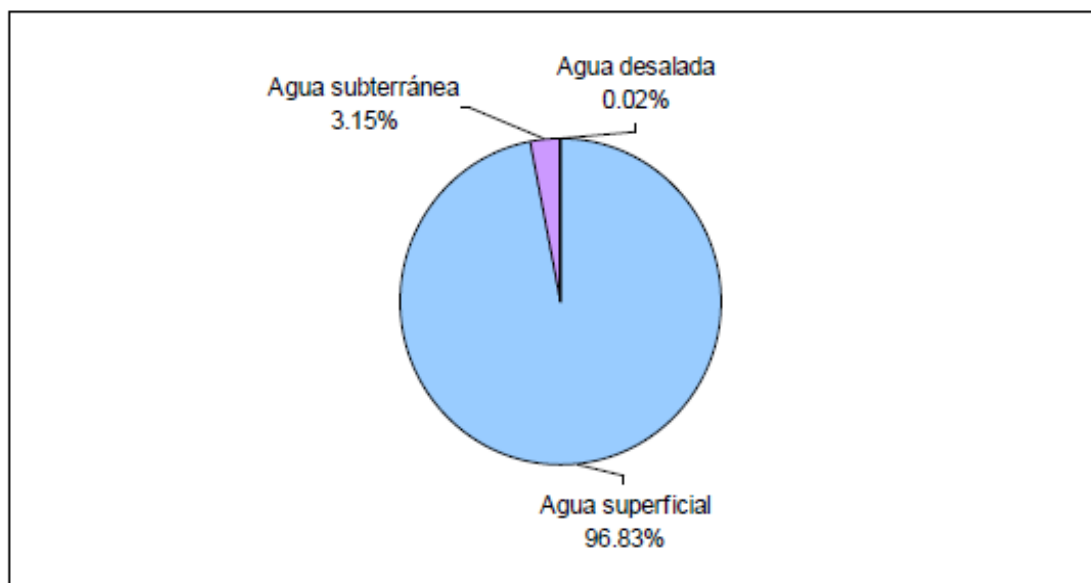


Figura 2 Extracciones por origen

Fuente: base de datos AQUASTAT (2005)

Considerando el significativo aporte que tiene el riego en los usos consuntivo y dado que al momento la agricultura genera una tercera parte de alimentos a nivel mundial, es de esperarse un considerable impacto de la demanda y manejo del recurso para el desarrollo. Pues del año 2005 a 2007 el incremento en el país aumentó en 13% (Foro de los Recursos Hídricos, 2008) y adicionalmente se evidencia la enorme inequidad en distribución, constatándose la concentración del recurso en grandes haciendas y empresas

que de acuerdo al CNRH dispondría de 67% de caudal adjudicado. Se proyecta entonces que los conflictos existentes se agravarán haciéndose inviable mejorar las condiciones de producción.

Otro punto a considerar tiene que ver con los métodos de riego. De manera particular, para la sierra ecuatoriana se ha establecido que las condiciones de orden físico como de manejo de tecnología son muy importantes para lograr uso eficiente del recurso (Cisneros et al., 2007). La eficiencia de aplicación para zonas de montaña con métodos tradicionales se ha evaluado en el orden de 40% (Cisneros, 1999; Cisneros, 2001) lo cual evidencia el estado deplorable en el que se lleva a cabo el aprovechamiento del recurso agudizándose más aún la problemática por las implicaciones que ello tendría en cuanto a los impactos sobre disponibilidad de agua.

CAPÍTULO 2

TIPOS DE RIEGO EXISTENTES EN EL ECUADOR

Tabla 3 Distribución de riego

Fuente: base de datos AQUASTAT (2010)

Riego y drenaje

Superficie potencial de riego		-	3 136 000	ha
Riego:				
1. Superficie equipada para el riego con dominio total		2010	1 500 000	ha
- Riego por superficie		2000	663 900	ha
- Riego por aspersión		2000	170 100	ha
- Riego localizado		2000	19 400	ha
• Superficie eq. para el riego con dominio total efectivamente regada		2010	942 000	ha
- % sobre la sup. equipada para el riego con dominio total		2010	63	%
2. Zonas bajas equip. (humedales, fvi, agua de decrecidas, manglares)		2010	0	ha
3. Riego por derivación de crecidas		2010	0	ha
Superficie total equipada para el riego (1+2+3)		2010	1 500 000	ha
• % sobre la superficie cultivada		2010	58	%
• % regado con agua superficial		2000	98.88	%
• % regado con agua subterránea		2000	1.11	%
• % regado con agua mixta (superficial y subterránea)		-	-	%
• % regado con fuentes de agua no convencionales		2001	0.01	%
• Superficie equipada para el riego efectivamente regada		2010	942 000	ha
- % sobre la superficie total equipada para el riego		2010	63	%
• Incremento medio anual		2000-2010	6	%
• Superficie regada por bombeo como % de la superficie equipada		1997	2	%
4. Humedales y fondos de valles interiores no equipados		2010	0	ha
5. Sup. cultivada en áreas de decrecida de inundaciones no equipadas		2010	0	ha
Superficie total con gestión de agua agrícola (1+2+3+4+5)		2010	1 500 000	ha
• % sobre la superficie cultivada		2010	58	%
Explotaciones equipada para el riego con dominio total : Criterio:				
Explotaciones en regadío pequeñas	< 10 ha	2000	219 202	ha
Explotaciones en regadío medianas	> 10 ha y < 100 ha	2000	286 443	ha
Explotaciones en regadío grandes	> 100 ha	2000	347 884	ha
Número total de hogares que dependen del riego		1997	59 273	

2.1. Riego superficial

La distribución del agua con el sistema de riego superficial depende totalmente de la naturaleza del caudal y la pendiente del terreno. Algunos de los tipos de riego por superficie sirven solo para terrenos totalmente nivelados, sin pendientes, mientras que otros exigen terrenos con pendientes. También conocido como riego por gravedad.

El riego por superficie se fundamenta en el avance del agua desde cabecera de la parcela (o zona de la parcela donde se aplica el agua) hasta el lugar donde normalmente llega más tarde, denominado cola, por lo que puntos diferentes dentro de la misma parcela estarán cubiertos de agua tiempos distintos. A medida que el agua avanza se infiltra en el suelo y pasa a disposición de las plantas, pero la cantidad de agua infiltrada dependerá tanto de las características del suelo como del tiempo que el agua esté sobre él.

Comprende los métodos de riego en los cuales la conducción del agua desde el sistema de distribución (canales o tuberías), hasta cualquier punto de la parcela a ser regada será directamente sobre la superficie del suelo.

Todos los métodos de riego superficial tienen en común que la energía necesaria para el movimiento del agua se logra por la utilización de la diferencia de altura del terreno, también por ello se llaman por gravedad.

El agua se aplica al terreno en la zona más alta y desde allí fluye hacia las más bajas, disminuyendo el flujo a medida que se infiltra en el suelo.

Para mejorar la distribución y favorecer el avance del agua sobre la superficie del suelo suelen realizarse surcos y caballones, empleados también para delimitar la parcela, evitar que el agua se pierda y se pueda mejorar la eficiencia de aplicación. A todo ello, y también a una mejor distribución del agua, contribuye la pendiente en la dirección de escurrimiento del agua, sin embargo existen algunos sistemas que no requieren parcelas con pendiente, es decir, pueden estar a nivel.

Es un método de riego poco costoso en instalaciones y mantenimiento pero generalmente no se consiguen altas eficiencias, si bien cuando el diseño es adecuado y el riego se maneja de forma adecuada las eficiencias pueden ser iguales a las de los sistemas de riego más tecnificados.

Fases del riego

En cualquier sistema de riego por superficie, la aplicación del agua a la parcela implica una serie de etapas o fases en referencia al movimiento del agua, su almacenamiento sobre la superficie del suelo y su infiltración.

En cualquier sistema de riego se pueden producir todas estas etapas o fases, pero en determinados casos alguna de ellas puede no existir. Un desarrollo habitual o normal de un riego por superficie consiste en lo siguiente:

Avance del agua en un surco de riego

El avance del agua sobre el suelo puede tener una duración muy diversa dependiendo del tipo de sistema de riego por superficie, pero básicamente depende de: el caudal aplicado, la pendiente, la longitud del camino que debe recorrer el agua y de la capacidad de infiltración del suelo. A mayor caudal, mayor pendiente y menor longitud de parcela, menor será el tiempo necesario para que el agua cubra todos los puntos de la parcela y se complete el avance.

Una vez que se completa el avance, si aún continúa la aplicación de agua a la parcela, ésta comienza a almacenarse sobre el suelo a la vez que continúa infiltrándose. En esta etapa del riego, todos los puntos de la parcela que deben recibir agua y ya se han mojado, comienzan a almacenarla. Si el suministro de agua se corta justo cuando se ha completado el avance, no se producirá el almacenamiento de agua sobre el suelo.

Tiempos característicos del riego

Durante el desarrollo normal de un riego por superficie, delimitado aproximadamente por las fases descritas anteriormente, se pueden establecer unos tiempos característicos. En concreto se diferencian los siguientes:

- a) **TIEMPO DE AVANCE:** es el tiempo, medido desde que comienza el riego, que el agua tarda en llegar a todos y cada uno de los puntos de la parcela. Depende del manejo que se haga del riego.
- b) **TIEMPO DE RECESO:** medido desde el inicio del riego, es aquel tiempo en que toda el agua desaparece de la superficie del suelo.
- c) **TIEMPO DE INFILTRACIÓN:** es el tiempo que el agua está en contacto con el suelo durante el riego y por lo tanto se estará infiltrando en él. Para cada punto, es la diferencia entre el tiempo en que se haya producido el receso y en el que haya llegado el agua en ese lugar. Normalmente es mayor en zonas de cabecera y menor en zonas de cola de la parcela.
- d) **TIEMPO DE RIEGO:** es el tiempo que dura la aplicación de agua a la parcela de riego.

Ventajas del riego por superficie

Las ventajas del riego por superficie frente al resto de métodos de riego son principalmente las siguientes:

- ✓ No se requiere energía para aplicar el agua
- ✓ Bajo costo de inversión y mantenimiento
- ✓ Son aptos para lavado de sales
- ✓ Estructuras de control, facilidad y economía
- ✓ Se pueden usar aguas de mala calidad aunque no salinas

- ✓ No afectados por las condiciones del clima
- ✓ Variabilidad en la infiltración de agua
- ✓ Precisa una pendiente reducida y uniforme
- ✓ Menor eficiencia si el manejo es incorrecto
- ✓ No es bueno para riegos de poca profundidad en suelos ligeros
- ✓ Requieren una explanación precisa
- ✓ Los riegos han de programarse teniendo en cuenta otras prácticas
- ✓ Las estructuras usadas son fabricadas con materiales de bajo costo e incluso realizadas en el suelo

Desventajas del riego por superficie

Se pueden destacar los siguientes:

- ✓ Existe menor eficiencia en el uso del agua que los de otros métodos
- ✓ Dado que el suelo distribuye e infiltra el agua, la cantidad de agua infiltrada depende mucho de las características del mismo que pueden variar considerablemente incluso dentro de la misma parcela.
- ✓ Se requieren terrenos con nula o escasa pendiente con una explanación precisa.
- ✓ No es muy adecuado para dar riegos ligeros, sobre todo en suelos arenosos
- ✓ Se moja toda o gran parte de la superficie del suelo, por lo que habrán de programarse otra serie de prácticas culturales (aclarado, abonado,

aplicación de herbicida o fitosanitario, recolección, etc.) para que no interfieran con el riego.

- ✓ Puede producir alteraciones en la estructura del suelo y perjudicar el desarrollo de las raíces.

En cualquier caso pueden existir otras ventajas o inconvenientes atendiendo a la zona donde se desarrollen los riegos, pero sea cual sea la situación, se puede admitir que los riegos por superficie son los más flexibles (admiten cambios de cultivo, de sistema, de caudales aplicados, etc.) y económicos.

2.2. Riego por goteo

Se puede definir el sistema de riego por goteo como un sistema de humedecimiento limitado del suelo, en el cual se aplica el agua únicamente a una parte del volumen del suelo ocupado por el cultivo, también llamado presurizado. El bulbo húmedo acomoda el sistema radicular de las plantas, de modo que en diferentes suelos, o con goteros de diferente descarga, o variando la distancia entre los goteros, la frecuencia del riego, etc., varía también la forma del sistema radicular.

El sistema de riego por goteo se basa en una tubería de agua (el lateral), en el cual están insertados los goteros. La unidad de riego es el gotero, el cual aplica el agua gota por gota. Alrededor de cada gotero se forma una zona de suelo húmedo, denominado “bulbo” o “cebolla”, por su forma característica.

Dentro de dicho bulbo se forman tres zonas con distinto contenido de agua y de aire:

- ✓ La zona saturada.- Debajo y alrededor del gotero, zona en la que existe un exceso de agua y falta de aire.
- ✓ La zona de Equilibrio.- En la cual existe una relación óptima entre el agua y el aire.
- ✓ La zona Seca.- Donde existe un déficit de humedad y un máximo de aire.

Conceptos básicos de riego por goteo

Sistema para trasladar el agua necesaria a los cultivos por intermedio de tuberías especiales a través de una red creada en el terreno, esta agua llega a la base de la planta por “emisores” que funcionan como goteros.

Las ventajas del sistema por goteo es aumento de la producción y opciones económicas significativas.

Aunque su instalación necesite una valoración para su uso racional y para su máxima seguridad. Respecto a esto se expondrán las condiciones básicas para su manejo, las cuales son:

- a) Aplicación del agua en la zona radicular de la planta
- b) Realizar los riegos bajo la influencia de la luz, y cuando la planta esté en su mayor capacidad fotosintética
- c) Los riegos que sean día a día, o cada tres días

- d) Beneficiar fertilización controlada a través del agua de riego, utilizándose fertilizantes solubles, del tipo nitrogenado.
 - e) La cantidad del agua utilizada responde al uso real del cultivo.
 - f) Mediante este sistema las raíces desarrollan una ventaja superficial, en el cual se encuentra la mayor capacidad de absorción de este órgano.
- Se obtiene un mayor ahorro y eficiencia de los nitratos que son absorbidos por una parte radicular con la aplicación gradual de fertilizantes.

Las plantas realizan su máxima capacidad de síntesis en el día; la fotosíntesis, que transforma la energía lumínica en energía química, necesita fundamentalmente del agua para su funcionamiento.

