

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Manual de Diseño de Sistemas de Riego a Gravedad y por Aspersión

Miguel Andrés Guerra Moscoso

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Civil

Quito

Mayo de 2009

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio Politécnico**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Manual de Diseño de Sistemas de Riego a Gravedad y por Aspersión

Miguel Andrés Guerra Moscoso

Miguel Araque
Director de la Tesis

Fernando Romo
Decano del Colegio Politécnico

Quito, mayo de 2009

© Derechos de autor
Miguel Andrés Guerra Moscoso
2009

Dedicatoria

Dedico este trabajo a esa persona que siempre estuvo ahí apoyándome y creyendo en mi incluso en los momentos más difíciles.

Dedico este trabajo a esa persona que es mi hermana Vanessa. A esa persona que también es Esthela Moscoso e Ignacio Guerra, mis padres. A esa persona que también es mi director de tesis, que es el decano del Colegio Politécnico, que es la USFQ. A esa persona que igualmente se ha involucrado en mi formación y que de una u otra manera ha influenciado mi vida.

Con todo cariño y amor le dedico esta tesis a esa persona.

Agradecimiento

Agradezco a Dios porque me ha permitido llegar a este punto, ha puesto las situaciones, personas, condiciones y sentimientos específicos para poder culminar con esta etapa de mi vida. Gracias.

Resumen

El agua no es un recurso inagotable, por lo que la preocupación de que se agote este se ha incrementado alrededor del mundo. Siguiendo este propósito, el diseño de sistemas de riego se vuelve una solución eficiente ante esta preocupación.

Los diseños deben proporcionar suficiente agua para evitar el estrés hídrico, pero controlando la cantidad para no desperdiciarla.

Parte fundamental del diseño de un sistema de riego, es calcular la cantidad de agua que el cultivo necesita, que se la obtiene restando el agua efectiva entregada por las lluvias menos la que se pierde por evapotranspiración.

El método de riego de gravedad por surcos forma ramales de riego por los que el agua recorrerá el cultivo y se infiltrará para satisfacer el requerimiento hídrico de la planta. La longitud, la forma y la distancia entre surcos deben ser determinadas de acuerdo al cultivo.

El método de riego por aspersión sugiere la colocación de aspersores a lo largo del cultivo, los que enviarán el agua al cultivo recreando a la lluvia. La distancia entre aspersores y el caudal requerido por aspersor, son los que se determinan en el diseño.

Cada uno de estos sistemas tiene ventajas y desventajas, dependiendo del cultivo y sus características se debe escoger el más apropiado.

Abstract

Water is not an inexhaustible resource, and therefore the concern that it will run out has increased around the world. It therefore follows that the design of irrigation systems becomes an efficient solution to this problem.

The designs should proportion enough water to avoid hydric stress, but should control the quantity in order to not waste it.

A fundamental part of the design of an irrigation system is to calculate the amount of water that the crop needs, which is obtained subtracting the water lost through evapotranspiration from the effective rainfall.

The method of irrigation by gravity uses canals in branch form so that the water will cover the entire crop and satisfy the hydric requirements of the plant. The length, form and distance between canals should be determined according to the crop.

The method of irrigation using sprinklers suggests placing sprinklers along the length of the crop, so that they can water the crop, recreating rain. The distance between sprinklers and the volume of flow required per sprinkler are determined by the design.

Each one of these systems has advantages and disadvantages, depending on the crop and its characteristics one must choose the most appropriate system.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. <i>Título del Proyecto</i>	<i>1</i>
1.2. <i>Área de influencia del Proyecto.....</i>	<i>1</i>
1.3. <i>Antecedentes.....</i>	<i>1</i>
1.3.1. <i>Riego.....</i>	<i>1</i>
1.3.2. <i>Riego por gravedad</i>	<i>1</i>
1.3.3. <i>Riego por aspersión.....</i>	<i>2</i>
1.4. <i>Justificación e importancia del proyecto.....</i>	<i>2</i>
1.5. <i>Objetivo final del proyecto</i>	<i>4</i>
1.6. <i>Objetivos específicos del proyecto.....</i>	<i>4</i>
1.7. <i>Metas del proyecto.....</i>	<i>4</i>
1.8. <i>Detalle de la metodología que se propone emplear</i>	<i>4</i>
1.9. <i>Descripción de actividades para la elaboración.....</i>	<i>5</i>
2. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA	6
2.1 <i>Generalidades</i>	<i>6</i>
2.2 <i>El ciclo hidrológico</i>	<i>7</i>
2.3 <i>Temperatura</i>	<i>9</i>
2.4 <i>Humedad.....</i>	<i>10</i>
2.5 <i>Escurrimiento</i>	<i>10</i>
2.6 <i>Humedad relativa</i>	<i>11</i>
2.7 <i>Heliofanía</i>	<i>11</i>
2.8 <i>Viento</i>	<i>12</i>
2.9 <i>Nubosidad</i>	<i>13</i>
3. CALIDAD DE AGUA EN LA AGRICULTURA.....	15
3.1. <i>Introducción</i>	<i>15</i>
3.2. <i>Problemas de calidad del agua de riego.....</i>	<i>16</i>
3.3. <i>Contaminación por sales solubles.....</i>	<i>16</i>
3.3.1. <i>Manejo de suelos salinos y sódicos</i>	<i>16</i>
3.3.2. <i>Salinidad y producción.....</i>	<i>17</i>
3.3.3. <i>Salinidad y necesidades del lavado</i>	<i>19</i>
3.3.4. <i>Manejo</i>	<i>21</i>
3.3.5. <i>Causas de salinidad.....</i>	<i>25</i>
3.3.6. <i>Eliminación de sales impedida.....</i>	<i>28</i>
3.3.7. <i>Efectos de salinidad y sodicidad en el suelo</i>	<i>29</i>
3.3.8. <i>Recuperación de suelos salinos y sódicos</i>	<i>33</i>
3.4. <i>Parámetros adicionales en el agua de riego</i>	<i>35</i>
3.4.1. <i>pH</i>	<i>35</i>
3.4.2. <i>Conductividad eléctrica (mS/cm)</i>	<i>35</i>
3.4.3. <i>Aniones</i>	<i>35</i>
3.4.4. <i>Cationes.....</i>	<i>36</i>
3.4.5. <i>Boro</i>	<i>36</i>
3.4.6. <i>Sales totales disueltas (mg/l)</i>	<i>36</i>
3.4.7. <i>Dureza total</i>	<i>36</i>

3.4.8.	<i>Índice de Scott</i>	37
4.	CROPWAT	38
4.1.	<i>Introducción</i>	38
4.2.	<i>Partes del CROPWAT</i>	38
4.3.	<i>Tipos de archivos utilizados por CROPWAT</i>	41
4.4.	<i>Descripción del menú principal y de la barra de herramientas</i>	42
4.4.1.	<i>File</i>	42
4.4.2.	<i>Input Data</i>	43
4.4.3.	<i>Schedule</i>	43
4.4.4.	<i>Tables, Graphs</i>	47
4.4.5.	<i>Ingreso de datos</i>	56
4.4.6.	<i>Análisis de resultados</i>	70
5.	DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS DIFERENTES CULTIVOS, DEPENDIENDO DE LA ZONA BIOCLIMÁTICA	77
5.1.	<i>Introducción</i>	77
5.2.	<i>Descripción del ejemplo</i>	78
5.2.1.	<i>Problema y objetivo</i>	78
5.2.2.	<i>Ubicación</i>	78
5.3.	<i>Productos de cultivo en la zona</i>	80
5.3.1.	<i>Introducción</i>	80
5.3.2.	<i>Papas o patatas</i>	81
5.3.3.	<i>Habas</i>	82
5.3.4.	<i>Col</i>	83
5.3.5.	<i>Trigo</i>	84
5.3.6.	<i>Cebada</i>	84
5.3.7.	<i>Pastos</i>	86
5.3.8.	<i>Maíz</i>	87
5.3.9.	<i>Pimiento</i>	88
5.3.10.	<i>Soya</i>	89
5.3.11.	<i>Tomate</i>	90
5.3.12.	<i>Frutales Cítricos</i>	91
5.4.	<i>Datos climáticos de la zona</i>	92
5.4.1.	<i>Introducción</i>	92
5.4.2.	<i>Pluvimetría</i>	93
5.4.3.	<i>Temperatura</i>	95
5.4.4.	<i>Nubosidad</i>	96
5.4.5.	<i>Heliofania</i>	97
5.4.6.	<i>Velocidad</i>	98
5.4.7.	<i>Humedades</i>	99
5.5.	<i>Balance hidrológico de los cultivos de la zona</i>	100
5.5.1.	<i>Introducción</i>	100
5.5.2.	<i>Datos del suelo</i>	103
5.5.3.	<i>Datos de las lluvias según CROPWAT</i>	103
5.5.4.	<i>Papas 1: Siembra: 01 de Febrero; Cosecha: 11 de Junio</i>	105