Ventajas del riego por goteo

- ✓ Economía de agua, se realiza el riego alrededor de la planta.
Disminuyen las pérdidas de evaporación.
- ✓ Se lo utiliza en los más variados tipos de suelo y clima
- ✓ Necesariamente el terreno no tiene que estar nivelado
- ✓ No hay interrupción a causa de los vientos
- ✓ Disminución de malas hierbas
- ✓ Labores culturales óptimas
- ✓ Ahorro de mano de obra, no es necesario mover las instalaciones

- ✓ Posibilidad de fertilizar simultáneamente con el riego, desarrollando la eficacia de la localización y cantidad de los abonos
- ✓ Riego continuo del cultivo durante un tiempo prolongado
- ✓ Aprovechamiento de aguas con una relativa cantidad de sales
- ✓ Uso de equipos de bomba pequeños
- ✓ Aumento de producción, calidad y precocidad de cultivos, como en frutales y hortalizas
- ✓ Uso en terrenos con pendientes del 50% sin problemas de erosión
- ✓ Se mantiene un nivel de humedad en el suelo constante
- ✓ No altera la estructura del terreno (no erosiona);
- ✓ No moja el follaje ni los troncos lo que reduce el riesgo de enfermedades.
- ✓ Se pueden utilizar aguas que tengan altos contenidos de sales solubles
- ✓ Es de fácil aplicación en terrenos con topografía accidentada,
- ✓ Puede utilizarse en situaciones en las cuales existe poco caudal
- ✓ Permite la programación de la cosecha y adelanta la época de la producción, tanto en cultivos anuales, como en los permanentes,
- ✓ Facilita el control de la humedad del suelo a capacidad de campo, o cerca de este estado, por lo que hay mayor disponibilidad de agua y nutrientes
- ✓ Se incrementa la producción en cantidad y calidad porque las plantas pueden utilizar su mayor energía disponible para producir.

(Calvache, 1998).

Desventajas del riego por goteo

- ✓ El inconveniente más típico en este tipo de sistema de riego por goteo es que los emisores se atascan fácilmente, especialmente por la cal del agua.
- ✓ Un problema principal que se encuentra en su instalación es la implementación de dos tipos de filtros: Filtros de mallas; Filtros de arena (Sánchez, 2005).
- ✓ Costo de inversión alto, este es variable dependiendo del cultivo, producción, extensión, etc.
- ✓ Equipos de buena calidad. Deben soportar condiciones ambientales variables.
- ✓ Debe existir permanente vigilancia en el funcionamiento.
- ✓ Problemas en la utilización de fertilizantes, que puedan taponar los goteros y conductos.
- ✓ En zonas permanentemente humedecidas pueden haber plagas
- ✓ La necesidad de hacer instalaciones de decantación, debido al uso de aguas turbias.
- ✓ Se debe emplear un buen complejo de filtrado de agua.
- ✓ Elaborar proyectos, para que exista buena homogeneidad en la distribución del agua en los cultivos.

- ✓ Aplicar sustancias repelentes o insecticidas, para los roedores e insectos que pueden afectar los tubos de polietileno.
- ✓ Se requiere una eficiente y adecuada operación del equipo para que funcione con la eficiencia proyectada.
- ✓ Los agricultores desconocen los principios básicos, lo cual determina un manejo deficiente, un menor rendimiento y se afecta al suelo con problemas de salinidad y exceso de humedad, que determina mayor incidencia de plagas y enfermedades.
- ✓ Los fertilizantes altamente solubles con excepción de la urea no son de fácil adquisición y son de alto precio.

Este riego es un sistema que entrega el agua gota a gota, según su necesidad, humedeciendo solo una parte del suelo, donde se concentran las raíces, por ello también se le llama riego localizado o de alta frecuencia, pues se aplica el agua casi a diario o algunas veces más de una vez al día. Una de las principales ventajas es que permite la aplicación de fertilizante a través del sistema igualmente de manera localizada, siendo más eficiente (Keller, 1988).

Esta es una técnica muy avanzada que se dispone actualmente para la aplicación eficiente de agua a los cultivos. El principio básico comprende la entrega a baja presión de agua limpia a través de emisores individuales.

Además, como sólo maneja una parte del suelo, se pierde poca agua por evaporación, excepto la que pasa por la planta y sale al aire por transpiración,

de modo que se obtiene una eficiencia de aplicación superior al 90%. El goteo es un tipo de riego de flujo diario, ya que normalmente se aplica diariamente, pero en volúmenes reducidos, evitando, de esta manera, la lixiviación de elementos nutritivos. (Calvache, 1998).

Las características técnicas de este sistema lo presentan como un método sofisticado, delicado, funcional, eficaz y costoso, pero hay que tener presente que, todas las ventajas del método de riego por goteo se convierten en desventajas, cuando el sistema está mal diseñado, mal instalado, mal operado, o no se realizan los trabajos de mantenimiento necesarios para un óptimo funcionamiento (Taípe y Calvache, 2007, Calvache, 1998).

Las razones por las que se pretenda usar este tipo de riego son muy variadas, pero las más frecuentes pueden ser: Poca agua en la zona, problemas con la topografía del terreno, aumento de la producción, rentabilidad económica del cultivo, mala calidad de agua, adelanto de la maduración de los frutos, ahorro de mano de obra, etc. (Calvache, 1998; Taípe y Calvache, 2007).

2.3. Riego por aspersión

Se asemeja el aporte de agua que realizan las lluvias. El agua para que se disperse en gotas de distinto tamaño debe salir a presión por orificios y boquillas (aspersores), por ello también el sistema genéricamente se

denomina riego presurizado. Es distribuida el agua por tuberías a presión y se aplica por medio de aspersores en forma de lluvia. Se busca aplicar una lámina que sea capaz de infiltrarse en el suelo sin producir escurrimiento. Si hay un equipo bien diseñado con respecto al tipo de suelo a regar, se obtiene una lámina muy uniforme sin que se presente escurrimiento. Los diversos sistemas existentes van desde los equipos autopropulsados como los cañones regadores o los equipos de avance frontal, hasta equipos de diferentes dimensiones de alas móviles.

El aspersor puede tener una o dos boquillas, que son los orificios a través de los cuales sale el chorro de agua a presión, que hace impacto sobre el brazo y se produce el fraccionamiento del chorro en pequeñas gotas de lluvia. (Keller, 1988; Avidan 1993).

No precisa ninguna preparación previa del suelo y su eficiencia en la aplicación del agua es superior a los riegos por superficie. Se recomienda cuando existe poca disponibilidad de agua, una alta o baja velocidad de infiltración del agua, una excesiva parcelación o un relieve accidentado. (Cisneros, 2002, Keller, 1988).

Tipos de aspersores, por su forma de girar

- De impacto: giran a impulsos del chorro de agua sobre un brazo oscilante.
- De turbina: tienen un giro continuo, al discurrir el agua por un mecanismo de

turbina.

Tipos de aspersores, por su presión de trabajo:

- De baja presión: se clasifican así cuando tienen una presión menor o igual a 1,5 kg/cm². Son capaces de mojar un radio de hasta 12 m, como máximo.
- De media presión: entre 1,5 y 4,5 kg/cm². El radio mojado varía entre los 12 y los 25 m.
- De alta presión: cuando la presión de trabajo es superior a 4,5 kg/cm². El radio de cobertura puede alcanzar hasta 60m.

Ventajas del riego por aspersión

- ✓ Puede ser utilizado con facilidad en terrenos con pendientes pronunciadas; ya que se adapta a todo tipo de terreno, desde ondulados a muy ondulados.
- ✓ Se puede dosificar el agua con una buena precisión.
- ✓ No afecta el material vegetal sometido a riego, ya que se elimina la presión que el agua puede ofrecer a las plantas.
- ✓ Es apto para cualquier tipo de suelo, con solo controlar la pluviometría.
- ✓ Es indicado para riego de cultivos jóvenes, como así también para riegos de germinación en los cuales la lámina aplicada debe ser ligera.
- ✓ Disminuye la mano de obra ocupada.

- ✓ Es el mejor sistema para suelos arenosos o muy permeables;
- ✓ Es la manera más eficiente de utilizar bajos caudales y en general su eficiencia es mayor que cualquier método superficial de riego, pues está alrededor del 70%;
- ✓ No requiere de canales, ni acequias para conducir y regar la parcela, lo cual quita espacio útil y disminuye la densidad de siembra y por ende la producción.
- ✓ Ahorra tiempo y mano de obra en la operación del riego.
- ✓ Se puede prevenir la erosión del suelo, que no es el caso de los otros sistemas superficiales.

Desventajas del riego por aspersión

- ✓ Elevado costo de establecimiento, aunque es menor cuando utilizamos la gravedad como fuente de energía.
- ✓ En la zona con presencia de fuertes vientos, es baja la uniformidad, para lo que se sugiere usar aspersores de bajo ángulo: 12°
- ✓ Aumentan los costos de producción por mayor consumo de fungicidas.
- ✓ Se recomienda el uso de este tipo de riego en horas tempranas en la mañana o en la tarde
- ✓ Requiere de costos extras para mejorar el filtrado del agua, cuando ésta tiene basura o sedimentos (Sánchez, 2005).

- ✓ Se necesita determinar bien la distancia entre aspersores, para tener un coeficiente de uniformidad superior al 80%.
- ✓ Se presentan problemas de aplicación del agua de manera uniforme, en áreas con vientos de moderados a fuertes.
- ✓ Se presentan limitaciones respecto a la calidad del agua, si éstas tienen elevados tenores salinos, disminuye la vida útil de los componentes.

Este sistema es muy útil para grandes superficies. Este tipo de riego hace uso de emisores, donde la descarga de agua es inducida por la presión disponible en los laterales de riego (tuberías donde van insertados los aspersores). Para este propósito se emplea:

- Presión, que puede provenir de una bomba accionada por motor eléctrico, a diésel, a gasolina, etc., o presión de gravedad proveniente de la diferencia de nivel entre la captación y el área de riego.
- Sistema de tuberías, convenientemente acoplada con un terminal o hidrante.
- Aspersor gigante, aspersor mediano o grupo de aspersores, acoplado con manguera flex o con tubería de aluminio u otro método que distribuya agua a los aspersores colocados en su extensión (pivote central).

Componentes básicos de un equipo de riego por aspersión

Un equipo de riego por aspersión se compone básicamente por los siguientes elementos:

Grupo motobomba: encargado de suministrar el agua a determinada presión.

Red de distribución puede estar compuesta por una red principal, que parte desde la bomba a la secundaria, y éstas normalmente de menor diámetro que aquella es la encargada de llevar el agua a él o los aspersores. Esta red de distribución desde el punto de vista de su movilidad puede ser fija, movable o mixta. En el primer caso las tuberías cubren la totalidad de la superficie que se quiere regar:

Móvil: todas las tuberías, tanto las correspondientes a la red principal como a los ramales laterales, se trasladan a medida que se va regando.

Mixta: la red principal puede ser fija, mientras que los laterales se trasladan de un lugar a otro.

Dispositivos de aspersión:

Son los componentes principales del equipo, ya que son los encargados de producir la lluvia. Según la presión de trabajo a la cual operen los aspersores, se pueden clasificar en:

- Baja presión: de 0,4 a 2 kg/cm².
- Media presión: de 2 a 4 kg/cm².
- Alta presión: 4 a 8 kg/cm².

En los equipos comunes que utilizan varios aspersores en alas regadoras, los aspersores trabajan entre 2 y 4 kg/cm^2 , en tanto que en los equipos de “cañón viajero” por ejemplo, la presión es de 8 kg/cm^2 .

Descripción de un equipo de riego por aspersión utilizado en cultivos hortícolas:

Tal como se ha mencionado anteriormente, los componentes de un equipo de éste tipo está compuesto por un grupo motobomba, red de distribución y aspersores.

Equipo motobomba:

Integrado por un motor que puede ser a explosión 6 eléctrico y un bomba centrífuga o de turbina (si se extrae agua de pozo).

La bomba a utilizar debe calcularse en base al volumen de agua necesario para alimentar correctamente a todos los aspersores y a la presión requerida para un correcto funcionamiento de los aspersores.

El caudal que debe entregar la bomba será igual a la suma de los caudales de cada aspersor por el número de aspersores utilizados.

Con respecto a la presión de trabajo la bomba debe seleccionarse, teniendo en cuenta las alturas geométricas de aspiración, impulsión hasta el aspersor más lejano, las pérdidas de carga a lo largo de las tuberías, la presión de trabajo del aspersor y la altura de elevación del aspersor.

Sistema Computarizado

Red de distribución:

Compuesta por la línea principal y la secundaria o alas regadoras.

Las alas regadoras pueden adoptar distintas disposiciones en el terreno, normalmente si son más de una se disponen en forma paralela.

La distancia entre los laterales debe determinarse de tal forma que se logre una distribución uniforme del agua en el terreno, teniendo en cuenta el tamaño del orificio del aspersor, presión de trabajo del mismo, superposición de diámetros mojados por los aspersores y el viento.

Es necesario tener en cuenta algunas consideraciones respecto de las alas regadoras:

- Es conveniente que se sitúen en dirección perpendicular a los vientos dominantes.
- Deben ubicarse en la dirección de las hileras de las plantas, para facilitar las labores de cultivo y el traslado de los ramales.
- Para mantener una uniformidad razonable de riego, la diferencia de presión de los aspersores de un mismo lateral no debe superar el 20 %, de la presión media de funcionamiento.
- Si la topografía del terreno es quebrada, los laterales descendentes pueden tener mayor longitud que los ascendentes, para un mismo diámetro de cañería, con la condición que la variación de presión de los aspersores no supere el 20 %.

Cobertura del Riego

Se llama riego de cobertura total si se dispone del número de laterales suficientes, con los correspondientes aspersores, para regar toda la parcela sin precisar ningún traslado de tuberías. En caso contrario se llama riego de cobertura parcial, cuando es necesario el traslado de todo o parte del equipo de un lugar a otro en cada postura de riego.

Aspersores

Son los elementos destinados a repartir el agua sobre el cultivo en forma de lluvia.

Los aspersores por sus características se pueden dividir en:

- Aspersores giratorios.
- Aspersores no giratorios.
- Tuberías perforadas.
- Tuberías oscilantes.