5.5.5.	Habas: Siembra: 15 de Agosto; Cosecha: 2 diciembre	108
5.5.6.	Trigo: Siembra: 15 de Marzo; Cosecha: 31 de Julio.....	111
5.5.7.	Col: Siembra: 01 de Octubre; Cosecha: 11 de Enero.....	114
5.5.8.	Cebada:	117
5.5.9.	Papas2: Siembra: 15 de Agosto; Cosecha: 31 de Diciembre	120
5.5.10.	Pastos: Siembra: 01 de Enero; Cosecha: 31 de Diciembre.....	123
5.5.11.	Resumen del caudal requerido por los cultivo de cada terreno	128
	Figura 5.12. Calendario de riego.Caudal requerido	131
	Caudal requerido	132
6.	SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD (POR SURCOS)	134
6.1.	Introducción	134
6.2.	Cuando elegir el Riego de Gravedad por Surcos	135
6.2.1.	Tipo de suelo.....	136
6.2.2.	Pendiente	136
6.2.3.	Tipo de cultivo	137
6.2.4.	Clima	137
6.2.5.	Disponibilidad del agua	138
6.2.6.	Calidad del agua	138
6.3.	Diseño de los Surcos	139
6.3.1.	Longitud del Surco.....	139
6.3.2.	Forma del Surco	145
6.3.3.	Espaciamiento de los Surcos	149
6.3.4.	Tiempo de riego.....	151
6.4.	Construcción de Surcos	152
6.4.1.	Construcción en terrenos llanos o ligeramente inclinados.....	152
6.4.2.	Construcción en terrenos inclinados u ondulados	153
6.5.	Ejemplo Práctico de diseño por surcos	155
6.5.1.	Longitud.....	155
6.5.2.	Forma	155
6.5.3.	Espaciamiento	155
7.	SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN	156
7.1.	Introducción	156
7.2.	Cuando elegir el Riego de Gravedad por Surcos	157
7.2.1.	Cultivos Adecuados	157
7.2.2.	Pendientes Adecuadas	157
7.2.3.	Suelos Adecuados	158
7.2.4.	Agua de Riego Apropiaada.....	158
7.2.5.	Ventajas	159
7.2.6.	Desventajas.....	159
7.3.	Diseño del sistema de riego por Aspersión	160
7.3.1.	Disposición de la red de aspersores.....	160
7.4.	Diseño y ejemplo Práctico de un diseño de riego por aspersión	162
7.5.	Funcionamiento de los Sistemas de Riego por Aspersión	163
7.5.1.	Modalidad de humedecimiento (Distancia entre aspersores).....	163
7.5.2.	Intensidad de aplicación.....	165

7.5.3. *Dimensiones de las gotas pulverizadas* 166

8. CONCLUSIONES **167**

Referencias **170**

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Medición de la escala de vientos, según Beaufort.....	12
Figura 2.2. Tabla de Octas.....	14
Figura 3.1. Solubilidad máxima.....	17
Figura 3.2. Relación lineal de Mass & Hoffman (1977).....	19
Figura 3.3. Zona radicular del cultivo.....	21
Figura 3.4. Nivel Freático en el suelo.....	30
Figura 3.5. Relaciones hídricas.....	31
Figura 3.6. Tipo de agua según el boro.....	36
Figura 3.7 Tipo de agua.....	37
Figura 3.8 Calidad del agua de riego.....	37
Figura 4.1. Presentación CROPWAT.....	39
Figura 4.2. Menú principal.....	39
Figura 4.3. Barra de Herramientas.....	40
Figura 4.4. Estado de los datos.....	41
Figura 4.5. Ubicación de los archivos.....	42
Figura 4.6. Archivo.....	42
Figura 4.7. Input Data.....	43
Figura 4.8. Schedule.....	43
Figura 4.9. Criterio para el horario.....	44
Figura 4.10. Aplicación de riego.....	44
Figura 4.11. Aplicación de riego 2.....	45
Figura 4.12. Application Depths.....	46
Figura 4.13. Application Depth 2.....	47
Figura 4.14. Start of Scheduling.....	47
Figura 4.15. Tables.....	48
Figura 4.16. Graphs.....	48
Figura 4.17. Íconos CROPWAT.....	48
Figura 4.18. Climate Data Table.....	49
Figura 4.19 Monthly Rainfall Data.....	49
Figura 4.20. Calculation Methods.....	50
Figura 4.21. Climate Data Graph.....	50
Figura 4.22. Imprimir CROPWAT.....	51
Figura 4.23. Crop Water Requirements Table.....	52
Figura 4.24 Irrigation Scheduling Table.....	53
Figura 4.25. Irrigation Scheduling Graph.....	55
Figura 4.26. Irrigation Scheduling Graph 2.....	56
Figura 4.27. Datos de la Estación El Coro, Venezuela.....	57
Figura 4.28. InputData Climate.....	58
Figura 4.29. Monthly Climatic Data.....	59
Figura 4.30. Saving Climatic Data.....	59
Figura 4.31. InputData ETo.....	60
Figura 4.32. Monthly ETo Data.....	60
Figura 4.33. Monthly Rainfall Data.....	61
Figura 4.34. Calculation Methods.....	62
Figura 4.35. InputData Crops.....	63
Figura 4.36. Crop Data.....	63
Figura 4.37. Retrieving Crop Data.....	64
Figura 4.38. Crop Data.....	64
Figura 4.39. Crop Data.....	65
Figura 4.40. InputData Cropping partner.....	65
Figura 4.41. Cropping Pattern Planning.....	66
Figura 4.42. Cropping Pattern Planning 2.....	67
Figura 4.43. Soil Data.....	68

Figura 4.44. Soil Data 2.	69
Figura 4.45 Schedule Criteria.	69
Figura 4.46. Calculation Methods 2.	70
Figura 4.47 Climate Data Table.	71
Figura 4.48. Climate Data Graph.	71
Figura 4.49. Monthly Rainfall Data.	72
Figura 4.50. Total and Effective Rainfall Graph.	73
Figura 4.51. Crop Water Requirements Table.	73
Figura 4.52. Irrigation Scheduling Table.	74
Figura 4.53. Tabla de demanda neta.	75
Figura 4.54. Irrigation Scheduling Graph.	76
Figura 5.1 Tipo de terreno y su cultivo.	78
Figura 5.2. Patrón de cultivo Zona Bioclimática Fría.	79
Figura 5.3. Patrón de cultivo Zona Bioclimática Templada.	79
Figura 5.4. Terreno del ejemplo, Chimborazo.	80
Figura 5.5. Importancia económica mundial de la Cebada.	85
Figura 5.6 Pluviometría.	94
Figura 5.7. Temperatura.	95
Figura 5.8. Nubosidad.	96
Figura 5.9. Heliofania.	97
Figura 5.10. Velocidad media del viento.	98
Figura 5.11. Humedad Relativa.	99
Figura 5.12. Calendario de riego.	128-131
Figura 5.13. Caudal de diseño.	132
Figura 5.14. Distribución de cultivos en el terreno.	133
Figura 6.1. Riego por surcos.	135
Figura 6.2. Velocidades de Infiltración.	142
Figura 6.3. Valores de longitudes máximas.	145
Figura 6.4. Velocidades de infiltración según pendiente.	145
Figura 6.5. Surco Profundo y estrecho.	147
Figura 6.6. Surco ancho y poco profundo.	148
Figura 6.7 Longitud de surco.	149
Figura 6.8. Surco de doble lomo.	150
Figura 6.9. Surcos.	151
Figura 6.10. Terreno plano.	153
Figura 6.11. Terrenos inclinados u ondulados.	154
Figura 7.1. Vista superior y lateral del riego por aspersor.	165

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Título del Proyecto

Manual de Diseño de Sistemas de Riego a Gravedad y por Aspersión

1.2. Área de influencia del Proyecto

La presente disertación tiene justificada aplicación como guía para el diseño de sistemas de riego a gravedad y diseño de sistemas de aspersión. A más de las bases de diseño, se encontrará la aplicación en un proyecto real localizado en la provincia de Chimborazo.

1.3. Antecedentes

1.3.1. Riego

El riego consiste en la dotación de agua hacia el suelo de los cultivos con el objetivo de brindar un suministro suficiente que permita un buen crecimiento de las plantaciones.

Existen varios métodos de riego, y son muy variados en su inversión inicial, en su área de trabajo, en formas de mantenimiento, eficiencia, entre otros. Los dos a estudiarse son el método por gravedad y el método por aspersión.

1.3.2. Riego por gravedad

El riego por gravedad es una opción interesante para pequeños productores porque ataca a la vez dos problemas comunes en éste tipo de empresas: la subocupación y la falta de volúmenes de facturación. Además es un sistema atractivo porque requiere baja inversión inicial pero exige cierta habilidad por parte del regante para lograr una operación eficiente.

En el riego por gravedad el agua se mueve por gravitación, es decir el agua se desliza siguiendo la pendiente y no requiere de energía extra para darle movimiento. La

calidad del riego depende en un principio de la sistematización del terreno y por eso es muy importante realizar un buen levantamiento planialtimétrico del lote a regar y un correcto diseño de los surcos especialmente en orientación y en longitud.

1.3.3. Riego por aspersión

A este sistema de riego consiste en crear un sistema en el cual el agua llega a los cultivos como lo hace la lluvia. El agua que está destinada al riego es llevada a la zona de cultivos mediante tuberías. En este punto y mediante unos pulverizadores (aspersores) que están con una presión específica determinada en el diseño, el agua se eleva y cae en forma de varias gotitas (agua pulverizada) sobre esta superficie de cultivo.

Con la finalidad de conseguir que el riego por aspersión sea bueno y eficiente, es necesario que algunos puntos sean bien estudiados y aplicados: La presión de agua; un estudio técnico sobre red de tuberías adecuadas para la presión de agua determinada anteriormente; aspersores adecuados para satisfacer la capacidad de agua para esparcir y ser compatibles con la presión de agua que trae la red de distribución; el depósito de agua que está conectado con la red de tuberías

1.4. Justificación e importancia del proyecto

Entre las cosas que la historia nos ha enseñado es que los grandes asentamientos humanos se han dado siempre cerca de algún río. Por ejemplo, los ríos Nilo y Eúfrates acogieron importantes civilizaciones, y en la actualidad tenemos también el Rin (Alemania) y el Tamesis (Inglaterra).