El de **Microaspersión** es similar al anterior pero a escala muy reducida. Se disponen de una gran cantidad de mangueras de riego que recorren las líneas del cultivo con emisores individuales o para un grupo de plantas “micro aspersor” que con diferentes diseños moja una superficie relativamente pequeña.

En este tipo de riego, un pequeño difusor aplica el agua por debajo del follaje de los árboles frutales. Estos sistemas de riego en la ladera tienen la ventaja de no ser erosivos para los suelos, el de disponer de un mecanismo de

apertura y cierre de los hidrantes, que prácticamente evita desperdicios de agua por un posible mal manejo ((Keller, 1988; Avidan 1993).

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE RIEGO PARA CULTIVOS AGRÍCOLAS

Para seleccionar el sistema de riego se debe tener en cuenta el tipo de suelo, la velocidad de infiltración, la profundidad radical, la topografía del terreno y la disponibilidad de agua existente.

3.1. Factores a considerar en cualquier proyecto

Meteorología

La meteorología estudia los cambios atmosféricos que se producen a cada momento, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, el viento o las precipitaciones. El objetivo de la meteorología es predecir el tiempo que va a hacer en 24 o 48 horas y, en menor medida, elaborar un pronóstico del tiempo a medio plazo.

La climatología es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo, estudia las características climáticas a largo plazo.

Precipitación

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua,

y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad.

Es un fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera que consiste en la caída de lluvia, llovizna, nieve, granizo, hielo, desde las nubes a la superficie de la tierra.

Se mide en alturas de precipitación en mm, que equivale a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie de un metro cuadrado. La intensidad y duración de la precipitación están, por lo general, inversamente relacionadas; es decir, las tormentas de intensidad altas probablemente serán de duración corta, y las tormentas de intensidad baja pueden tener una duración larga.

Temperatura

La temperatura es una propiedad física que se refiere a las nociones comunes de calor o ausencia de calor. Es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la Atmósfera. La temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra.

Todos los procesos fisiológicos y funciones de la planta se llevan a cabo dentro de ciertos límites de temperatura. Los que se efectúan dentro de una

planta, tales como la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento responden con frecuencia en forma diferente a la temperatura óptima para cada función.

Evaporación

Evaporación es el proceso por el cual el agua pasa de la superficie del suelo a la atmósfera en forma de vapor. Esta es más intensa cuanto más seco sea el ambiente y mayor la temperatura del aire. También será mayor cuanto más húmedo esté el suelo en superficie ya que el agua estará más disponible para ser evaporada y cuanto mayor sea el viento reinante en la zona.

Humedad

La humedad relativa es la medición más usual en el área agrícola y se refiere a la relación entre la cantidad de agua que posee el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad de agua que puede retener el aire en una temperatura dada (Humedad absoluta máxima). El aire puede retener más humedad a medida que la temperatura es más alta, cuando la temperatura baja la capacidad de retener humedad baja, se desprende de esta afirmación que manteniendo constantes la cantidad de gramos de agua por litro de aire, la humedad relativa es menor a temperatura alta y la humedad relativa es mayor cuando la temperatura baja.

Velocidad del viento

El viento es un factor muy importante para el agricultor, siendo el responsable directo de las características climatológicas de una zona. A él van vinculados muchos fenómenos meteorológicos favorables o adversos para la agricultura, e incluso formación de suelos a causa de los efectos de erosión. Tiene una serie de efectos beneficiosos, un viento suave permite la renovación del aire facilitando la transpiración de las plantas.

Por otra parte, bajo condiciones atmosféricas húmedas, la alta humedad del aire y la presencia de nubes hacen que la tasa de evapotranspiración sea más baja. El aumento de la velocidad del viento para las dos condiciones climáticas presentadas, afecta la evapotranspiración. Cuanto más seca este la atmosfera, más grande será el efecto sobre la ET. Para las condiciones húmedas, el viento puede sustituir el aire saturado solamente por aire levemente menos saturado y así reducir la energía térmica. Por tanto, bajo condiciones húmedas la velocidad del viento afecta la evapotranspiración en un grado mucho menos importante que bajo climas áridos en los que variaciones pequeñas en la velocidad del viento pueden dar lugar a importantes variaciones en la evapotranspiración.

Heliofanía

Esta representa la duración del brillo solar u horas de sol, es una forma de medir la duración del brillo solar. Esta medida es útil porque da una idea de las horas del sol directo que reciben los cultivos agrícolas. El instrumento utilizado para su medición, heliofanógrafo, registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa. Cuando el clima esta con nubosidad, entonces la radiación del sol no tiene la suficiente energía como para considerarla dentro del rango de energía directa del sol.

Topografía

Se puede aplicar tanto a terrenos lisos como a los ondulados, los terrenos de topografía irregular y con fuerte pendiente pueden ser regados con un mínimo de nivelación, ya que la conducción es por tubería y con presión.

La pendiente condiciona la velocidad de circulación del agua por la superficie. Toda interrupción brusca de la pendiente perjudica al riego. Por esta razón hay que esforzarse en formar parcelas de pendiente uniforme, para responder a las exigencias de la mecanización y de la realización de los riegos.

3.2. Selección de la mejor alternativa para el sistema de riego

Para poder elegir el sistema de riego que se necesita emplear, lo primero que se debe saber en base al conocimiento que tengamos de las ventajas y desventajas de estos métodos, es decir, que no existen métodos de riego

mejores o peores sino que cada uno puede o no ser el más conveniente para la zona donde estemos trabajando, en muchos casos veremos que no existe una única solución, por lo que se hace necesario observar el resultado que estos han tenido en las condiciones locales y luego hacer la elección. En la práctica para determinar qué sistema de riego nos conviene implantar en el lugar que estamos trabajando, debemos partir del análisis de los siguientes elementos:

- Suelo: textura y pendiente
- Agua: disponibilidad y calidad
- Clima: vientos y temperatura
- Cultivo: formas de siembra y naturaleza
- Hombre: mano de obra y experiencia con el riego
- Finanzas: costos y beneficios

Para realizar la elección del método a emplearse se deben analizar varios factores tales como: las pérdidas de agua que varían de acuerdo al método empleado, si es el caso de un sistema de riego por gravedad, en donde la conducción se realiza a través de canales de tierra y las pérdidas del caudal es significativo debido a que estos canales no poseen un mantenimiento eficiente, presentando infiltración y evaporación a lo largo del trayecto.

La poca disponibilidad de agua, la baja productividad y la escasez de mano de obra son las principales razones que motivan la búsqueda y adaptación de sistemas de riego más eficientes en terrenos de altas pendientes. Para pasar del riego superficial al riego por aspersión y por goteo significa un enorme cambio tecnológico.

Los parámetros de operación utilizados para describir que tan bien opera un sistema de riego son: eficiencia de conducción, eficiencia de aplicación, eficiencia de uso de agua de riego, uniformidad de distribución y eficiencia de almacenamiento (Calvache, 1998).

La eficiencia de conducción de un canal de riego puede estimarse si se conoce la cantidad de agua recibida a la entrada de un canal (Q_i), comparada con el agua recibida a la salida del canal (Q_f), multiplicado por 100.(Calvache, 1998).

$$E_c = (Q_f/Q_i) \times 100 \quad [3.1]$$

La eficiencia de aplicación (E_a) es la relación de la lámina promedio aplicada realmente almacenada en la zona radicular y la lámina promedio de agua aplicada, multiplicada por 100. Se expresa comúnmente en porcentaje:

$$E_a = (\text{Agua almacenada}/\text{Agua aplicada}) \times 100 \quad [3.2]$$

Para calcular la cantidad de agua almacenada se puede utilizar cualquier método de medida de la humedad del suelo como los tensiómetros, sonda de neutrones, gravimetría, resistencia eléctrica, etc. (Calvache, 1998, Calvache, 2004).

La eficiencia de uso de agua (Eua) es la relación de la evapotranspiración sobre la lámina de agua aplicada, multiplicado por 100 (Calvache y Reichardt 1997).

$$Eua = \left(\frac{\text{Evapotranspiración}}{\text{Agua aplicada}} \right) \times 100 \quad [3.3]$$

Para calcular la Evapotranspiración real del cultivo se puede utilizar el método del balance hídrico (Calvache, 1998, Calvache y Reichardt, 1996) o el método climatológico utilizando el Lisímetro MC y el coeficiente de cultivo (Kc) para cada etapa fisiológica del cultivo (Calvache, 1997).

La uniformidad de distribución (UD), describe la relación entre la lámina de agua infiltrada en la cuarta parte del campo que recibe las menores cantidades de agua y el promedio de la lámina aplicada en forma de ecuación.

$$UD = \left(\frac{\text{Lámina promedio infiltrada en el cuarto inferior}}{\text{Lámina promedio infiltrada}} \right) \times 100 \quad [3.4]$$

En el riego por aspersión la lámina infiltrada puede reemplazarse por la lámina aplicada:

El coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), que relaciona la variabilidad espacial de la lámina de riego distribuida en todo el campo. Para ello es necesario calcular el coeficiente de variación (Cv) de todas las mediciones

$$CUC= 100 \times Cv(\%). \quad [3.5]$$

Esta fórmula puede ser también utilizada en el riego por superficie, donde la lámina aplicada es reemplazada por la lámina infiltrada.

Los parámetros de eficiencia y uniformidad ayudan a cuantificar la uniformidad y el grado en que el riego es adecuado, de manera tal que el funcionamiento del sistema pueda ser evaluado, mejorado y mantenido.

En el Ecuador se han realizado algunos estudios que determinaron la eficiencia de conducción en sistemas de riego en suelos de ladera con pendientes que varían del 10 al 20%, obteniéndose como resultados eficiencias de 70 a 90% en canales revestidos, 95 a 100 % en tuberías y 30 a 60% en canales no revestidos (Calderón y Calvache, 2006; Pacheco y Calvache, 2006; Coello y Calvache, 2006; Gonzales y Calvache, 2006; Fernández y Calvache, 2006; Lizano y Calvache, 2007).

Cisneros (2002) determinó en suelos de ladera de la zona del austro, que las velocidades de infiltración permitidas para los aspersores eran menores que las reportadas en la literatura, por lo que recomienda utilizar aspersores de

baja pluviosidad. Cisneros (2004), también evaluaron el efecto que tiene el soporte técnico en el manejo de los sistemas de riego por aspersión en zonas de montaña. Los valores de coeficientes de uniformidad variaron entre 60 y 90%, los cuales disminuían conforme se incrementaba la pendiente del terreno. Sin embargo estos valores aumentaron notablemente cuando los agricultores participaron en la investigación y fueron capacitados. Coeficientes de uniformidad de 44% antes de la capacitación, aumentaron al 90% después de la capacitación en una misma área. La Eficiencia de aplicación aumentó de 44% cuando el agricultor no fue entrenado a 94% después de que el agricultor fue capacitado, reduciéndose las pérdidas por escorrentía superficial a valores menores al 8%.

Uso actual del suelo

El uso actual permite detallar las actividades rurales que se desarrollan en un área determinada, y el grado social que se establece entre cada una de las actividades (Pacheco, 2005). El uso actual del suelo se lo puede representar en un mapa que contenga información de los cultivos o especies existentes en una zona y tiempo determinado, previa realización de un reconocimiento en campo por medio de un Censo o por Fotointerpretación, siendo el segundo más usado por su análisis económico (Calderón, 2005).

Sectorización del uso de la tierra

Según Calderón (2005), existen tres tipos de categorías de sectorización, estas son:

Categoría Agrícola: son las propiedades cuyos terrenos son utilizados en su mayoría para las actividades agrícolas. Los modelos de usos del suelo han sido concebidos para demostrar la influencia tanto de rasgos naturales como de factores socioeconómicos, además este uso está relacionado con el clima, y la fertilidad del suelo para poder determinar los tipos de cultivos que va a utilizar el agricultor.

Categoría Ornamental: son las propiedades cuyos terrenos son utilizados en su mayoría para actividades ornamentales, deportivas y otras no agrícolas.

Categoría Residencial.- son las propiedades cuyos terrenos son utilizados en su mayoría para uso de vivienda.

Dotación de Agua para riego

El cálculo de dotación de agua es un proceso que todavía no tiene aplicación práctica, los campesinos riegan de acuerdo a la experiencia adquirida de sus generaciones pasadas y de acuerdo a la disponibilidad de agua en la zona (Lagos, 2005).

Un análisis del sistema de riego deja en claro que los riegos no están bien equilibrados, debiéndose indicar cuándo y cuánto más o menos regar con relación a la cantidad de agua requerida por cada cultivo.

La cantidad de agua expresada en milímetros, que debe ser aplicada depende del sistema de turnos, es decir del intervalo de dos riegos sucesivos, que generalmente se realiza cada ocho días.

Criterios para establecer la distribución de agua

Según Lizano (2005), se debe determinar bajo qué aspectos medir los caudales y la frecuencia de riego, algunos de estos criterios son:

- Superficie
- Familia
- Requerimiento de los cultivos
- Caudales de agua
- Tiempo (días, horas, minutos, segundos)

Relación del tipo de cultivo y necesidades de Agua

Se requiere 500 litros de agua para producir un kilogramo de materia seca, cerca del 1% de esta cantidad de agua forma parte integral de la planta mientras que la cantidad restante se pierde y, por otra parte durante el proceso de evapotranspiración (Alvear, 2000).

La capacidad que tiene el suelo de almacenar y abastecer agua a la planta, es de gran importancia para tener éxito en la producción agrícola. Las zonas de riego y los cultivos no deberían sufrir escasez de agua, ya que se les aplicaría riego en la temporada de sequía. (Lizano, 2005).

Para evitar estos imprevistos se debería tomar en cuenta también la relación que tienen los cultivos y el agua como se detalla a continuación:

Etapas del cultivo más sensible a la escasez de agua

- Etapa Inicial: desde la siembra hasta un 10 % de cobertura del suelo.
- Etapa de Desarrollo: desde un 10 % de cobertura del suelo a un 70 %.
- Etapa a la Media del ciclo de cultivo: floración, formación del fruto.
- Etapa Final del cultivo: maduración y cosecha.

En conclusión la etapa media del ciclo de cultivo es la más vulnerable a la falta de agua, pues depende de la cantidad de agua que se adicione a la planta para obtener mayores o menores rendimientos.

La etapa menos sensible a la falta de humedad es la de final del ciclo de cultivo, la que comprende maduración y cosecha. (Lagos, 2005).

En un proyecto de riego si se manejan cultivos intercalados, es recomendable darle prioridad a aquellas parcelas que se encuentran en la etapa de floración y formación del fruto, para asegurar altos rendimientos de su cosecha.

Eficiencia de conducción

Según Calvache (1997), la eficiencia de un canal de campo puede estimarse si se conoce la cantidad de agua recibida a la entrada de un bloque, comparada con el agua que sale de un solo campo.

Para la determinación de la cantidad suficiente de agua debe conocerse la relación agua – suelo –planta – clima, y debe tenerse en cuenta el diseño del sistema de riego (Calvache, 2012).

La eficiencia de conducción puede realizarse a partir de aforamientos para determinar la magnitud de las pérdidas en el canal, ya sea en secciones de este o en todo el sistema (Vásquez, 2000).

Pérdida de agua en el sistema de riego

Las pérdidas de agua en los sistemas de conducción reducen la disponibilidad del agua para los cultivos a nivel predial, además influyen considerablemente al crear problemas de drenaje en predios locales e incrementan los requerimientos de mantenimiento a lo largo del canal (Calvache, 2012).

Prescindiendo de las pérdidas que se producen en los embalses y en las conducciones principales, en las parcelas de riego se diferencian los siguientes tipos de pérdidas:

- Pérdidas en la red de distribución: Depende del tipo de obra (cauces abiertos, revestidos o en tierra, tuberías) y de las condiciones de su manejo.
- Pérdidas en las unidades de riego: Varían principalmente en función al método de riego utilizado y la naturaleza del suelo regado.

Para el cálculo de la eficiencia de conducción en canales secundarios y terciarios se considerará los siguientes casos según el tipo de canal y el tamaño de las parcelas a las que abastece y se multiplicará por los factores detallados en la Tabla 4 y 5.

Tabla 4 Eficiencia de conducción en canales secundarios de riego

Fuente: Calderón (2005)

CASOS	FACTORES
Suministro continuo sin una modificación importante del canal.	0,9
Suministro intermitente en proyectos de 3 000 a 7 000 ha y zonas en rotación de 70 a 30 ha, con una buena administración.	0,80 - 0,85
Grandes sistemas mayores de 10 000 hectáreas y sistemas pequeños menores a 1000 ha con una comunicación problemática y una administración menos eficaz.	0.50 - 0.70

Tabla 5 Eficiencia de conducción en canales terciarios de riego

Fuente: Calderón (2005)

	CASOS	FACTORES
Bloques de 29 o más hectáreas	Sin revestir	0.80
	Revestidos en Tubería	0.90 - 0.95
Bloques de 1 a 20 hectáreas	Sin revestir	0.90 - 0.95
	Revestidos en Tubería	0.70 - 0.90

Medición de caudales

El caudal es el volumen de flujo de agua de una corriente por unidad de tiempo, $Q = V/t$ [3.6], es la principal variable que caracteriza las aguas superficiales, se expresa en $m^3 \cdot s^{-1}$ o $l \cdot s^{-1}$ (Vásquez, 2000).

La medición del caudal es esencial para determinar el agua disponible para el planeamiento del proyecto, administración general del agua y manejo a nivel predial (Calvache, 1997).

El aforo de caudales es el conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua en un nivel observado. Su objetivo es correlacionar el nivel de agua con el caudal o gasto para obtener la curva de descarga (Hernández, 2001).

Método de medición del caudal

Para identificar los puntos débiles en una medición del caudal de agua es importante cuantificar sus pérdidas desde el punto de captación hasta el lugar de riego en las parcelas (González, 2006).

Para este efecto, se realizaron varias mediciones a lo largo de la acequia, en canales secundarios y terciarios, con el micromolinete.

Micromolinete

Es un instrumento que sirve para medir el curso de agua, se gradúa haciéndolo pasar a través del agua en reposo a una velocidad dada y anotando el número de revoluciones por minuto del rodete giratorio. Cuando el micromolinete se mantiene fijo y sumergido en agua corriente a una

profundidad determinada, es posible establecer la velocidad media del agua observando las revoluciones por minuto del rodete (González, 2006).

Los micromolinetes son utilizados principalmente para medir la velocidad de flujo en canales grandes o en ríos. Las velocidades se miden en puntos específicos de la corriente, a partir de los cuales se obtiene la velocidad promedio. La sección transversal es medida y usada en combinación con la velocidad para determinar el caudal.

Según el manual de River (2011), el micromolinete consta de:

- Impulsor se utiliza para medir la velocidad del agua y consta de un sensor acoplado en el que un interruptor se abre y se cierra cuando el impulsor es girado por el flujo de agua.
- Cuatro secciones de 250 mm de tubo que juntos forman un palo de 1 m de largo.
- Tres barras verticales que por separado o en combinación, permiten que el impulsor en el lecho del río pueda elevarse a una altura fija de 250 mm, 125 mm, 75 mm, o la combinación de estos.
- Un cable de un metro de largo que se conecta a un medidor de flujo.
- Medidor de flujo es un dispositivo electrónico que cuenta señales (impulsos) de la turbina proporcional a la velocidad. El número total de recuentos por unidad de tiempo (30 segundos) se puede convertir en un valor de velocidad haciendo referencia a una tabla de calibración o el uso de una fórmula.

$$\text{Velocidad de agua} = 0,00854 C + 0,05 \quad [3.7]$$

Donde:

C = N° de vueltas /tiempo

A continuación se obtiene el caudal con la fórmula:

$$Q = V \times A \quad [3.8]$$

Donde:

Q = Caudal ($m^3 \cdot seg^{-1}$)

V = Velocidad ($m \cdot seg^{-1}$)

A = Área (m^2)

La principal ventaja del micromolinete radica en que no es necesario obstruir el cauce del canal de riego (Pacheco, 2005).

La sección del canal principal se divide en subsecciones simétricas, obteniéndose así las áreas de cada subsección, tomando en cuenta el nivel de agua en el canal; con el micromolinete y la hélice, se determina las revoluciones por 30 segundos de cada subsección, por medio de la fórmula anterior.

De esta manera se obtiene el caudal de cada subsección, y finalmente el caudal total aplicando la siguiente fórmula:

$$Q_t = q_1 + q_2 + \dots = q_n \quad [3.9]$$

Luego se procede a calcular la eficiencia de conducción en los canales terciarios, realizando aforos al inicio del canal y en el punto de entrega de cada uno de los predios.

Disponibilidad de agua

Desde el punto de vista hidrológico es la cantidad de agua que se dispone en un sistema hidrológico para abastecer la demanda de un usuario de agua. Esta cantidad puede provenir directamente de la lluvia o estar disponible en ríos, quebradas o lagunas. La demanda puede ser poblacional, agrícola, pecuaria, hidroeléctrica, etc (Vásquez, 2000).

Requerimientos hídricos

Los requerimientos de riego varían de acuerdo al uso consuntivo, la precipitación, la capacidad de almacenamiento de agua y otros factores, para cualquier periodo la diferencia entre el uso consuntivo y la precipitación efectiva se determina la lámina neta de riego que debe ser aplicada al suelo, por la precipitación que existe en nuestro país la cantidad de agua proporcionada por la lluvia varía entre 0 y 100% del uso consuntivo.

Las plantas absorben el agua desde el suelo mediante sus raíces. Ambos suelo y planta, están sometidos a los efectos de la lluvia, el sol y viento, que generan un mayor o menor grado de evaporación desde el suelo y

transpiración de las plantas. Este proceso se le conoce como evapotranspiración (Calvache, 2012).

La evapotranspiración de los cultivos es mayor en climas cálidos, ventosos, secos que en los fríos. Esto se refleja claramente con los valores de k_c que se presentan con relación a las diferentes condiciones climáticas (FAO, 2002). Según Calderón (2005), la demanda de agua por unidad de superficie se obtiene a través del requerimiento hídrico utilizando la siguiente fórmula:

$$CRW = E_{to} \times k_c \times \% \text{ \textit{área sembrada}} \quad [3.10]$$

Donde:

E_{to} = Evapotranspiración potencial (mm)

k_c = Coeficiente de cultivo

Obtenidos estos cálculos se puede determinar el tiempo de riego ideal, en función del área del predio, el caudal asignado y la cantidad de agua que hay que aplicar.

La Evaporación y Transpiración

Los cultivos necesitan agua para diferentes procesos. La transpiración es el proceso por el cual el vapor del agua se desprende del interior de las plantas a través de las hojas y del tallo y pasa a la atmósfera (Anexo 2). La transferencia de agua hacia el aire desde el terreno, de la superficie del agua o de las hojas mojadas, se llama evaporación (Fierro, 2008).

Según Cargua (2012), la evaporación del agua depende del poder evaporante en cada punto en que se produce, pero también de:

- Cantidad de agua en la superficie evaporante.
- Estado de dicha agua; es decir, de las fuerzas de retención a que puede estar sujeta.
- Características de dicha superficie, tamaño, naturaleza, entre otros.

Evapotranspiración de referencia

Anteriormente se ha utilizado la denominación de ETp, evapotranspiración potencial, determinada según el mismo método y su valor se puede considerar equivalente a la ETo. Se la denomina como la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (Sánchez, 2001).

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que usan para su crecimiento y fotosíntesis. La transpiración puede considerarse, por tanto, como el consumo de agua de la planta. Además, se debe tener en cuenta que hay pérdidas por evaporación del agua desde la superficie del suelo (Calvache, 2012).

La Evapotranspiración de un cultivo depende de muchos factores entre los principales tenemos:

- Clima
- Insolación
- Viento

- Temperatura
- Humedad Atmosférica
- Cultivo
- Tipo de planta
- Intensidad y forma de cultivo
- Edad de plantas

A continuación se describen algunos de los factores que inciden en la evapotranspiración:

Clima.- en días calurosos y despejados, los cultivos necesitan más agua que en días nublados y fríos. El clima tiene influencia sobre la duración del ciclo del cultivo así como sobre la de sus diferentes fases de desarrollo. En un clima frío, un determinado cultivo crecerá más lentamente que en un clima cálido. A parte de la luz solar y la temperatura hay otros factores climáticos que también influyen en las necesidades de agua. Dichos factores son la humedad del aire y la velocidad del viento.

Cultivo.- ciertos tipos de cultivos requieren de más agua que otros, por ejemplo el cultivo de papa necesita más agua que el chocho.

Fase y ciclo vegetativo.- los cultivos ya crecidos necesitan más agua que recién plantados. Un determinado cultivo que crece en un clima cálido y donde

predominan los cielos despejados, necesitará más agua por día que el mismo cultivo en una localidad cuyo clima es más frío y donde predominan los cielos nubosos.

Existen también, otros cultivos en los cuales su ciclo vegetativo es más permanente; son los cultivos perennes que, como por ejemplo frutales permanecen en el terreno durante años. El requerimiento hídrico para todo su ciclo vegetativo es mayor en unos cultivos que en otros (Cañar, 2006).

Para estimar correctamente la evapotranspiración se debería utilizar un método que considere la mayor cantidad de parámetros meteorológicos que inciden en el flujo de agua, en forma de vapor desde el área cultivada hacia la atmósfera (Alvear, 2000).

Muchos investigadores han propuesto varios métodos para estimar la Eto (Evapotranspiración de referencia) en base a datos climáticos (Lagos, 2005). El método de Penman ajustado es el que mejores resultados se obtiene, por el gran número de datos y el cálculo complejo se realiza utilizando programas computacionales como el CROPWAT de la FAO.

Evapotranspiración del cultivo

Cuando la evapotranspiración se produce sin ninguna restricción de agua en el suelo se conoce como evapotranspiración del cultivo (ETc) y corresponde

a la cantidad de agua que debe ser aportada al suelo estacionalmente mediante lluvia y/o riego (Calvache, 2012).

La evapotranspiración del cultivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_{tc}=E_{to} \times k_c \quad [3.11]$$

Donde:

ETc= Evapotranspiración del cultivo en mm.día-1

ETo= Evapotranspiración de referencia en mm.día-1

Kc = Coeficiente de cultivo (adimensional)

Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo Kc, describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha (Calvache, 2012).

Se define también como el cociente entre la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar y la evapotranspiración de referencia:

Este coeficiente refleja las diferencias entre el cultivo y la superficie de referencia. Como las características de un cultivo cambian con las distintas fases de crecimiento, los valores del coeficiente de cultivo describen una curva a lo largo del ciclo de cultivo cuya forma refleja los cambios en la vegetación y en la cobertura vegetal debido al crecimiento ya maduración en el ciclo del

cultivo (Belmonte *et al*, 2006). El Kc se estima para cada cultivo de acuerdo con la metodología propuesta por FAO, estableciendo 4 etapas básicas y haciendo la extrapolación de los valores intermedios.

Etapa inicial. Es un período después de siembra o transplante, en que las plantas crecen lentamente, cubriendo hasta un 10 % de la superficie. Para cultivos anuales, la ET en esta etapa corresponde exclusivamente a la evaporación directa del suelo, por lo que el valor del kc está determinado por la frecuencia de riego o lluvia. Con riego frecuente (por ejemplo, hortalizas de transplante con riego por goteo) el Kc es elevado, mientras que con riego poco frecuente (ejemplo, siembra directa con riego de presiembra profundo) el Kc es bajo (INIA, 2008).

Desarrollo: desde el 10 % de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta, hasta la emisión de la primera flor (Calvache, 2012). El Kc cambia rápidamente, hasta alcanzar el valor máximo. Se estiman los Kc por interpolación entre los Kc de las etapas anterior y posterior.

Etapa media: entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70- 80 % de cobertura máxima de cada cultivo y Kc (Calvache, 2012).

Etapa Final. Etapa de maduración y decadencia. En esta etapa el K_c vuelve a bajar. En la Figura 1 se observa la curva generalizada del coeficiente de cultivo de acuerdo a cada fase de desarrollo; la misma indica los cambios que se producen en el desarrollo de la plantación y el nivel de cobertura del suelo durante la fase de desarrollo y maduración, las que afectan el cociente entre ET_c y ET_o . A partir de esta curva se puede tabular el valor del coeficiente K_c y el valor de ET_c , en cualquiera de las cuatro fases. (Figura 3).