Los ríos son importantes en el desarrollo de las comunidades en la misma medida en que su agua es utilizable para el consumo humano y para captación y abastecimiento a los cultivos. Por este motivo, el ser humano ha volcado muchos de sus esfuerzos al estudio del riego agrícola,

con el fin de brindar una adecuada captación y una eficiente distribución del agua hacia los cultivos.

En el ámbito nacional, el Gobierno Ecuatoriano con el fin de organizar y mejorar el manejo de los proyectos de riego, nacionalizó todas las aguas en 1972, y creó un organismo estatal encargado del manejo administrativo y planeación de proyectos hídricos, el Instituto Ecuatoriano de los Recursos Hídricos (INHERI). Este instituto ha sido acusado de ineficiente por impulsar y desarrollar proyectos que a la final han sido muy costosos y de baja eficiencia.

En la actualidad, con la nueva constitución vigente en el Ecuador, se reconoce la importancia del agua, con nuevas reformas sobre el manejo y administración de este recurso.

La economía y el desarrollo de muchos países con potencial o tradición agrícola dependen en gran medida de la eficiencia de los sistemas de riego y de las políticas de distribución y soberanía del agua. Por ejemplo, una publicación en el 2007 en *The Economist* afirma que Perú es la economía de más rápido crecimiento en la América del Sur, crecimiento que se debe principalmente a las exportaciones de nuevos productos, como mangos o alcachofas. En el Perú se han tomado políticas para impulsar una agricultura de regadío, lo que ha mejorado la eficiencia en cultivos. Este fenómeno no solo se refleja en la producción agrícola sino que también influye directamente en la oferta de empleo, mejora de salarios, mejora de infraestructura en lugares rurales, es decir, influye en el desarrollo y bienestar de los peruanos.

Por eso, un manual sobre el diseño de sistemas de riego, en el que no solo se tome en cuenta los diseños técnicos de la infraestructura, sino que además tome en consideración factores como el tipo de sembrío, el clima, la ubicación geográfica, época del año, necesidad de agua del cultivo, entre otros; es de suma importancia en el desarrollo agrícola y de las comunidades en general.

1.5. Objetivo final del proyecto

El objetivo final del proyecto es obtener una guía práctica para el diseño de sistemas de riego por gravedad y por aspersión.

1.6. Objetivos específicos del proyecto

Los objetivos de la presente disertación de grado son los siguientes:

- a) Realizar una guía didáctica practica sobre el diseño de sistemas de riego a gravedad.
- b) Realizar una guía didáctica practica sobre el diseño de sistemas de riego por aspersión.
- c) Determinar las necesidades de agua de los cultivos mediante el programa CROPWAT desarrollado en la oficina de recursos hidráulicos de FAO en las oficinas centrales en Roma, Italia.
- d) Desarrollar, de cada uno de los sistemas de riego, un ejemplo práctico de aplicación con datos tomados de un proyecto de riego localizado en la provincia de Tungurahua.

1.7. Metas del proyecto

A continuación se enumeran las metas de la disertación de grado:

- a) Determinar las necesidades de agua de los cultivos mediante el programa CROPWAT.
- b) Trabajar con una metodología didáctica para diseñar sistemas de riego.

1.8. Detalle de la metodología que se propone emplear

La metodología que se va a utilizar en la presente disertación de grado es la investigación bibliográfica en bibliotecas especializadas, luego de lo cual se ha de emitir un documento didáctico en el cual se encuentre detallada la metodología de cálculo de sistemas de riego por gravedad y por aspersión.

El documento contendrá la metodología de diseño por estos métodos. Adicionalmente y como parte importante de la tesis, estará la aplicación de esta metodología en un ejemplo práctico de diseño de riego por los dos métodos.

1.9. Descripción de actividades para la elaboración

Para realizar la presente disertación de grado se van a realizar varias actividades de diversa índole, como por ejemplo, investigación, recopilación, diseño y aplicación.

Primero se hizo un análisis sobre el problema y la carencia de un manual para diseñar sistemas de riego que sean efectivos y que ayuden a proporcionar el agua suficiente de cuerdo al cada cultivo con una utilización mínima de agua, es decir con un desperdicio de agua muy bajo. Una vez analizado el problema se estudió que los dos métodos de mayor utilización para el diseño de sistemas de riego son el método por gravedad y el método por aspersión. Estos métodos son muy conocidos en nuestro medio, y por eso se decidió hacer el manual de diseño para estos dos sistemas.

La investigación a realizarse es sobre las generalidades y conceptos sobre riego, cultivos, estructuras, erosión, etc., que son fundamentales para conocer el problema y poder aplicar el manual. Esta investigación se la realizará en bibliotecas especializadas, una de ellas es la de la FAO en el Ecuador. También la investigación es sobre el terreno en el que se va a utilizar.

El diseño y la aplicación nos servirán para aplicar el manual realizado. Esta aplicación es fundamental como un ejemplo y demostración del uso del manual. Así nos daremos cuenta de errores o mejoras en el proceso de diseño antes de tener el producto final.

2. CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

2.1 Generalidades

En el planeta Tierra, hace unos doce mil años, se podía caminar de Alaska a Siberia sin mojarse, ya que en ese entonces, los glaciares y las capas de hielo cubrían América del Norte hasta los Grandes Lagos y el Cabo Cod, a pesar que las áreas costeras generalmente permanecían sin hielo. Estas extensas capas de hielo existieron en un momento en el que el nivel marítimo era muy bajo. Por consiguiente, la tierra estaba al descubierto donde ahora el estrecho de Bering está cubierto de agua.

Nuestro planeta, Tierra, es el único planeta del sistema solar con extensas cantidades de agua líquida, razón fundamental de vida. Es fundamental entender los procesos y las reservas del ciclo hidrológico para poder enfrentar diferentes cuestiones, incluidas la polución y el cambio global climático.

A nivel regional, el Ecuador Continental está situado al Noroeste de América del Sur y con un límite hacia el Océano Pacífico, y se divide en tres regiones bien definidas: Costa, Sierra y Oriente. Las Islas Galápagos, también ecuatorianas, están a 600 millas aproximadamente.

“Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes, el Ecuador presenta una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias. Nuestro país está ubicado dentro del cinturón de bajas presiones atmosféricas donde se sitúa la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), por esta razón, ciertas áreas del Ecuador reciben la influencia alternativa de masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad”.

En Ecuador podemos encontrar climas tropicales y templados, regiones con características subtropicales, situadas principalmente en las estribaciones de las dos cordilleras; también encontramos zonas desérticas, semi-desérticas, estepas frías y cálidas, etc.

Debido a estas condiciones, la Hidrología se vuelve un área fundamental para el desarrollo del país. Hidrología es la ciencia que estudia la distribución, cuantificación y utilización de los recursos hídricos disponibles en el planeta.

En el Ecuador, el Gobierno Ecuatoriano con el fin de organizar y mejorar el manejo de los proyectos de riego, nacionalizó todas las aguas en 1972, y creó un organismo estatal encargado del manejo administrativo y planeación de proyectos hídricos, el Instituto Ecuatoriano de los Recursos Hídricos (INHERI). Ahora es el INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, el encargado de la planificación de los recursos hídricos. En la actualidad, con la nueva constitución vigente en el Ecuador, se reconoce la importancia del agua, con nuevas reformas sobre el manejo y administración de este recurso.

2.2 El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se llama al fenómeno del agua por medio del cual el agua no permanece estancada en un lugar sino que está en constante movimiento entre los océanos, la atmósfera y la litosfera-biosfera de forma permanente. Este es un proceso continuo cerrado, que está en constante movimiento y transferencia. Por ejemplo, una gota de agua que está en los océanos, después del ciclo hidrológico regresa al océano, repitiendo este movimiento en forma constante.

El agua es capaz de realizar este ciclo gracias a cambios tanto físicos como químicos. Este cambio que realiza el agua le permite renovarse como recurso tratando de mantener el equilibrio del planeta.

Con el fin de una explicación didáctica se lo separará en varias fases, como: evaporación, precipitación, retención, escorrentía superficial, infiltración, evapo-transpiración y corriente subterránea.

Dentro del ciclo hidrológico, la primera fase es la Evaporación. Las grandes masas de agua líquida del planeta como océanos, ríos o lagos se convierte en vapor. La temperatura, las radiaciones solares son, entre otros, algunos factores que causan este fenómeno. Una vez que el agua está convertida en vapor, ésta asciende en la atmósfera debido a que su densidad es menor que la de el aire. Mientras el vapor de agua asciende, las temperaturas disminuyen lo que produce la formación de nubes.

Con las nubes ya formadas, y con temperaturas bajas, entonces se produce la segunda fase que es Precipitación. Las partículas al condensarse comienzan a crecer en tamaño, y más o menos a partir de 0,1mm ya se comienzan a formar gotas, las mismas que debido a la gravedad caen. Estas formas de precipitación pueden expresarse como lluvia, nieve o granizo.

Del agua que está precipitándose no toda alcanza el terreno. Algunas gotas al caer, adquieren otra vez temperaturas altas y se evaporan, regresando nuevamente a la parte alta de la atmósfera; otras en cambio, después de ser retenidas por edificios, árboles, carreteras, construcciones, etc. Se calientan y se evaporan, regresando al punto de inicio. De el agua que llega al terreno, parte queda estancada e charcos, lagos, etc. Que también después de un tiempo vuelven a evaporarse. Esta es la tercera fase conocida como Retención.