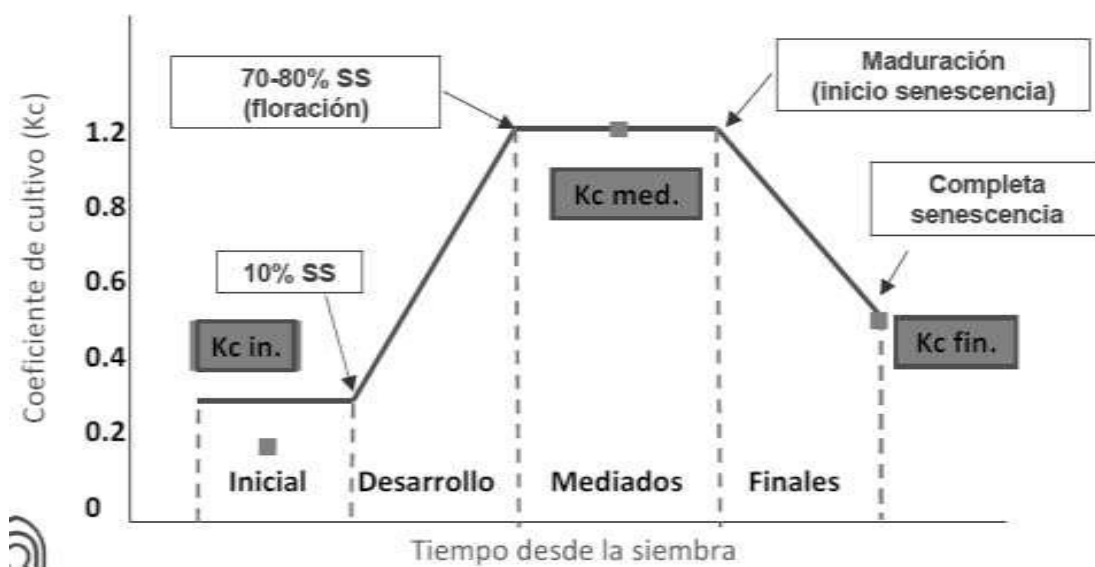


Figura 3 Curva generalizada del coeficiente de cultivo K_c .

Fuente Alcobendas (2005)

Según Cargua (2012), los valores máximos de K_c se alcanzan en la floración manteniéndose durante la fase media, finalmente decrece durante la fase de maduración; entonces, el K_c depende del clima, tipo de cultivo y del estado de

desarrollo del mismo, representado en la absorción de la luz, la impedancia de su follaje, su fisiología y el nivel de humedad de su superficie.

El uso de coeficiente de cultivo para establecer la planificación y programación de riego es de suma importancia, nos permite utilizar el recurso hídrico de manera más eficiente (Calvache, 2012).

Requerimiento de riego

Para determinar cuándo y cuánta agua se debe regar se toma en cuenta las relaciones de suelo-agua planta-clima. Mediante el estudio de los siguientes aspectos:

- Agotamiento de agua permisible en la zona de las raíces (AP)
- Frecuencia De riego (FR)
- Lámina neta (LN)
- Lámina bruta de agua necesaria en la aplicación de riego (LB)

Las plantas no pueden agotar toda el agua disponible en la zona de raíces, sin que se presente consecuencias negativas, se define cada una de ellas:

Agotamiento permisible: Cantidad de agua que las plantas pueden extraer de la zona de las raíces antes de que afecte su crecimiento. Para determinar el agotamiento permisible se deben conocer 3 aspectos (Calvache, 1997).

Capacidad de retención de agua disponible en el suelo: se lo representa como AD. Esta es la cantidad de agua entre la capacidad de campo y el punto de marchites permanente. El AD se determina en el laboratorio (Calvache, 1997). Profundidad de las raíces (P): Esta depende del nivel freático y obstáculos físicos a la penetración, por consiguiente es importante que la profundidad de las raíces sea evaluada y estimada correctamente a través del ciclo (Calvache, 1997)

Agotamiento permisible en la zona de raíces que puede ser extraída sin que se afecte.

Adversamente su crecimiento o productividad. Se lo simboliza como f (Calvache, 1997).

Frecuencia de riego (FR). Es el número de días entre dos riegos sucesivos. Para determinar FR se debe conocer: Agotamiento permisible AP, Evapotranspiración del cultivo ET_c (mm.día⁻¹): $FR = \frac{AP}{ET_c}$ [3.12] (Calvache, 1997).

A veces no es posible ceñirse a este valor calculado, por lo que se acorta o se alarga, siendo recomendable mejor acortar este tiempo para que la planta no sufra escasez de agua. La profundidad y la frecuencia del riego deben adaptarse a criterios de reconstitución de la humedad del suelo relativos a

cada cultivo, tipo de suelos y clima. Habrá que determinar cuidadosamente la programación de agua en lo que se refiere a su profundidad y al momento del riego durante todo el período vegetativo con objeto de evitar una disminución de los rendimientos de los cultivos debida a escasez de humedad en el suelo (Lizano, 2005).

Lamina neta (LN).- es la cantidad real de agua almacenada en la rizósfera directamente disponible para el cultivo. Se determina multiplicando la Frecuencia de Riego por Evapotranspiración de cultivo: $LN = FR \times ET_c$ [3.13] (Calvache, 1997).

Se deberá adicionar mayor cantidad de agua para suplir las ineficiencias del sistema de riego. La aplicación de agua a un campo nunca es uniforme ya que se pierde agua por escorrentía.

Lamina Bruta (LB).- es la cantidad total de agua aplicada a las tierras, es la relación entre lámina neta LN y la eficiencia de aplicación E_a : $LB = \frac{LN}{E_a}$ [3.14] (Calvache, 1997)

Duración Del Riego.- se determina conociendo el caudal, el área a regar y la lámina bruta.

$$t = A \times \frac{LB}{Q} \quad [3.15]$$

Donde:

t = tiempo (duración del riego)

Q = caudal (l.s-1)

A = área a regar (m²)

LB = lámina bruta (mm)

La regularidad y adecuada programación en el tiempo de los riego son tan importantes como el volumen estacional total de agua aplicado en el campo. Aunque el agua sea aplicada correctamente, un riego demasiado frecuente reducirá la eficiencia de aplicación del mismo, al aumentarse principalmente las pérdidas de conducción y distribución. El riego demorado, especialmente en los períodos en los que la planta es muy sensible a la tensión de humedad del suelo, pueden tener grandes efectos negativos sobre los rendimientos del cultivo, aunque el volumen total de agua aplicada durante todo el período vegetativo sea aproximadamente el mismo.

Balance hídrico

El Índice de Balance Hídrico (IBH) es un indicador del desarrollo del cultivo basado en la disponibilidad de agua durante el periodo de crecimiento. Estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación han mostrado que el IBH se puede relacionar con la producción utilizando una función lineal. El IBH para una temporada de cultivo está

basado en el abastecimiento y demanda de agua que el cultivo tiene durante el periodo (Aguilar *et al.* 2006).

El IBH se calcula como la relación entre la Evapotranspiración actual (ET_c) y el requerimiento hídrico (RH) del cultivo para la temporada:

$$IBH = \frac{ET_c}{RH} \quad [3.16]$$

Donde:

ET_c= Evapotranspiración del cultivo

RH = Requerimiento hídrico

El requerimiento hídrico del cultivo RH, en cualquier etapa dentro del periodo de crecimiento es calculado al multiplicar la evapotranspiración inicial con un coeficiente (K_c) obtenido de la FAO para cada cultivo y de esta forma hacer el ajuste a la etapa de crecimiento. El valor de ET_c, representa la cantidad real de agua extraída de la reserva del suelo. Siempre y cuando el contenido de agua en el suelo esté por encima del nivel de reducción máximo permitido.

Cropwat

Según La FAO (2012), el Cropwat es un instrumento de apoyo para los agrometeorólogos, agrónomos e ingenieros de riego, para el cálculo estándar en los estudios de la evapotranspiración y consumo de agua de los cultivos, y más específicamente para elaborar y gestionar sistemas de irrigación. Fue desarrollado por la División de Desarrollo de Tierra y Agua de la FAO.

Sus funciones principales son:

- Calcula la evapotranspiración de referencia
- Ayuda en la elaboración de recomendaciones para llevar a cabo mejores prácticas de riego
- Planifica los calendarios de riego en diversas condiciones del suministro de agua, para evaluar la producción en sistemas de secano o con escasa irrigación.
- El programa usa un sistema de archivos y gráficos con base en datos climáticos y de cultivo. Para el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo, requiere de datos de evapotranspiración (ET_o).

Permite también al usuario ingresar valores de ET_o, o ingresar datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, lo cual permite al programa calcular la ET_o aplicando la ecuación de Penman-Monteith.

según Sevillano (2005), los tipos de archivos manejados por el programa

Cropwat son:

- Archivos de datos climáticos
- Datos de lluvia
- Patrón de cultivo
- Archivos de suelo
- SNR escenarios de riego; IRR riegos; ADJ ajustes del usuario
- TXT archivos de texto con resultado para imprimir

Datos Climáticos

- País
- Estación
- Altitud
- Mes
- Precipitación
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Humedad relativa del aire
- Velocidad del viento
- Insolación y radiación solar

Los datos de análisis climáticos registrados en los diferentes periodos de cultivo, indispensables para la utilización del programa Cropwat se describe a continuación:

Precipitación

El agua que cae sobre la superficie del terreno, es interceptada por la vegetación (intercepción foliar), parte se infiltra y se incorpora a la capa radical, otra se percola debajo de las raíces de cultivo y la última se escurre sobre la superficie del terreno (Sevillano, 2005). En el Ecuador se conocen que las lluvias varían en su intensidad y en su duración, en su periodicidad así

como en el tamaño; densidad y fuerza de su caída. Sin embargo no existe prácticamente información disponible que describa tales características.

Datos del Suelo

- Textura del suelo
- Capacidad de Campo
- Punto de Marchitez Permanente
- Densidad Aparente
- Velocidad de infiltración

Textura del suelo

La textura según Calvache, (1993) se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla del suelo. La clasificación de estas partículas se hace de acuerdo a su tamaño. La arena constituye partículas con diámetro de 0.05-2 mm, el limo de 0.05-0.002 mm y la arcilla menos de 0.002 mm.

La textura es una importante propiedad del suelo, ya que afecta la cantidad de área superficial expuesta por el suelo y la cantidad y tamaño de poros. Al disminuir el tamaño de las partículas, aumenta el total del área superficial disponible para la absorción de agua y nutrientes, así como la cantidad y tamaño de poros que determinan la cantidad y velocidad del aire y de agua en el suelo (García, 2009).

Densidad aparente

Calvache, (1993) manifiesta que la densidad aparente o global expresa la relación entre la masa del suelo seca (105 °C por 24 horas) y el volumen total, incluyendo el espacio poroso. En suelos arenosos la D_a puede ser tan alta como 1,6 g/cm³, en suelos francos alrededor de 1,2 g/cm³, y en suelos arcillosos cerca de 1 g/cm³. En suelos de origen volcánico y en suelos orgánicos los valores pueden ser de 0,8 y 0,3 g/cm³, respectivamente.

Profundidad de suelo

Calvache, (1993) afirma que la profundidad efectiva del suelo que puede ser explorada por las raíces de las plantas es un criterio importante en la selección de tierras para riego. Los suelos superficiales requieren de riegos frecuentes para que los cultivos se desarrollen.

Capacidad de campo

Es un concepto muy útil para realizar cálculos prácticos de las cantidades aprovechables de agua. Es el nivel de humedad que el suelo retiene contra la gravedad, se consigue dejando drenar el agua del suelo saturado (Calvache, 2012).

Este nivel de humedad es la mayor cantidad de agua que queda retenida en los poros, es decir, que el suelo puede llegar a almacenar sin drenar. Se

expresa en porcentaje de volumen de agua existente con respecto al volumen del suelo (%), o en cm^3 de agua por cm^3 de suelo (Calvache, 2012).

En un suelo bien drenado, por lo general se llega a este punto, aproximadamente 48 horas después del riego, en suelos arcillosos, 24 horas en suelos francos y 12 horas en suelos arenosos (Calvache, 2012).

Punto de Marchitez Permanente

Se conoce como tal al porcentaje o nivel de humedad del suelo al cual las plantas se marchitan en forma permanente (Calvache, 2012).

Si el suelo no recibe nuevos aportes de agua, la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a un nivel en el que las raíces ya no puedan extraer agua del suelo (Calvache, 2012).

No es un valor constante para el suelo dado, sino que varía con el tipo de cultivo. Se recomienda que el punto de marchitez permanente de un suelo coincide con el contenido de humedad correspondiente a una tensión de 15 atmósferas, para la mayoría de los cultivos y suelos arcillosos o 10 atmósferas para los cultivos en suelo arenosos (Calvache, 2012).

Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración nos da la capacidad del suelo de absorber agua. Al principio (cuando el suelo está más seco) la velocidad de penetración en el suelo es más rápida pero si seguimos aportando agua, llega un momento en que esta velocidad es más o menos constante (García, 2009).

Programación de riegos por medio del balance hídrico

Los métodos más ampliamente utilizados para la programación de riegos son los basados en establecer el balance hídrico de la unidad de cultivo que se desea regar Olalla *et al.* (2005).

Según Olalla *et al.* (2005), este método considera la zona enraizada como un depósito de agua donde se almacena el agua de riego y lluvia para ser consumida por el cultivo. Se cuantifican todos los aportes y todas las salidas de la zona radicular, de manera que siempre es posible conocer el agua que queda en el suelo a disposición del cultivo y por tanto el riego que ha de aplicarse cuando la humedad del suelo baja por debajo de un cierto nivel. Con frecuencia la aplicación de este método implica hacer estimaciones de los componentes del balance de agua y resulta muy conveniente poder validar dichas predicciones realizando medidas cuando sea posible.

Calendario de riegos

Además de las necesidades de agua de los cultivos hay otras cantidades adicionales de agua que son necesarias para compensar las pérdidas por las condiciones en que se desarrolla el cultivo (Calvache, 2012).

Estas pérdidas se producen por:

- Percolación profunda de las zonas de raíces
- Uniformidad de la distribución del agua en la parcela de riego
- Requerimientos de lavado de sales del suelo

Según Calvache (2012), todas las pérdidas de agua se cuantifican en un término denominado eficiencia de riego (E_r), el cual es el resultado del producto de las eficiencias ocasionadas en la conducción (E_c), en la distribución (E_d) y en la aplicación del agua (E_a). Las necesidades totales del proyecto vienen dadas, entonces, por la relación:

3.3. Diseño de un sistema de riego por gravedad



Figura 4 Riego por superficie o gravedad

Fuente: elriego.com

Maíz

Las raíces de la planta son fasciculadas y robustas y su misión, además de aportar alimento a la planta, es un perfecto anclaje de la misma. El tallo es erguido, tiene aspecto de caña, con los entrenudos rellenos de una médula esponjosa, sin ramificaciones y de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura.

Clima: El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C. En climas húmedos su rendimiento es más bajo.

Suelos: Se requiere de un suelo húmedo, bien aireado y bastante fino.

Manejo de luz: Necesita bastante luminosidad.

Riego: El maíz es un cultivo de regadío, exigente en agua. Las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo y cuando la planta comienza a nacer se requiere menos cantidad de agua. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere.

Período Vegetativo: El maíz es una especie de gramínea anual.

Siembra: Antes de efectuar la siembra se seleccionan aquellas semillas resistentes a enfermedades, y plagas. El maíz se puede sembrar durante septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Cosecha: El proceso de secado se inicia en el campo después de la madurez fisiológica. Se deja el maíz en el campo adherido a las plantas por un tiempo variable, durante el cual el grano se seca en forma gradual.

El riego por superficie o gravedad es el más antiguo utilizado por el hombre. Se trata de sistemas de riego muy conocidos, en donde el agua fluye por su propio peso y se distribuye en la superficie cultivada, sin embargo este método puede producir pérdidas de nutrientes por lavado y arrastre, al no poder controlarse perfectamente las dosis de agua.

Al distribuirse en el suelo agrícola, vemos la necesidad de que este se encuentre bien preparado y nivelado, para que el movimiento del agua no tenga obstáculos y pueda ser regular.

En este sistema, el agua se mueve en favor de la pendiente impulsada por la diferencia de nivel existente en el terreno; el caudal de riego va disminuyendo a lo largo del recorrido debido a la infiltración del agua en el suelo.

El agua puede llegar hasta la parcela por medio de cualquier sistema de distribución, por una red de canales o por tuberías, normalmente a baja presión.

Los sistemas de riego por gravedad se caracterizan por el manejo del agua en base a las diferencias de carga hidráulica y su conveniente conducción. Es el método de riego menos costoso en instalación y mantenimiento, y una vez que el agua llega a la parcela no existe costo en la aplicación del agua. Es el sistema de riego que utiliza el agua de forma menos eficiente, aun cuando se realice un adecuado diseño y manejo del riego.

3.4. Diseño de un sistema de riego por goteo



Figura 5 Riego por goteo

Fuente: elriego.com

La aparición de este sistema cambió el concepto general de riego y se dice actualmente que el riego es la aplicación artificial de agua a la zona radicular de los cultivos de forma que esta pueda ser utilizada al máximo.

Este método de riego se caracteriza porque utiliza pequeños caudales a baja presión, no moja la totalidad del suelo, el agua se aplica con alta frecuencia.

Al no mojar la superficie del suelo, existe reducción de la evaporación, la distribución del sistema radical es distinta. La alta frecuencia de aplicación del agua trae consigo importantes resultados en el rendimiento de los cultivos, ya que al estar siempre el suelo a la capacidad de campo o muy próximo a ella, las plantas absorben con mucha facilidad.

Es un método que nos permite aplicar pequeños y frecuentes volúmenes de agua en lugares determinados del cultivo de tal forma que la infiltración se produzca sobre un área pequeña de la superficie cultivada.

Al no depender de las condiciones edáficas ni climáticas, ya que el agua va siempre entubada hasta su aplicación en el terreno se tiene una buena eficiencia de riego.

El agua es un recurso cada vez más escaso y es por eso que en todas partes del mundo se hacen grandes esfuerzos para perfeccionar las técnicas de riego que permitan economizar al máximo este recurso.

Se dice que riego por goteo es el riego de poco caudal que tiene por objetivo dar gota a gota la cantidad de agua exacta que ha perdido la planta, se dice también que es un sistema de humedecimiento limitado del suelo, en el cual se aplica el agua únicamente a una parte del volumen del suelo ocupado por el cultivo.

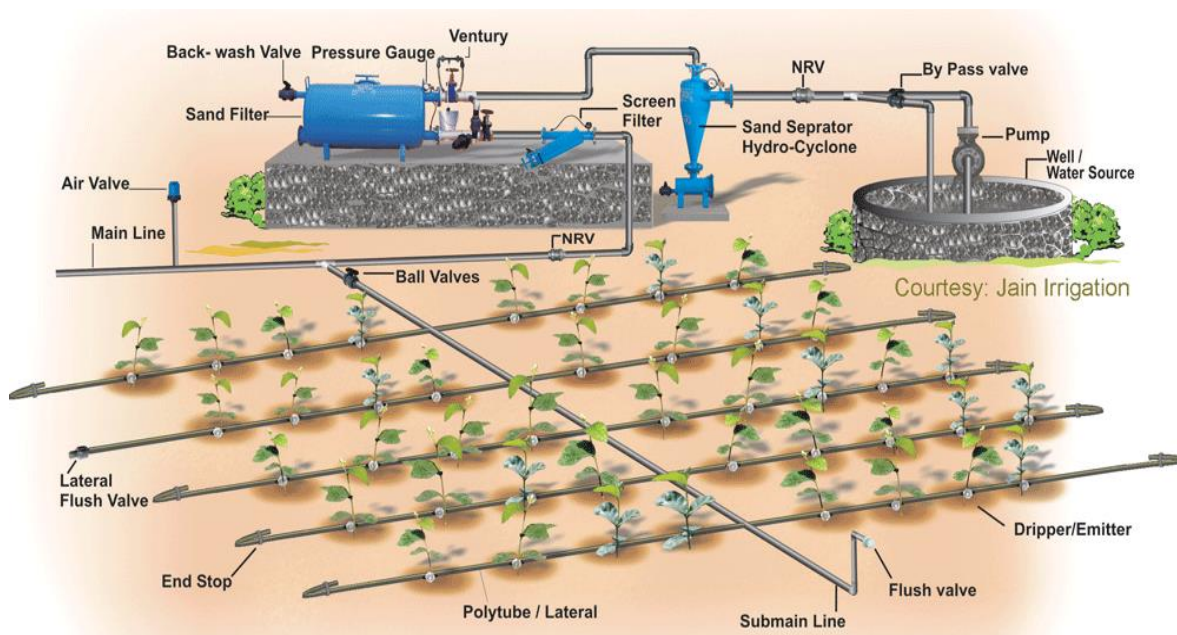


Figura 6 Componentes de un Sistema de Riego por Goteo

Fuente: elriego.com

El sistema de riego por goteo ha tenido a lo largo de los años una serie de mejoras en lo que respecta a goteros:

- Goteros autocompensantes: son los más caros, se utilizan cuando el tubo va a cuesta ya que controla ciertos márgenes de presión
- Goteros y filtros autolimpiables: los emisores contienen filtros que limpian impurezas y obstrucciones de manera automática y periódica.
- Goteros regulables: se regula el caudal del agua con un tablero mecanizado.

Los componentes que este sistema de riego posee para un funcionamiento adecuado es el siguiente.

- La bomba y la unidad de energía.
- La fuente de agua.
- La bomba y la unidad de energía.
- El sistema de filtración.
- El sistema de inyección de químicos.
- El sistema de controles.
- El sistema de distribución de agua.
- Los goteros o emisores.
- Llave de paso
- Tapón
- Válvula de seguridad
- Válvula de drenaje
- Unión, Codos doble unión

Las tuberías utilizadas son tuberías PVC que tienen diámetros que van desde 8 mm hasta 90 mm. Estas tuberías se conectan de diferente forma o de uso, que pueden formar parte de una línea de conducción, que puede ser principal, o también puede tener conectadas a ellas emisores de cabeza, es ahí cuando el nombre cambia a líneas laterales.

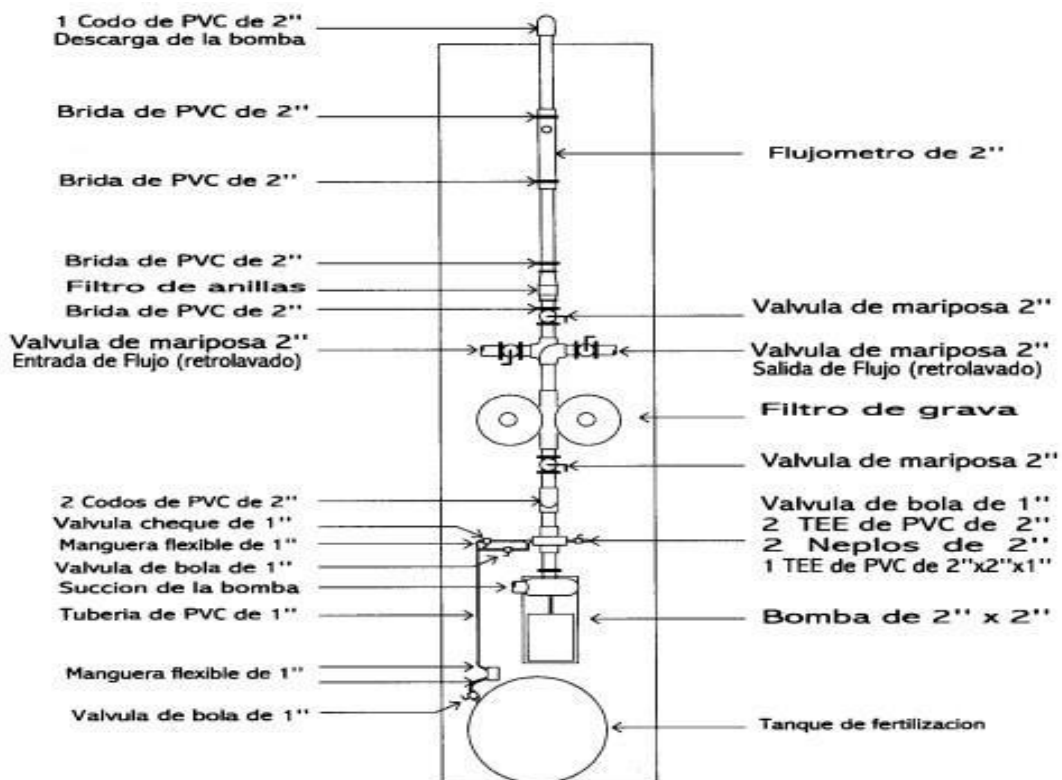


Figura 7 Sistema de Riego por Goteo

Fuente: (Ruíz, 2001)

El proceso de diseño se divide en dos fases, diseño agronómico y diseño hidráulico.

En el diseño agronómico es donde determinamos la cantidad de agua que la instalación tiene que conducir con capacidad para el mes de máximas necesidades, y en el diseño hidráulico donde se calculan las dimensiones y ubicación de conducciones y componentes para que puedan satisfacerse las necesidades agronómicas.

Por lo tanto un diseño de un sistema de riego localizado debe comprenderse de estas tres partes:

- Diseño Agronómico
- Diseño Hidráulico
- Programación de riegos. Cálculo del tiempo

Mantenimiento

Una instalación de riego localizado debe funcionar correctamente a lo largo del tiempo. El mantenimiento de una instalación se hace necesario para que la duración de los componentes que forman parte de ella sea la máxima posible y para que la uniformidad y la eficiencia del agua aplicada no disminuya con el paso del tiempo.

Un buen mantenimiento implica la puesta a punto de todos los componentes de la instalación antes del inicio de la temporada de riego, así como la revisión y evaluación de los mismos durante la campaña y cuando ésta finalice.

Uno de los principales problemas del riego localizado es la obturación de los emisores, lo que ocasiona una pérdida de uniformidad y en consecuencia un desarrollo poco homogéneo del cultivo, que se traduce finalmente en una disminución de la producción. Por esto, además de un buen mantenimiento

del sistema de riego, es muy importante prevenir las obturaciones de los emisores y de los demás elementos con secciones de paso del agua muy pequeñas, como filtros de malla y de anillas, ya que existe el peligro de que se produzcan depósitos de partículas orgánicas, minerales, sales, etc, que impidan el paso del agua.

3.5. Diseño de un sistema de riego por aspersión



Figura 8 Riego por aspersión

Fuente: Clasificaciones. (2016). *Tipos de riego*

En la provincia Los Ríos, Ecuador, el banano es uno de los cultivos de mayor importancia económica, por lo que requiere de grandes inversiones de infraestructura entre ellas la de riego; de las 637.000 ha de suelos agrícolas, 55.040 ha están sembradas con banano, las mismas que en su mayoría

poseen riego por aspersión subfoliar y en menor cantidad riego con aspersores de alta carga, los conocidos “gran cañón”. La aspersión subfoliar como técnica de regadío más adecuada al cultivo del banano es reportada por especialistas de otros países de Latinoamérica (Rodríguez et al., 2007; Guzmán Gutiérrez, 2010).

En el diseño e instalación de sistemas de riego por aspersión existe un factor que influye relevantemente en su costo y operación, este es el uso de métodos empíricos que realiza el personal de algunas casas comerciales al momento de calcular: potencia de la bomba, caudales, diámetros de tuberías, pérdidas de carga y programación de riego; sin que el productor bananero conozca que su sistema de riego podría llegar a ser subutilizado o sobreutilizado.

En el accionar diario la intervención de los ingenieros o especialistas en trabajos de cálculos y diseños de riego se muestran en menor proporción que el que se adjudica a algunas casas comerciales, cuyo proceder es empírico y sin garantías de que el trabajo solicitado esté hecho bajo parámetros científicos y técnicos que aseguren una eficiente uniformidad de distribución del agua y precautelen así un excelente funcionamiento de los sistemas de riego desde un punto de vista económico y de buen uso del agua en labor de riego.

La eficiencia del riego por aspersión no pasa sólo por una buena aplicación del agua, sino también por un correcto diseño, es decir, en la selección adecuada de sus principales componentes que incluyen las tuberías, aspersores y accesorios (Holzapfel et al., 2007). Estos autores plantean que en la elección de los aspersores no basta con considerar la velocidad de aplicación, tomando como base la velocidad de infiltración del suelo y su patrón de distribución, debido a que se omiten ciertos antecedentes como son los costos de operación e implementación, que muchas veces pueden ser una variable decisiva al momento de elegir entre varias alternativas de sistemas de riego.

Diseño Hidráulico

Diámetro de la tubería Fórmula de Bresse

Es la primera fórmula que aparece en la bibliografía hidráulica sobre el dimensionamiento económico de tuberías.

$$D = k\sqrt{Q} \quad [3.17]$$

Dónde:

D = Diámetro económico, m.

k = Coeficiente.