La cuarta fase se llama Escorrentía Superficial. Esta etapa consiste en que el agua que no fue retenida en la etapa anterior, crea cursos de agua que finalmente forman arroyos y ríos para finalmente desembocar en el océano, donde una parte se evaporará y otra se filtrará en el terreno.

Regresando a la etapa segunda, parte del agua que se precipitó se infiltra a través de poros y fisuras hacia el terreno. Esta etapa, quinta, se llama Infiltración. Los estratos de suelo se conforman de dos zonas, una saturada (profunda) y otra no saturada (superficial).

La sexta etapa, se da lugar en la capa superficial. Parte del agua que se queda en la zona no saturada se evapora y regresa en forma de vapor a la atmósfera; y otra parte, mucho mayor en cantidad, en cambio regresa a la atmósfera en forma de la transpiración de las plantas. Este fenómeno, que es difícil de cuantificarlo separadamente, se lo conoce como Evapotranspiración.

La última etapa, que cierra el ciclo hidrológico, se llama Escorrentía subterránea. Aquí, el agua que está en la zona de terreno saturada, puede regresar como evapotranspiración si la capa no es lo suficientemente profunda; de no ser éste el caso, se producen descargas subterráneas. Estas descargas pueden salir a engrosar el caudal de los ríos directamente o a través de manantiales, o desembocando directamente en el mar o en otras grandes masas de agua.

Ese es el ciclo hidrológico completo. Este ciclo es continuo, pero no es regular. Algunas gotas pueden recorrer todo el ciclo en el primer intento o pasar muchos años sin jamás llegar al océano, todo depende de las variaciones creadas por el hombre que alteren cualquiera de las fases. Es importante decir que el ciclo hidrológico ayuda a mantener al suelo frío y a la atmósfera caliente.

2.3 Temperatura

Cuando se habla de temperatura viene la idea errónea de lo que es caliente y frío. Esta idea es errónea porque estas dos palabras hacen referencia al concepto de “calor” y no al de temperatura.

Todos los cuerpos, sin importar su estado (sólido, líquido o gaseoso) están compuestos de partículas en movimiento; con bastante movimiento en el gaseoso y en vibración en el sólido.

Este movimiento de las partículas no es ordenado, por el contrario es aleatorio, lo que produce que estén chocándose constantemente.

La temperatura es una medida de la energía de las partículas, o visto de otro modo, es la medida de la velocidad media con la que las partículas se mueven.

Hay que resaltar que la temperatura no depende del tamaño de las partículas, sino de la velocidad media de las mismas. Por eso es que no importa el tamaño del objeto. Un recipiente grande o pequeño de agua tiene la misma temperatura cuando las partículas hierven, pese a que su tamaño es diferente.

2.4 Humedad

A la medida de la cantidad de vapor de agua que está contenida por el aire se le conoce por el nombre de humedad. Esta cantidad puede variar de acuerdo a las condiciones climáticas a las que está sometido el aire. Es decir, que el aire húmedo se compone de aire seco y de vapor de agua.

Esta mezcla sigue la ley de las presiones parciales, conocida como ley de Dalton. Esta ley dice que “la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de sus componentes”, por lo que las masas de aire caliente resultan con mayor humedad que las de aire frío.

Se conoce como humedad absoluta (g/cm^3) al número de gramos que hay en un metro cúbico de aire bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

Las grandes masas de agua, especialmente los océanos, son las fuentes principales de humedad, y que proveen de vapor de agua al aire.

2.5 Escurrimiento

Como ya se mencionó en la sección de ciclo hidrológico, escurrimiento se llama al agua que después de precipitarse circula, ya sea dentro o fuera de la superficie del terreno, y finalmente llega hasta la salida de la cuenca.

Existen tres tipos de escurrimiento, el superficial, subsuperficial, y subterráneo, dependiendo del lugar por el corren las aguas.

Existen factores que afectan al escurrimiento. El primero son los factores climáticos (Precipitación: forma, intensidad, duración, distribución). Otras condiciones son la forma del suelo, la pendiente, altitud, geología y topología del suelo.

La medida del escurrimiento está relacionada con la interacción de Nivel de agua, Coeficiente de escurrimiento, Velocidad, Caudal, Avenida, Aportación, altura media del escurrimiento, entre otros.

2.6 Humedad relativa

Humedad relativa se le conoce a la relación de vapor de agua que tiene el aire a ciertas condiciones con la cantidad máxima que puede haber bajo las mismas condiciones. A esta relación se la expresa de forma conceptual. En otras palabras, es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire en unas condiciones determinadas de temperatura y presión y la que tendría si estuviera saturado a la misma temperatura y presión.

La variación de la humedad relativa es inversamente proporcional a la variación de temperatura, especialmente en la parte inferior de la atmósfera, donde su valor mínimo corresponde a las horas de mayor calor, y el máximo a las madrugadas.

2.7 Heliofania

Heliofania es una forma de medir la duración del brillo solar. Esta medida es útil porque da una idea de las horas de 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 está con nubosidad, entonces la radiación e el sol no tiene la suficiente energía como para considerarla dentro del rango de energía directa del sol.

2.8 Viento

El viento es el movimiento del aire de un lugar a otro. La superficie de la Tierra está a diferentes temperaturas y presiones lo que provoca bolsas, capas, o porciones de aire a diferentes temperaturas y presiones, y de esta manera produce que estos cuerpos de aire se muevan. Las masas de aire al estar bajo diferentes condiciones, como las que ya se explicaron, se producen porciones con mayores y menores densidades, lo que hace que las masas menos densas y con temperaturas mayores se eleve. De esta manera se produce lo que se conoce como viento.

La velocidad del viento se mide en nudos o en Km/hora, y se los clasifica a los diferentes tipos de viento de la siguiente manera:

Escala de Beaufort	Denominación	Efectos observados	Nudos	Km/hora
0	Calma	El humo se eleva en vertical.	menos de 1	0 a 1,9
1	Ventolina ó brisa muy ligera	El viento inclina el humo, no mueve banderas.	1 a 3	1,9 a 7,3
2	Flojito ó brisa ligera	Se nota el viento en la cara.	4 a 6	7,4 a 12
3	Flojo ó pequeña brisa	El viento agita las hojas y extiende las banderas.	7 a 10	13 a 19
4	Bonancible ó brisa moderada	El viento levanta polvo y papeles.	11 a 16	20 a 30
5	Fresquito ó buena brisa	El viento forma olas en los lagos.	17 a 21	31 a 40
6	Fresco	El viento agita las ramas de los árboles, silban los cables, brama el viento.	22 a 27	41 a 51
7	Frescachón	El viento estorba la marcha de un peatón.	28 a 33	52 a 62
8	Duro	El viento arranca ramas pequeñas.	34 a 40	63 a 75
9	Muy duro	El viento arranca chimeneas y tejas.	41 a 47	76 a 88
10	Temporal ó tempestad	Grandes estragos.	48 a 55	89 a 103
11	Tempestad violenta	Devastaciones extensas.	56 a 63	104 a 118
12	Huracán	Huracán catastrófico.	64 y más	119 y más

Figura 2.1: Medición de la escala de vientos, según Beaufort.








La dirección de los vientos va desde lugares de alta presión, y su fuerza depende del gradiente de presiones. Su dirección y su velocidad se determinan mediante los mapas isobáricos, distribución de presiones.

De aquí se puede concluir que los vientos siempre se mueven de porciones con altas presiones hacia las de menor presión. Y adicionalmente, su velocidad depende de la distancia entre isóbaras, a mayor cercanía mayor velocidad.

2.9 Nubosidad

Se conoce como nubosidad a la porción de cielo cubierto por nubes. Un cielo totalmente despejado tiene cero nubosidad, mientras que tienen alta nubosidad los días con cielos cubiertos por nubes y de muy poca visibilidad.

Esta magnitud se mide en octavos de cielo cubierto conocidas como Octas. En la siguiente tabla se explica claramente esta idea de las Octas:

Símbolo	Extensión cielo cubierto	Extensión cielo cubierto
	0/8	Despejado
	1/8	Poco nuboso
	2/8	Poco nuboso
	3/8	Poco nuboso
	4/8	Nuboso
	5/8	Nuboso
	6/8	Muy nuboso

	7/8	Muy nuboso
	8/8	Cubierto

Figura 2.2. Tabla de Octas.

Paras la medición de la nubosidad, en la práctica, se lo hace por apreciación del observador. Se divide el cielo en dos partes, la cubierta y la despejada, de ahí se calcula la proporción cubierta. Sin embargo hay que tener en cuenta que la altura y el grosor de las nubes peden alterar nuestra apreciación.

3. CALIDAD DE AGUA EN LA AGRICULTURA

3.1. Introducción

La agricultura de regadío depende tanto de la calidad como de la cantidad de agua. No obstante, el aspecto de la calidad ha sido discutido debido a que en el pasado las fuentes de agua, por lo general, han sido de abundante cantidad, de buena calidad y de fácil utilización.

Esta situación, sin embargo, está cambiando en muchos lugares. El uso intensivo de prácticamente todas las aguas de buena calidad, implica que tanto los proyectos nuevos como los antiguos que requieren aguas suplementarias, tienen que recurrir a las aguas de menor calidad. Para evitar problemas consecuentes, debe existir una planificación efectiva que asegure el mejor uso posible de esta agua de acuerdo a su calidad.