Q = Caudal, m³/s.

El valor del coeficiente K es consecuencia del precio de los materiales y de las máquinas empleadas en las instalaciones, variando por esto con el tiempo

y con la región considerada, este tipo de fórmulas, al no considerar los costos de operación, dan valores de diámetros relativamente grandes.

Velocidad

Para el cálculo de la velocidad se utiliza la fórmula de continuidad expresada de la siguiente forma:

$$Q = V * A \quad [3.18]$$

Dónde:

Q = Caudal, m³/s.

V = Velocidad, m/s.

A = Área de la sección transversal de la tubería, m².

Gradiente hidráulico

Es la pendiente con la que se instala a la tubería, con este valor se calcula las presiones en cada uno de los puntos del recorrido de la conducción.

Para el cálculo de la línea piezométrica en la red de distribución se utilizará la fórmula de Hazen-Williams trabaja con datos básicos de diseño como son: el caudal, coeficiente para la tubería y diámetro interior de la tubería. La fórmula se detalla a continuación:

$$Q = 0.28 * C * Di^{2.63} * J^{0.54} \quad [3.19]$$

Dónde:

Q = Caudal, m³/s.

C = Coeficiente de rugosidad, adimensional.

D_i = Diámetro interno de la tubería, m.

J = Gradiente hidráulico, m/m.

Para el cálculo de las tuberías que trabajan a presión se recomienda el uso de la fórmula de Hazen-Williams, con un coeficiente de rugosidad de 140, para tuberías de PVC.

Pérdidas de carga

En el Análisis y diseño de las instalaciones hidráulicas es necesario conocer las expresiones que relacionan el aumento o disminución de energía hidráulica (Bernoulli) que sufre el fluido al atravesar el elemento o componente con el caudal.

Es muy habitual designar a las pérdidas de energía hidráulica que sufre el fluido como pérdidas de carga, siendo éstas debidas a la fricción entre fluido y las paredes sólidas o también por la fuerte disipación de energía hidráulica que se produce cuando el flujo se ve perturbado por un cambio en su dirección, sentido o área de paso debido a la presencia de componentes tales como adaptadores, codos y curvas, válvulas u otros accesorios.

Pérdidas en conductos y pérdidas singulares

Los elementos que comúnmente forman una instalación hidráulica son las tuberías encargadas de transportar el fluido y los denominados accesorios (codos, válvulas, cambios de sección) cuya misión es bifurcar, cambiar la dirección o regular de alguna forma el flujo.

Tradicionalmente se separa el estudio de las pérdidas de carga en conductos de aquellas que se producen en los accesorios denominadas pérdidas singulares (o en ocasiones pérdidas menores). Las primeras son debidas a la fricción y cobran importancia cuando las longitudes de los conductos son considerables. Las segundas por el contrario se producen en una longitud relativamente corta en relación a la asociada con las pérdidas por fricción y se deben a que el flujo en el interior de los accesorios es tridimensional y complejo produciéndose una gran disipación de energía para que el flujo vuelva a la condición de desarrollado de nuevo aguas abajo del accesorio.

Las pérdidas de carga es la sumatoria total de las pérdidas que presenta la tubería en cada tramo, esto se da por varios parámetros entre los cuales tenemos la carga dinámica y la carga estática, dando la sumatoria de estas la carga total. La ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$hf = J * L \quad [3.20]$$

Dónde:

hf = Pérdidas de carga, m.

J = Gradiente hidráulico, m/m.

L = Longitud inclinada, m.

Líneas de energía

Gráficamente a continuación se representa la evolución de la energía existente en una determinada conducción. La ecuación de la energía permite el cálculo de la presión en cualquier punto de una conducción por la que circula un fluido.

El teorema de Bernouilli expresa la energía en forma de altura de agua, sobre un plano horizontal de referencia. Las pérdidas de carga al ser función linealmente dependiente de la longitud en un tramo donde se verifica el movimiento permanente y uniforme, todas las líneas de energía serán rectas con una determinada pendiente negativa, en sentido de circulación del agua.

La evaluación del funcionamiento hidráulico y la calidad del riego en sistemas de aspersión a partir de la influencia que puede tener la presión de operación sobre la uniformidad del riego ha sido abordado por varios autores en las más diversas condiciones edafoclimáticas y fitotécnicas (Ortíz et al., 2010; Yacoubi

et al., 2012; Faria et al., 2012; MohammadPour zarandi et al., 2012; Zhao et al., 2012; Martins et al., 2013; Tomásik y Jobbágy, 2013; Zhang Lin et al., 2013).

Aspersión subfoliar en plantaciones de banano con el aspersor más empleado en la región por las casas comerciales y para las presiones de operación que comúnmente se emplean en la mayoría de los sistemas, para ello se estudiaron los indicadores de desempeño del riego: coeficiente de uniformidad de Christiansen, uniformidad de distribución, área adecuadamente regada y eficiencia de aplicación.

El estudio de los indicadores que influyen en la calidad de aplicación del riego por aspersión en banano servirán para corregir con criterio técnico errores que se vienen cometiendo desde hace tiempo en la provisión de agua para este cultivo a causa de los métodos empíricos de diseño y operación que recomiendan muchas casas comerciales.

La naturaleza obedece a un equilibrio ecológico. Toda materia sufre constantes transformaciones, dentro de estas el reino vegetal se sitúa como un complejo dinámico de transformaciones. Las plantas, conforme sus necesidades, sufren alteraciones fisiológicas, regidas por estímulos externos,

absorben agua y nutrientes. El agua en la planta desempeña la función más importante: ella participa en todas las reacciones químicas, sirve de sustrato para la conducción de los elementos nutritivos, en la respiración, se relaciona con el periodo de crecimiento y del volumen de materia producido. No obstante, su volumen no es constante dentro de las plantas, y es variable en el ciclo vegetativo de los diferentes cultivos.

Todo diseño depende del sistema con respecto al tipo del cultivo, las características del suelo y los factores climáticos, asimismo como la capacitación del operador del sistema de riego. El cultivo de banano en general se adapta bien con precipitaciones 2000 mm/año. Los suelos deben tener un PH de 6.5; pudiendo tolerar un PH de 5.5 hasta 7.5, y se desarrolla mejor en suelos franco arenosos, franco arcillosos, franco arcillo limosos y franco limosos; además deben poseer un buen sistema de drenaje. El clima ideal es el tropical húmedo; la temperatura oscila entre 18.5 a 35.5.

Se tienen varios indicadores que deben ser evaluados:

- Caudal descargado por los aspersores.
- Diferencia de presión entre el primer y último aspersor de cada módulo.
- Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).
- Coeficiente de Uniformidad de Distribución (UD).

- Área regada adecuadamente (ARA).

Estos indicadores de desempeño hidráulico del riego se pueden determinar por el modelo matemático propuesto (Silva et al., 2004) utilizando la rutina Solver que se activa en la hoja de cálculo Microsoft Excel, que permite representar distintos perfiles de distribución de agua utilizando un mayor número de parámetros de ajustes.

Un aspersor funciona mejor cuando la presión disponible está dentro de los límites especificados por el fabricante” (Santos Pereira et al., 2010).

Este método se aplica a áreas que no pueden ser regadas con métodos tradicionales, ya que por estar en niveles más elevados que la fuente de agua, con pendientes altas o por ser parcelas con un relieve muy irregular. Es una alternativa válida para ser empleado en la sierra de nuestro país donde se puede aprovechar las diferencias de altura entre la fuente de agua y el terreno a regar para utilizarle como fuente de energía.

Componentes del sistema

Un sistema de riego por aspersión debe disponer de los siguientes componentes básicos.

Fuente de agua

Se requiere de un caudal continuo que puede provenir de una fuente superficial o subterránea y de la que se debe tener en cuenta, la ubicación, la calidad del agua y el caudal. En cuanto a la ubicación; los factores que influirán en el diseño son: el desnivel, la distancia y los accidentes topográficos entre la fuente de agua y el terreno a regar. En la cantidad de agua se deberá conocer sobre el contenido de sedimentos, materia orgánica y sales.

Fuente de energía

Ya que se necesita presión para su funcionamiento se debe pensar en la utilización de bombas y motores o en el aprovechamiento del desnivel que puede haber entre la fuente y el terreno. Por gravedad, si la superficie a regar está en una cota inferior a la captación y por bombeo, cuando se utiliza agua de pozo o para regar terrenos que se encuentran a la misma altura o en una cota superior a la fuente de captación.

Sistemas de distribución del agua

Desde la unidad de bombeo se conectan las tuberías matrices o principales, que pueden ser metálicas, o plásticas. La unión de los tubos puede ser de tipo cierre hidráulico, en que el hermetismo se consigue a través de un anillo de caucho, o bien, con un tipo de cierre denominado mecánico, donde las uniones se aseguran con un cerrojo o palanca.

Aspersores y Accesorios

Los aspersores son aparatos diseñados para distribuir el agua de riego sobre el suelo en forma de lluvia; son tubos por donde sale el agua y están provistos de un mecanismo que les confieren movimiento.

Diseño hidráulico de la red de distribución del sistema de riego

Cálculo de los requerimientos de riego

Se parte de analizar los parámetros agronómicos e hidráulicos del sistema, se debe realizar el diseño de la red de distribución del sistema de riego por aspersión. El diseño técnico debe garantizar el suministro de agua en toda el área de las parcelas, asegurando un óptimo funcionamiento del sistema.

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Para determinar la evapotranspiración de referencia, se han establecido programas informáticos como el CROPWAT que utiliza la ecuación FAO Penman-Monteith, para la aplicación de esta ecuación, se requiere información de datos climáticos a través de los promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas, de humedad relativa media, de velocidad de viento, de horas de insolación, de datos de radiación así como de precipitación.

Para aplicar el programa CROPWAT se debe especificar datos de la estación elegida como son: la altura sobre el nivel del mar (m) de la zona para la que

se determina la ETo y su latitud (grados norte o sur). Estos datos son necesarios para ajustar algunos parámetros climáticos al valor medio local de la presión atmosférica.

Radiación solar

El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua.

La radiación neta diaria (promedio) está expresada en Mega joules por metro cuadrado por día ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). Estos datos no están disponibles comúnmente en forma directa pero pueden derivarse de la radiación de onda corta (promedio) medida con un piranómetro o de la duración real diaria (promedio) del sol brillante (horas por día) medida con el heliógrafo.

Precipitación efectiva (Pe)

La precipitación efectiva es una estimación de la necesidad de agua para el riego, es una fracción de la precipitación total, la misma que es aprovechada por las plantas en toda su etapa de crecimiento.

La precipitación efectiva se calculó automáticamente con la ayuda del programa CROPWAT, en el cual se introducen los datos de precipitación de cada mes, iniciando desde el mes de enero.

Balance hídrico

La cantidad de agua adicional a la precipitación efectiva para satisfacer los requerimientos de la evapotranspiración, es la cantidad de agua que debemos suministrarla mediante el riego y se denomina demanda de riego.

El balance hídrico o también conocido como demanda neta de agua de los cultivos (L_n), está definido por la evapotranspiración del cultivo (ET_c) menos los aportes naturales de agua al suelo (precipitación efectiva P_e), es decir.

$$L_n = ET_c - P_e \quad [3.21]$$

Dónde:

L_n = Demanda neta de agua de los cultivos, en mm/día.

ET_c = Evapotranspiración del cultivo, en mm/día.

P_e = Precipitación efectiva, en mm/día.

Para calcular la demanda neta de agua de los cultivos, se señalan a continuación algunos valores orientativos dados por la FAO, como son: duración del ciclo vegetativo y coeficiente de cultivo. Una vez obtenidos los valores de coeficiente de cultivo se multiplica por la evapotranspiración de referencia ET_o y se obtiene la evapotranspiración del cultivo ET_c , a este valor

se resta la precipitación efectiva P_e , obteniéndose la demanda de agua de los cultivos.

Densidad aparente

Es la relación que existe entre el peso del suelo seco (P_s) y el volumen total (V_t), donde se incluyen las partículas sólidas y el espacio poroso. Las diferencias de su valor se deben a las variaciones en la composición mineral de las partículas y sobre todo al espacio poroso de acuerdo a la textura. La densidad aparente para un suelo franco arcilloso tiene un valor de 1.5 Kg/dm^3 .

Profundidad de las raíces

La profundidad del suelo explorado por las raíces depende de la especie cultivada. Los suelos profundos permiten el almacenamiento de grandes cantidades de agua, lo cual favorece al desarrollo de la planta al poder extraer cuando lo necesita.

Capacidad de campo

Es el contenido de agua que retiene un suelo en contra de la gravedad, después de haber estado saturado.

La capacidad de campo refleja la cantidad de humedad que tiene un suelo cuando se pierde el agua gravitacional. A la capacidad de campo el agua

queda retenida en los poros capilares y en estas condiciones es absorbida por las plantas con mayor facilidad.

Punto de marchitez

Es el contenido de humedad en el que la capacidad máxima de succión de la planta es igual a la tensión con que el agua es retenida por el suelo.

Fracción de agotamiento

Es el porcentaje de la cantidad de agua almacenada entre la capacidad de campo y el punto de marchitez que podemos dejarle consumir al cultivo entre dos riegos consecutivos.

Suelo mojado

Es el valor que equivale al 100% de la superficie del suelo que se va a mojar.

Eficiencia de aplicación

No es posible lograr un 100% de eficiencia en la aplicación del agua y no toda el agua que penetra es retenida en la zona radicular del cultivo. Existen pérdidas inevitables ya sea por la aplicación del agua en el campo, por la percolación debajo de las raíces y por el escurrimiento superficial.

Características físicas del suelo

El procedimiento para estimar las necesidades hídricas para los cultivos que requieren una mayor demanda de agua son:

Necesidades netas (Nn)

El balance hídrico o las necesidades netas de agua para riego está definida por la evapotranspiración del cultivo (ETc) menos la precipitación efectiva (Pe).

Dosis neta (Dn)

La lámina almacenable del suelo corresponde a la parte de la lámina total de agua en la capa del suelo que exploran las raíces de los cultivos. La lámina almacenable viene dada en función de las características físicas del suelo que determinan su capacidad de almacenamiento hasta la profundidad radicular de las plantas.