El concepto de calidad de agua se refiere a las características de las aguas que puedan efectuar su adaptabilidad a un uso específico, en las palabras, la relación entre la calidad de agua y las necesidades del usuario.

La calidad del agua se define por una o más características físicas, químicas o biológicas. La evaluación de la calidad de agua para el riego, se tiene en cuenta sobre todo las características físicas y químicas y pocas son las veces que se considera otros factores.

La situación ideal es contar con varias aguas de diferente calidad y así poder seleccionar la más adecuada. Por lo general, sin embargo, se cuenta únicamente con aguas de una sola calidad, estando su aplicación supeditada a su adaptabilidad al uso que se quiere dar.

La mayor parte de experiencias en el uso de agua de diferentes calidades, se ha acumulado a través de observaciones y estudio detallado de los problemas que se plantean al usarla. La comprensión de la relación causa y efecto entre un componente del agua y el problema resultante, permite evaluar la calidad y determinar el grado de aceptabilidad.

De la información acumulada sobre experiencias y resultados medidos, han surgido ciertos elementos como indicadores de los problemas relacionados con la calidad del agua. Ordenado las características de estos indicadores se presentan directrices técnicas para determinar la conveniencia en el uso del agua de una determinada calidad.

Cada nuevo grupo de directrices técnicas se apoya en guías anteriores, aumentando su capacidad de pronosticar la respuesta de los cultivos. De esta forma se encuentra a disposición muchas directrices de calidad de agua, que abarcan muchos otros tipos de uso.

En el caso específico de la agricultura de regadío se han preparado numerosas guías para el uso de aguas según su calidad. Cada una de ellas ha tenido cierta utilidad, pero ninguna ha sido completamente satisfactoria, debido principalmente a la variabilidad de las condiciones de campo.

3.2. Problemas de calidad del agua de riego

La calidad del agua de riego puede variar significativamente según el tipo y cantidad de sales disueltas. Las sales se encuentran en cantidades relativamente pequeñas pero significativas, y tienen su origen en la disolución o meteorización de las rocas y suelos, además de la disolución lenta de la caliza, del yeso y de otros minerales. Las sales son transportadas por las aguas de riego y depositadas en el suelo, en donde se acumulan a medida que el agua se evapora o es consumida por los cultivos.

3.3. Contaminación por sales solubles

3.3.1. Manejo de suelos salinos y sódicos

El objetivo de la evaluación de los suelos salinos y sódicos es conseguir un manejo, adecuado de los mismos, de manera que permita obtener cultivos rentables, por un lado, y su posible recuperación y regeneración, por otro.

Como ya se ha indicado la solubilidad de las sales es un parámetro evaluador de su toxicidad para los cultivos. En la siguiente tabla se reproduce la máxima solubilidad de las sales para un suelo que esté sometido a una temperatura de 40°C (temperatura frecuente en los meses de verano en los climas áridos).

	Solubilidad máxima		
	CE, dS/m	gr/l	meq/l
MgSO ₄	363	262	4352
Na ₂ SO ₄	504	430	6064
CaSO ₄	2,5	2,04	30
NaCl	453	318	5440
MgCl ₂	618	353	7413
Na ₂ CO ₃	693	441	8320
NaCO ₃ H	272	137	3261
CaCO ₃	0,8	0,01	10
MgCO ₃	0,8	0	10

Figura 3.1. Solubilidad máxima.

Todas las sales solubles pueden constituir soluciones con altísimos valores de CE.

3.3.2. Salinidad y producción

A la hora de evaluar la posible productividad de un suelo salino hay que tener en cuenta que los criterios de evaluación aquí señalados pueden tener un comportamiento diferente en función de una serie de factores que suelen alterar significativamente los resultados de las tablas de reducción de cosecha de las distintas especies. Esto es una consecuencia de varios factores, entre los que se encuentran la variabilidad que puede presentar la muestra de suelo seleccionada para realizar la diagnosis de salinidad, las técnicas de cultivo aplicadas, las diferentes condiciones de humedad de perfil del suelo, los comportamientos variables según clases de sales existentes, o la selección de especies y variedad adaptadas a las condiciones de salinidad e incluso la relación entre la concentración de las sales durante las distintas fases del desarrollo de los cultivos.

Las técnicas de cultivo influyen positiva o negativamente sobre las condiciones salinas. La incorporación de fertilizantes pueden elevar el contenido de ciertas sales, como sucede con las derivadas de potasio o nitratos o facilitar el lavado, al favorecer los procesos de intercambio, Las técnicas de riego utilizadas así como, los caudales aplicados, van a incidir sobre el lavado y afectarán al equilibrio salino de la solución del suelo, especialmente cuando se emplea la técnica de fertirrigación. Las labores de preparación del terreno, la localización y dosis de la semilla y posteriores labores de secarla tienen especial importancia en condiciones de salinidad.

La utilización de materiales que afecten a las condiciones de humedad del perfil del suelo, hace que puedan obtenerse rendimientos significativamente más elevados. Con el empleo de las técnicas del enarenado se han conseguido rendimientos económicamente rentables, en plantas tan sensibles como la judía, con conductividades de 4 dSm-1 y con reducciones de cosecha muy inferiores a las esperadas. Resultados parecidos pueden obtenerse con el empleo de plásticos, paja, bagazo, etc.

Mass & Hoffman (1977) encuentran que existe una relación lineal entre la salinidad del suelo y la disminución en la producción de los cultivos:

$$Y = 100 - b (CEs-a)$$

Donde:

“Y” es la producción del cultivo en % con respecto al máximo

“CEs” es la conductividad eléctrica del extracto de saturación en dS m-1

“a” y “b” son dos parámetros cuyos valores son constantes para cada cultivo.

Esta ecuación puede representarse gráficamente.

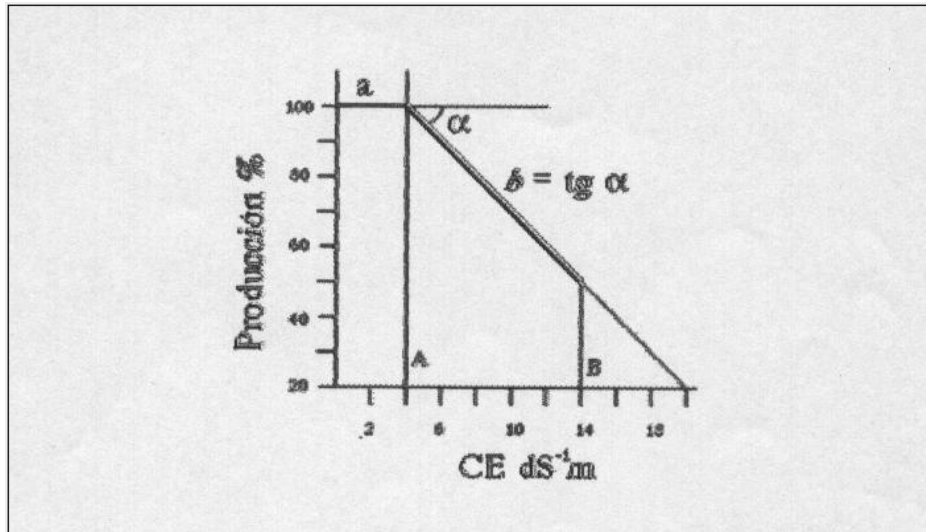


Figura 3.2. Relación lineal de Mass & Hoffman (1977).

El valor “a” representa el máximo de conductividad para la cual la producción es del 100%, pudiéndose definir como el umbral de salinidad para cada cultivo. A continuación viene un tramo inclinado que forma con la horizontal un ángulo “alfa” cuya tangente es el parámetro “b”, y que se puede considerar como el % de disminución de rendimiento por unidad de CEs que supere el valor de “A” (expresa la sensibilidad del cultivo a los aumentos de salinidad). Los parámetros “a” y “b” para diferentes cultivos, así como los valores de “y” para diferentes CEs.

3.3.3. Salinidad y necesidades del lavado

La distribución de la salinidad en los suelos varía en función de la profundidad y a lo largo del tiempo. Un ejemplo se puede ver en el suelo de Lalueza (Huesca) en el que la salinidad de los 10 primeros centímetros puede ser diez veces superior en mayo que a finales de octubre.

Las lluvias de otoño provocan un lavado descendente de las sales, mientras que la evapotranspiración de primavera hace que el flujo se invierta y se produzca un ascenso de las sales. En condiciones de secano estos procesos tienen lugar de forma cíclica, de forma que en

medios áridos o semiáridos, donde predominan los procesos de ascensión de sales, el suelo, si recibe aportes de sales, se irá salinizándose progresivamente.

Este tipo de procesos pueden ocurrir igualmente en suelos de regadío cuando el agua de riego mantenga un cierto nivel de salinidad. En estos casos, para evitar la acumulación de sales en la zona de enraizamiento, se hace necesario suplementar las dosis de riego con objeto de que el agua sobrepase la zona de enraizamiento y lave las sales de ella. Con este fin, Ayers et al. (1985) establece los conceptos de fracción de lavado y requerimientos de lavado:

3.3.3.1. Fracción de lavado (FL)

Es la fracción de agua riego que atraviesa la zona radicular y es susceptible de lavar las sales. $FL = Fd / Fr$, siendo Fd los centímetros de agua drenada por debajo de la zona radicular y Fr el total de centímetros de agua aportada.

Del total de agua aportada por el riego (Fr) una parte quedará retenida en el suelo en los horizontes superficiales, correspondiente a la zona del enraizamiento, mientras que otra parte de agua se infiltrará hacia los horizontes profundos. La parte del agua que drena hasta más allá de la zona ocupada por las raíces de las plantas (Fd) es la que al pasar a través de la zona radicular disolverá las sales.

Como criterio orientativo, un valor de FL de 0,5 se puede considerar alto (la mitad del agua aportada pasa a través de la zona radicular y alcanza horizontes más profundos).

3.3.3.2. Requerimientos de lavado (RL)

Es la fracción calculada de agua que debe pasar a través de la zona radicular para mantener el valor de CEs o del RAS en un determinado nivel o por debajo de él. Lógicamente cuanto menor sea el nivel al que hay que mantener los parámetros anteriores, el cual vendrá determinado por el tipo de cultivo, mayores serán los RL. Hay

que tener en cuenta que el valor de CEs nunca podrá ser inferior a la conductividad del agua utilizada en el riego (CEar) y cuanto mayor sea CEar mayor deberá ser RL para evitar la salinización.

Lo ideal será que el valor de FL fuese igual o mayor que RL, de otra forma se producirá un aumento progresivo de la salinidad en profundidad. En este sentido, es importante conocer que las plantas absorben e 70% del agua a través de la mitad superior de su zona radicular

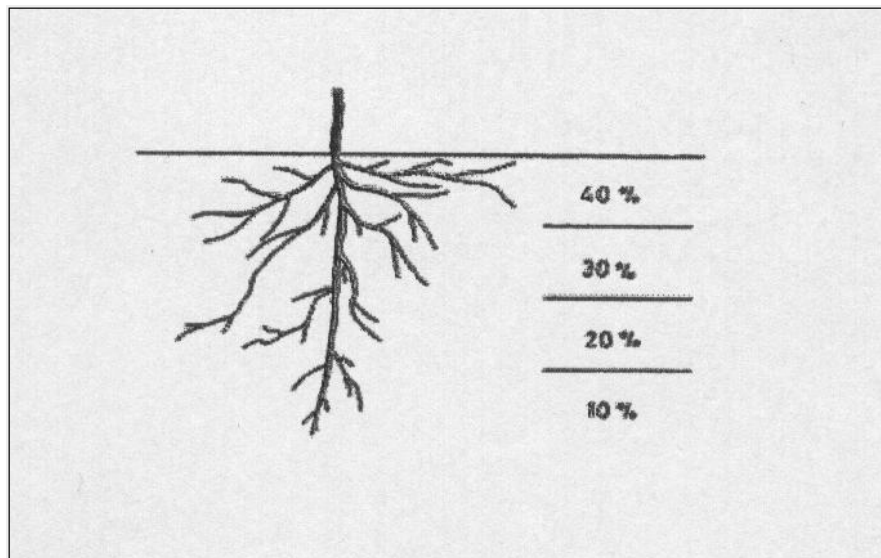


Figura 3.3. Zona radicular del cultivo.

Si a esto le unimos que las plantas responden al nivel de salinidad de la zona menos salina, se comprende que los requerimientos de lavado deben ser suficientes para eliminar las sales de, al menos, la mitad superior de la zona de enraizamiento. En esta zona, la salinidad deberá aproximarse a la del agua de riego, de forma que sea el valor de CEar el que controle la respuesta de las plantas.

3.3.4. Manejo

De lo expuesto hasta ahora se desprende la importancia que tiene el agua de riego en todos los problemas relacionados tanto con la salinización como con la sodización.

Ante condiciones de salinidad, se puede decidir el no cultivo en estos suelos o su utilización, con las limitaciones propias de su condición.

Para un manejo adecuado de estos suelos, no sólo se ha de tener en cuenta las condiciones específicas que nos encontramos, sino que es necesario hacer un seguimiento de los mismos, con el fin de controlar su evolución.

El control periódico, exige unos métodos de medida de la salinidad fiables y que sean operativos a nivel de campo. Los más utilizados han sido, la toma de muestra de suelo y su análisis en laboratorio, que permita conocer todos los parámetros que definen la salinidad. Existen, actualmente, otros métodos de medidas en el campo que son m+a.C. operativas, rápidas y no destructivos y que facilitan el conocimiento de la evolución de la salinidad, aunque la mayoría de ellos sólo permitan conocer la conductividad. Entre éstos, podemos destacar: el sensor de cuatro electrodos y sensor de salinidad, sensibles a las variaciones de humedad del suelo, sensor electromagnético que relaciona la conductividad eléctrica con la recepción de una señal electromagnética inducida por una bobina colocada en la superficie del suelo, la sonda de succión que permite obtener muestras de solución del suelo y determinar en ella conductividad y composición iónica.

En parcelas de seguimiento y para determinados cultivos, existen otros métodos, como el empleo de lisímetros elementales de drenaje que permiten obtener lixiviados y determinar en ellos los iones del agua de drenaje, posibilitando hacer un balance salino del perfil del suelo.

Con ciertos niveles de salinidad, se pueden obtener rendimientos aceptables, si se eligen aquellas plantas tolerantes a estos niveles. Para ello utilizaremos las tablas correspondientes, que

nos sirven como base para la selección de cultivos y predecir los posibles rendimientos. Pero los valores dados en las tablas, pueden quedar alterados tanto por las condiciones específicas de cada parcela, como hemos citado anteriormente, como por la aplicación de técnicas de cultivo adecuadas. Nos referiremos a aquellas técnicas que pueden alterar significativamente dichos valores.

En la preparación del suelo se debe conseguir que el movimiento del agua, tanto en profundidad como en superficie, sea lo más uniforme posible, facilitando el drenaje y el desagüe, con labores que eliminen la suela del arado y actúen sobre los límites abruptos entre horizontes.

Con un riego de presiembra, capaz de lavar las sales precipitadas en la estación seca, se dispondrá de un perfil de partida menos salino. Se evitará la formación de costra superficial, frecuente en estos suelos de elevada concentración de sales y con efectos negativos sobre la nascencia de las plantas.

La práctica de la siembra directa disminuye o evita la formación de costra y conserva un cierto grado de humedad en la superficie del suelo. Con esta misma finalidad, se puede emplear cualquier material sobre el terreno, manteniendo la humedad de los horizontes superficiales y los niveles de concentración de la sales, dentro de los valores aceptables por las plantas seleccionadas.

La siembra debe de realizarse de tal manera que se consiga una buena germinación y nascencia. Para ello la semilla debe estar localizada en zonas donde la concentración de sales sea lo más baja posible y disponga de la humedad suficiente. Si el riego se hace por surcos, el lugar recomendable de colocación de la semilla (o plantones) es en la mitad del lomo. La previsible disminución del porcentaje de germinación que ocasiona la concentración de sales, se puede paliar aumentando la dosis de siembra.

El riego afecta directamente a las condiciones salinas y no solamente por la calidad del agua. La técnica de riego empleada influye en la variación del potencial hídrico del suelo, encontrándose las fluctuaciones más amplias en los sistemas de gravedad (por inundación) y de aspersión y manteniéndose casi constante este potencial en los riesgos de alta frecuencia (aspersión y goteo).

Igualmente estos sistemas inciden en los contenidos de humedad del suelo y como consecuencia en la variación de la concentración de sales, de la solución del mismo. Los riesgos de alta frecuencia y localizados, mantendrán esta concentración casi uniforme dentro de la zona mojada, pero será elevada en los límites de ésta. La distribución de sales será más uniforme en los de gravedad y aspersión, pero a medida que los intervalos entre riegos aumentan, las variaciones en el contenido de humedad lo harán también y como resultado la concentración de sales, encontrándose las conductividades menores, inmediatamente después del riego y las mayores al final de cada intervalo.

El lavado de sales será mayor con los riegos de gravedad y aspersión y menor en los localizados. A medida que la eficacia del riego calculada para compensar solamente la evapotranspiración, sea más alta, los lavados de sales serán menores, lo cual, tendrá su incidencia en los rendimientos. Esta consideración ha de tenerse en cuenta cuando se utiliza la técnica de riegos deficitarios.

La fertilización ha de realizarse adecuadamente, especialmente en cuanto a la selección y localización de los abonos. Han de aplicarse abonos que no eleven los contenidos iónicos causantes de la salinidad. Por el contrario han de emplearse aquellos que puedan mejorar estos contenidos y faciliten el intercambio iónico desde el punto de vista de su lavado.

La aplicación de los fertilizantes a través del agua de riego, altera la composición de sales de ésta y como consecuencia de la solución del suelo. Se deben seleccionar clases y cantidades máximas de abono por volumen de agua de riego aplicada, para no incidir negativamente en la presión osmótica de la solución de suelo.

Esta técnica, normalmente es empleada en riegos localizados y como consecuencia actúa con rapidez y directamente sobre el volumen de suelo explorado por las raíces, por lo cual, puede tener consecuencias negativas, o beneficiosas si se utilizan productos que mejoren las condiciones químicas del agua del suelo. Finalmente todos aquellos fertilizantes que mejoran las propiedades físicas del suelo facilitarán el movimiento de agua del perfil. La incorporación de materia orgánica actúa sobre estas propiedades e incrementa su fertilidad.

3.3.5. Causas de salinidad

El proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio del Ca y el Mg se le denomina salinización. Cuando es el Na el que predomina netamente el suelo evoluciona de muy distinta manera, desarrollándose un proceso, con resultados completamente distintos, que es el llamado alcalinización.