El valor de este parámetro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Dn = (Cc - Pm) * da * NAP * z * P \quad [3.22]$$

Dónde:

Dn = Dosis neta, en mm.

Cc = Capacidad de campo, en %.

Pm = Punto de marchitez, en %.

da = Densidad aparente, en Kg/dm³.

NAP = Nivel de agotamiento permisible, en %

z = Profundidad del suelo, en mm.

P = Suelo mojado, en %.

Necesidades brutas (Nb)

El valor de este parámetro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N_b = \frac{N_n}{E_a} \times 100 \quad [3.23]$$

Dónde:

N_b = Necesidades brutas, en mm/día.

N_n = Necesidades netas, en mm/día.

E_a = Eficiencia de aplicación, en %

Dosis bruta (Db)

El valor de este parámetro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_b = \frac{D_n}{E_a} \times 100 \quad [3.24]$$

Dónde:

D_b = Dosis bruta, en mm.

D_n = Dosis neta, en mm.

E_a = Eficiencia de aplicación, en %

Intervalo de riego (IR)

El valor de este parámetro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IR = \frac{Db}{Nb} \times 100 \quad [3.25]$$

Dónde:

IR = Intervalo de riego, en días.

Db = Dosis bruta, en mm.

Nb = Necesidades brutas, en mm/día.

El valor calculado para el intervalo de riego se ajusta a un número entero. En el proyecto se pretende dotar de agua, de modo que el intervalo entre riegos sea de 7 días con el fin de ajustar mejor los turnos.

Dosis bruta ajustada (Db_a)

Se calcula mediante la aplicación de la siguiente expresión.

$$Db_a = Nb * IR_a \quad [3.26]$$

Dónde:

Db_a = Dosis bruta ajustada, en mm.

Nb = Necesidades brutas, en mm/día.

IR_a = Intervalo de riego ajustado, en días.

Al variar el intervalo entre riegos por el ajuste a número entero y por el ajuste al número de turnos, es necesario recalculer la dosis neta de agua que se deberá aplicar en cada riego.

Estudio agrohidrológico

Operación del sistema de riego Selección del aspersor

El aspersor es el componente del sistema que aplica el agua al suelo. El tamaño del área mojada de un aspersor es función de la presión de trabajo del mismo, del tipo de aspersor y diámetro de las boquillas.

La selección del aspersor se realizó en función de la presión de trabajo y del espaciamiento que debe existir entre los aspersores y los laterales.

Separación entre aspersores y laterales (S_a , S_l)

La separación entre aspersores y laterales se asume en función de obtener una distribución uniforme. El viento modifica el comportamiento del regado, además la separación de los aspersores no debe ser mayor que la de los laterales. Para lograr una mayor uniformidad de aplicación del agua por los aspersores, es necesario que exista un traslape de las superficies regadas. La separación de los laterales y aspersores se puede determinar a través de las siguientes ecuaciones.

$$S_a = K_a * D_m \quad [3.27]$$

$$S_l = K_l * D_m$$

Dónde:

S_a = Separación entre aspersores, en m.

S_l = Separación entre laterales, en m.

Ka, Kl = Valores en función del viento.

Dm = Diámetro mojado, en m.

Intensidad pluviométrica (I_p)

La intensidad de aplicación del aspersor deberá ser menor a la infiltración básica del suelo, esto con el fin de evitar el escurrimiento o encharcamiento del agua de riego sobre la superficie de terreno.

La intensidad pluviométrica se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$I_p = (qa/Sa) * Sl * 1000 \quad [3.28]$$

Dónde:

I_p = Intensidad pluviométrica, en mm/h.

qa = Caudal del aspersor, en m³/h.

Sa = Separación entre aspersores, en m.

Sl = Separación entre laterales, en m.

Tiempo de riego (Tr)

Se refiere al tiempo que debe permanecer cada lateral regando en su posición, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Tr = Dba/I_p \quad [3.29]$$

Dónde:

Tr = Tiempo de riego, en horas.

Dba = Dosis bruta ajustada, en mm.

I_p = Intensidad pluviométrica, en mm/h.

Caudal de trabajo (Qo)

Es necesario calcular el caudal de trabajo, el mismo que se obtiene a partir de la aplicación de la dosis bruta ajustada sobre la superficie a regar referida a la unidad de tiempo. El tiempo de operación surge del número de horas diarias del trabajo efectivo.

El caudal de trabajo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_o = A * (Dba/IRa) * T_o \quad [3.30]$$

Dónde:

Q_o = Caudal de trabajo, en m³/h.

A = Superficie a regar, en m².

Dba = Dosis bruta ajustada, en mm.

IRa = Intervalo de riego ajustado, en días.

T_o = Tiempo de operación, en horas/día.

Cantidad de aspersores

El número de aspersores que operan simultáneamente durante el tiempo de riego se calculan mediante la siguiente expresión:

$$No \text{ de aspersores} = Q_o/q_a \quad [3.31]$$

Dónde:

Q_o = Caudal de trabajo, en m³/h.

q_a = Caudal del aspersor, en m³/h.

Número de cambio (posiciones)

El número de posiciones se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$No\ de\ posiciones = T_o / T_r \quad [3.32]$$

Dónde:

No de posiciones = Posición/día.

T_o = Tiempo de operación, en horas/día.

T_r = Tiempo de riego, en horas/posición.

Diseño del equipo de riego

Cálculo del caudal para la distribución del sistema de riego

Sectorización del área de riego

Para estimar el área de cada sector regado por día se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_s = A_a * No\ aspersor * No\ posiciones \quad [3.33]$$

Dónde:

A_s = Área por sector, m²/día.

A_a = Área cubierta por el aspersor, m².

No aspersor = En unidad/Posición.

No de posiciones = Posición/día.

Cálculo y diseño de la red de distribución para la mejor alternativa

Cálculo hidráulico de la conducción

El diseño hidráulico de la red de conducción y distribución de un sistema de riego constituye una etapa esencial en la elaboración de un proyecto de tecnificación de riego. El diseño hidráulico consiste en determinar los diámetros y longitudes de la tubería de conducción, para que el agua se distribuya en los diferentes puntos de la red con los caudales y cargas de presión diseñadas en cada proyecto.

En el diseño hidráulico de la red de conducción y distribución la selección del diámetro de la red de distribución considera los siguientes factores: las velocidades máxima y mínima permisibles, los diámetros nominales disponibles comercialmente, el tipo de material y su resistencia.

A continuación se describe la información base para el diseño hidráulico de la conducción.

Cotas del terreno

Están dadas por el levantamiento topográfico, dato que nos ayuda a determinar las diferencias de niveles existentes en el terreno. Además las cotas permiten ubicar las válvulas de aire y desagüe en los puntos más altos y bajos del proyecto.

Abscisas

Longitud horizontal

Es la abscisa o distancia horizontal del proyecto cada 20m.

Longitud vertical

Es la diferencia entre la cota inicial y final del terreno en un tramo determinado.

Longitud inclinada

Es la distancia desarrollada que indica la distancia real del recorrido de la tubería.

Diámetro

El diámetro en la línea de conducción estará dado por el caudal y los desniveles existentes y para la selección del diámetro de tubería, deben analizarse las presiones disponibles y las velocidades.

Para empezar el diseño de la conducción es necesario tener una idea con que diámetro se va a iniciar el cálculo. Para ello aplicamos la fórmula de Bresse

Velocidad

Es necesario establecer un criterio que fije un valor máximo y otro mínimo para la velocidad del agua en las tuberías, ya que puede ser perjudicial tanto una velocidad demasiado alta como demasiado baja.

Velocidad mínima

La velocidad mínima será de 0.60m/s, para asegurar el arrastre de partículas sedimentables.

Velocidad máxima

Para la conducción a presión se recomienda una velocidad máxima de 4.0m/s, con el objeto de evitar la erosión o desgaste de las paredes del conducto en tubos de PVC.

Caudal de diseño

A lo largo de la conducción se transporta el caudal requerido por cada sector de riego.

Accesorios**Válvulas de control**

Uno de los objetivos principales de esta válvula es controlar el flujo de un caudal. Una válvula de flujo puede responder a ciertos cambios de presión.

Cuando la presión en un sistema se eleva hasta cierto nivel, se abrirá o cerrará una válvula de control de flujo, dependiendo de su propósito. Esto alivia o disminuye la presión en una parte del sistema para mantener el equilibrio con respecto a las otras partes.

Válvulas reductoras de presión

El perfil presenta depresiones muy pronunciadas y puede ser económico colocar válvulas reductoras de presión, que tienen por objeto romper la línea piezométrica, reducir la altura de presión y establecer un nuevo nivel estático

que dará lugar a tuberías de menor espesor. Su empleo se recomienda también cuando la calidad de la tubería, válvulas y accesorios, de la tubería de aducción no permiten soportar altas presiones, así como para mantener las presiones máximas de servicio dentro de una red de distribución.

Válvula reguladora de caudal

Las válvulas reguladoras de caudal, también llamadas válvulas limitadoras de caudal, regulan a un caudal fijo, se ajusta automáticamente un caudal constante, independientemente de la fluctuación de las presiones de trabajo y caudales de inicio, utilizan un orificio calibrado funcionando conjuntamente con una válvula piloto. La válvula abre totalmente si el consumo es inferior al caudal máximo calculado o el sistema no es capaz de suministrar el caudal requerido.

Válvula de alivio rápido

La válvula de alivio rápido de presión son válvulas de control de operación hidráulica, que alivia las presiones en el sistema. La válvula se abre instantáneamente cuando la presión en la tubería sobrepasa el nivel de seguridad, aliviando la presión excesiva de la red. Cuando la presión vuelve a su normalidad, la válvula se cierra lentamente, a una velocidad ajustable.

Válvulas de aire y desagüe

Las válvulas de aire se colocan para extraer el aire en cada punto alto de las líneas de conducción. El dimensionamiento se determina en función del caudal y presión de la tubería. Las válvulas purga se colocan en los puntos bajos de la red distribución, teniendo en consideración la cantidad de agua conducida, logrando evitar la acumulación de sedimentos.

Válvulas de seccionamiento

Estas válvulas son instaladas para aislar un tramo o una parte de la red en caso de reparaciones o ampliaciones, manteniendo el servicio es en resto del proyecto.

Cámara de válvulas

Todas las válvulas deberán contar con cámara de válvulas para fines de protección, operación y mantenimiento.

Hidrantes

Típicamente, una boca de riego es una válvula que permite la extracción de agua para riego.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede concluir lo siguiente:

1. Se habla de riego eficiente cuando el agua que se utiliza en los cultivos ayuda a su correcto desarrollo y se logra una producción óptima que puedan generar mejores productos y mayores ganancias en bien de la comunidad.
2. Al realizar un uso eficiente del agua se deben evitar las pérdidas, pero por diseños realizados en forma empírica no se lo logra.
3. Se debe empezar a modificar la cultura y vocación agrícola en función de encontrar las mejores alternativas de diseño de manera organizada y planificada.
4. Existen deficientes productividades por ausencia de infraestructura adecuadas de riego.
5. En varios cantones de la provincia faltan sistemas y canales de riego.
6. Existe falta de capacitación de los usuarios en el manejo del agua a nivel de finca, siendo una de las causas, para las bajas eficiencias de conducción y de uso del agua.
7. No hay planes de capacitaciones permanentes en el diseño de sistemas de riego apropiados dependiendo de los parámetros indicados en los mismos.
8. Es importante analizar la cantidad de agua a aplicar en los diferentes sistemas de riego.

9. Un sistema de riego tecnificado implica inversión inicial, pero debe ser tomado como una inversión a largo plazo, ya que con el mantenimiento adecuado se logrará crecimientos óptimos de las plantaciones, mejores cultivos y máximas producciones.
10. Buscar unificar diferentes conceptos en cada diseño como son de: Agronomía, Hidráulica e Ingeniería, logrando que los materiales, mano de obra, tecnología se fusionen, buscando una producción elevada.
11. Se pueden producir problemas ambientales si existe un manejo incorrecto en el riego por superficie si el riego es excesivo por pérdidas de agua por percolación profunda y escorrentía superficial.

Se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Concientizar a los agricultores que si el diseño del sistema de riego es decidido después de un análisis, se logrará ahorro y se obtendrán ganancias.
2. 5. Plantear desde cada comunidad capacitaciones para lograr mejoras en los sistemas implantados actualmente.
3. Los municipios deben tener entre sus planes de mejora, proyectos encaminados a lograr avances significativos en los diferentes cultivos de la zona.
4. Capacitar a las personas del agro para que paulatinamente vayan integrando sistemas de riego, planificados y bien diseñados.

5. La participación activa de cada agricultor y persona relacionada con el entorno debería primar.
6. Empezar a dimensionar la importancia del agua como un bien esencial, difundir que de no preservar y buscar alternativas de mejor uso y aprovechamiento en el futuro serán mayores las problemáticas por su carencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rodríguez P., Fructuoso (2007), *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 16, núm.2, 2007, La Habana, Cuba.
2. Rodríguez P. Fructuoso (2015),, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 24, núm.1, 2015, La Habana, Cuba.
3. VILLACÍS S. MARÍA (2012),, “*Diseño de un sistema de riego por aspersión*”(Tesis, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad San Francisco de Quito)
4. Ruíz, C. (2001). *Diseño de un sistema de riego móvil por goteo*. Agosto 15 2015, de ESPOL Sitio web: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4266/1/6786.pdf>.
5. Norero, A. (1984). *El agua y el aire en el suelo*. Mérida, Venezuela: CIDIAT.
6. Fernández, R. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 1. Fundamentos del riego*. De Junta de Andalucía Sitio web: http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento_del_riego_1.
7. FAO. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*. Septiembre 2015, de FAO Sitio web: <http://www.fao.org/3/bi1688s.pdf>.
8. FAO. (2015). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*. julio 29 2015, de FAO Sitio web: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecu/indexesp.stm

9. Fernández, R. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 2. Riego por superficie*. De Junta de Andalucía Sitio
web:[http://www.juntadeandalucia.es /export/drupaljda /1337160940](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940)
Riego_por_superficie_baja.pdf
10. CALVACHE, M. (2013). *Riego Andino Tecnificado (1era ed.)*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
11. GUZMÁN GUTIERREZ, S.M.(2010): *Evaluación de la productividad del agua en el cultivo de banano (Mussa spp) para la región del Magdalena por medio de la variación de tres coeficientes de cultivo (Kc)*, Tesis (en opción al Tesis de Maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.