Dos son las condiciones necesarias para que se produzca la acumulación de sales en los suelos: aporte de sales y su posible eliminación ha de estar impedida

3.3.5.1. Origen de las sales

Las sales, tanto las de Ca, Mg, K como las de Na, proceden de muy diferentes orígenes. En líneas generales, pueden ser de origen natural o proceder de contaminaciones antrópicas.

3.3.5.2. Causas naturales

1) En primer lugar pueden proceder directamente del material original. Efectivamente algunas rocas, fundamentalmente las sedimentarias, contienen sales como minerales constituyentes. Por otra parte en otros casos ocurre que si bien el material original no contiene estas sales, se pueden producir en el suelo por alteración de los minerales originales de la roca madres.

2) Por otra parte, también las sales disueltas en las aguas de escorrentía, se acumulan en las depresiones y al evaporarse la solución se forman acumulaciones salinas. Muchos de los suelos salinos deben su salinidad a esta causa.

3) También frecuentemente los suelos toman las sales a partir de mantos freáticos suficientemente superficiales (normalmente a menos de 3 metros). Los mantos freáticos siempre contienen sales disueltas en mayor o menor proporción y en las regiones áridas estas sales ascienden a través del suelo por capilaridad. En general, la existencia de mantos freáticos superficiales ocurre en las depresiones y tierras bajas, y de aquí la relación entre la salinidad y la topografía.

4) La contaminación de sales de origen eólico es otra causa de contaminación. El viento en las regiones áridas arrastra gran cantidad de partículas en suspensión, principalmente carbonatos, sulfatos y cloruros que pueden contribuir en gran medida a la formación de suelos con sales.

5) El enriquecimiento de sales en un suelo se puede producir, en las zonas costeras, por contaminación directa del mar, a partir del nivel freático salino y por la contribución del viento.

6) En algunas ocasiones, la descomposición de los residuos de las plantas, liberan sales que estaban incluidas en sus tejidos y contribuyen de esta manera a aumentar la

salinidad del suelo; otras veces las plantas contribuyen a la descomposición de minerales relativamente insolubles y a partir de ellos se forman sales.

3.3.5.3. Contaminación antrópica

La salinidad del suelo también puede producirse como resultado de un manejo inadecuado por parte del hombre. La agricultura, desde su comienzo, ha provocado situaciones de salinización, cuando las técnicas aplicadas no han sido las correctas.

1) La actividad agraria y especialmente el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad: cuando se han empleado aguas conteniendo sales sin el debido control (acumulándose directamente en los suelos o contaminando los niveles freáticos), o bien cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, situadas en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación.

Es clásico el ejemplo de la región de Mesopotamia en la que la utilización de aguas de riego salinas condujo a la salinización de los suelos. La pérdida de la productividad de las tierras fue la causa de caída de la civilización sumeria hace unos 5000 años. Hoy día se acepta que la mayor parte de los suelos bajo riego presenten algunas pérdidas de productividad por problemas de salinidad.

2) También se ocasionan problemas graves de salinización en superficies de cotas bajas, cuando se realizan transformaciones de riego de áreas situadas en zonas altas y no se ha previsto su influencia en aquellas otras. Directamente por la acción de las aguas de riego, pero también se puede producir por las movilizaciones de tierras que pueden provocar la aparición de rocas salinas en la superficie del terreno que además de

contaminar a los suelos in situ provocarán la acumulación en los suelos de las depresiones cercanas por acción de las aguas de escorrentía.

3) El empleo de elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles, más allá de las necesidades de los cultivos, es otra de las causas que provocan situaciones de altas concentraciones de sales, que contaminan los acuíferos y como consecuencia los suelos que reciben esta agua.

4) Finalmente la actividad industrial, en ocasiones, puede acarrear situaciones serias de acumulación de determinadas sales en los suelos situados bajo su zona de influencia, por medio de la contaminación atmosférica o mediante las aguas que discurren por su cuenca hidrográfica.

3.3.6. Eliminación de sales impedida

La segunda condición que se debe cumplir para la formación de un suelo salino es que la posible eliminación de las sales se encuentre fuertemente impedida. Esto se produce por la acción del drenaje y del clima.

Es necesario que el agua circule lentamente, para que impregne el suelo, disuelva las sales y estas se distribuyan en el perfil sin que puedan eliminarse grandes cantidades de ellas. Ello se origina en suelos con malas condiciones de drenaje.

Por otra parte, el clima ejerce una acción también fundamental en la formación de estos suelos, hasta el punto de que en un principio se pensó que el clima árido era indispensable. Y de hecho la mayoría de los suelos salinos se encuentran desarrollados bajo climas más o menos áridos, pero al haberse encontrado suelos salinos formándose bajo otros tipos de climas hoy se acepta que los climas áridos favorecen enormemente la formación de estos suelos y su conservación, pero no es un requisito excluyente.

Bajo este clima, los breves períodos húmedos provocan la disolución de las sales, y con ello su movilización, mientras que con las intensas y largas sequías se originan fuertes evaporaciones, que produce la ascensión de los mantos freáticos y al intensificarse la evaporación concentran las sales de la solución del suelo, que precipitan acumulándose en determinados horizontes del perfil.

Bajo climas húmedos, las sales solubles en un principio presentes en los materiales del suelo, son lavadas y transportadas a horizontes inferiores, hacia los acuíferos subterráneos y finalmente llevadas a los océanos.

Por consiguiente, normalmente no existen problemas de salinidad en regiones húmedas excepto en los casos de contaminación agrícola e industrial o en zonas expuestas a la influencia del mar, como sucede con los deltas o marismas.

Es decir que, resumiendo, para que se puedan formar estos suelos se necesitan una serie de condiciones muy particulares y de ellas las más favorables son:

- a. Roca madre sedimentaria con alto contenido en sales solubles.
- b. Partes bajas de relieve, como los fondos del valle y las depresiones (manto freático cercano a la superficie, zonas de recepción de aguas de escorrentía superficial e hipodérmica, suelos de texturas finas con mal drenaje).
- c. Zonas próximas al mar o a lagos salados.
- d. Malas condiciones de drenaje.
- e. Clima árido (además de escasez de precipitaciones, la red fluvial está poco desarrollada, presentándose frecuentes cuencas endorreicas, en las que se irán acumulando las sales).
- f. Riegos con sales y fertilizaciones excesivas.

3.3.7. Efectos de salinidad y sodicidad en el suelo

3.3.7.1. Salinidad

El efecto de la salinidad sobre las plantas es diverso y variable. Existe una clasificación generalizada que agrupa las plantas en halófitas y no halófitas. Las primeras se refieren a aquellas plantas que poseen mecanismos de resistencia a la salinidad, aunque su grado de tolerancia es muy variable. La mayor parte de las plantas cultivadas, se consideran como no halófitas, siendo las más tolerantes la mayoría de los cereales.

En general, los paisajes de los suelos salinos se caracterizan por desarrollar una vegetación escasa, con frecuentes claros.

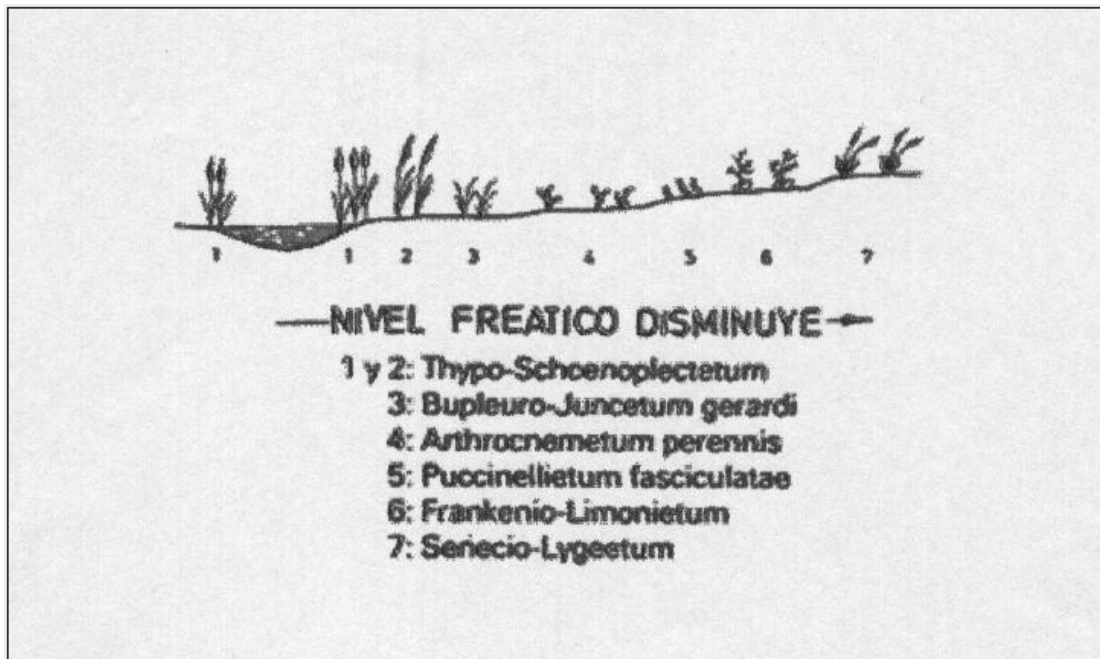


Figura 3.4. Nivel Freático en el suelo.

Los efectos de la salinidad se podrían agrupar bajo tres aspectos diferentes: relaciones hídricas, balance de energía y nutrición.

a. Relaciones hídricas. La concentración de sales solubles eleva la presión osmótica de la solución del suelo. Si tenemos en cuenta que el agua tiende a pasar de las soluciones menos

concentradas a las más concentradas, con objeto de diluir éstas últimas e igualar las presiones osmóticas de ambas, se comprende que cuando la concentración salina de la solución del suelo es superior a la del jugo celular de las plantas, el agua tenderá a salir de éstas últimas hacia la solución del suelo.

Este efecto llevó a Shimper (1903) a plantear la teoría de la sequedad fisiológica, en la que se postula que en medios salinos, aunque exista una humedad elevada, las plantas sufren estrés hídrico, se secan y acaban muriendo.

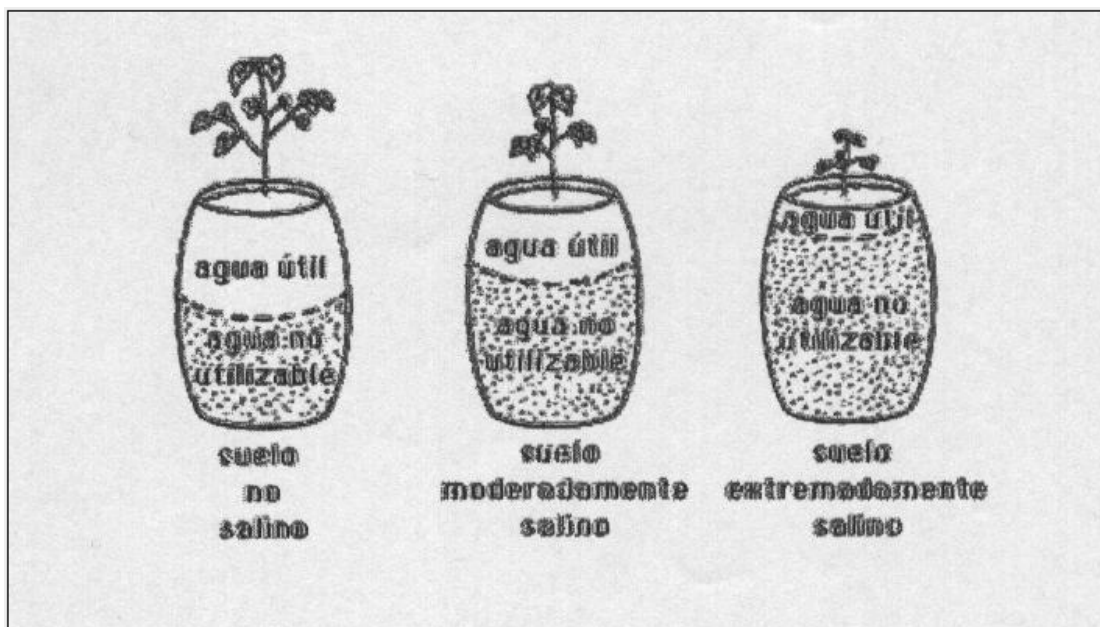


Figura 3.5. Relaciones hídricas.

b. Balance energético. No obstante, esta teoría no describe completamente todos los efectos perjudiciales de la salinidad, ya que en ocasiones las plantas no sufren estrés hídrico sino que disminuyen considerablemente su altura. Para explicar este efecto, Vemstein (1961) desarrolló la teoría del ajuste osmótico, la cual propone que las plantas, al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo, se ven obligadas a una adaptación osmótica de sus células para poder seguir absorbiendo agua; adaptación que requiere un consumo de energía que se hace a

costa de un menor crecimiento. Aceves (1979) propone la teoría de la división y el crecimiento celular, en la cual la disminución del crecimiento se atribuye a que las sales afectan a la división celular, producen un engrosamiento prematuro de las paredes celulares y limitan el crecimiento de forma irreversible.

c. Nutrición. En el aspecto nutricional, se produce una serie de importantes modificaciones, debido, por un lado, a las variaciones de pH que afectan a la disponibilidad de los nutrientes, y por otro, a las interacciones ocasionadas por la presencia en exceso de determinados elementos. Tal sucede con los cloruros y nitratos y fosfatos, el calcio y el sodio o los del potasio y sodio. La dominancia de calcio provoca antagonismos, entre otros, sobre el potasio, magnesio, hierro, zinc y zinc. Sin embargo, existen relaciones de sinergismo entre potasio y hierro magnesio y fósforo.

Igualmente la presencia en exceso de ciertos iones puede provocar toxicidad, debido a su acumulación en distintas partes de las plantas, como pueden ser las semillas, los tallos y las hojas. Los más significativos, en este aspecto, son los cloruros, el sodio y el boro, afectando con mayor incidencia a los cultivos plurianuales.

3.3.7.2. Sodicidad

La sodicidad o alcalinización se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Junto a estas sales de base fuerte NaOH y ácido débil (H_2CO_3), existen importantes cantidades de sales sódicas neutras carentes de propiedades alcalinizantes (principalmente cloruros y sulfatos) y sales de calcio y magnesio.

Un elevado contenido en Na^+ en la solución del suelo, en relación con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provocaría,

dada su baja densidad de carga (elevado radio de hidratación y baja carga), el aumento del espesor de la doble capa difusa, los efectos de repulsión entre los coloides y, con ellos, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica.

Según varios autores la concentración de Na^+ frente a Ca^{++} y Mg^{++} en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70% para que el Na^+ pueda desplazar al Ca^{++} y Mg^{++} en el complejo de cambio, dada la menor energía de absorción del sodio. Es generalmente admitido que para que el sodio juegue un importante papel en la evolución del suelo, es decir, para que se produzca la alcalinización, la concentración de sodio absorbido frente a los otros cationes ha de superar el valor crítico del 15%, o sea $\text{Na} / \text{S} > 15\%$ (S = suma de otros cationes absorbidos).

En los suelos sódicos, es el sodio el que causa la toxicidad, que podemos centrar en tres vías distintas: efecto nocivo del sodio activo para el metabolismo y nutrición de las plantas; toxicidad debida a los bicarbonatos y otros iones; elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos (Simón, 1996).

De las sales solubles son los sulfatos los que menos toxicidad presentan. Las sales cloruradas son altamente tóxicas. Las sales sódicas presentan una toxicidad muy alta y además su efecto adverso se ve aumentado por el elevado pH que originan (9,5 a 10,5).

3.3.8. Recuperación de suelos salinos y sódicos

Para la recuperación de suelos salinos es necesario el lavado de las sales, mediante el cual, o son transportadas a horizontes más profundos de los explorados por las raíces de las plantas, o son evacuadas a otras zonas, por medio de drenes. Las zonas receptoras no deben ser sensibles a la contaminación originada.

El manejo del suelo, para la eliminación de las sales, se realiza de distinta manera y con resultados diferentes según que el problema tóxico sean las sales solubles o el sodio en el complejo de cambio (carbonato y bicarbonato sódicos).

En el primer caso su planteamiento es muy sencillo y su realización práctica también es relativamente fácil, en general, pero si el problema de toxicidad lo representan las sales alcalinas de sodio el problema es más complejo y los resultados son aún más problemáticos.

Para eliminar las sales solubles, basta con regar abundantemente con lo que se produce el lavado de las sales que no se habría producido por causa de la aridez.

El tipo de sales presentes va a condicionar las posibilidades de recuperación:

a. Para los cloruros sódicos el lavado es relativamente fácil en suelos con yeso, en los que el Ca^{2+} que se libera no permite que el Na^{+} pase a forma intercambiable.

b. La eliminación del cloruro magnésico y del sulfato magnésico del suelo es difícil, ya que el magnesio, debido a su alta densidad de carga tiende a ocupar las posiciones de intercambio, desplazando a los iones monovalentes durante el lavado; por lo que su lavado requeriría enmiendas cálcicas.

Para conseguir el lavado en suelos de secano, se debe preparar el terreno para asegurar una infiltración del agua de lluvia lo más elevada posible. Esto se conseguirá mejorando las propiedades físicas del suelo, incrementando el tiempo de contacto del agua de lluvia con su superficie, mediante la construcción de terrazas, y disminuyendo o eliminando la escorrentía con labores adecuadas y manteniendo una cobertura vegetal.

Además de regar, en la gran mayoría de los casos, es necesario extraer artificialmente el agua que se ha infiltrado en el suelo para evitar que ascienda el nivel freático de la zona que

aportaría nuevas sales al suelo. Para ello se instalan a determinada profundidad del suelo un sistema de drenes (tubos de recogida del agua) que evacua esta agua a unos canales de desagüe.

3.4. Parámetros adicionales en el agua de riego

En el laboratorio agronómico se determinarán una serie de parámetros que nos ayudarán a conocer la calidad del agua de riego:

3.4.1. pH

Es la medida específica de la acidez (1-7) y de la alcalinidad (7-14).

3.4.2. Conductividad eléctrica (mS/cm)

Expresa la concentración total de sales solubles contenidas en las aguas de riego. Medir la conductividad eléctrica mediante un conductímetro provisto de célula de conductividad apropiada.

La conductividad eléctrica se puede expresar en diferentes unidades y sus equivalencias son las siguientes:

Micromhos/cm=miliSiems/cm=umhos/cm=uS/cm

Milimhos/cm=miliSiems/cm=mmhos/cm=mS/cm

1 milimhos/cm=1 miliSiems/cm=1000micromhos/cm=1000microSiems/cm

3.4.3. Aniones

Carbonatos y bicarbonatos: Determinación de la alcalinidad del agua de riego con solución de ácido clorhídrico a los puntos sucesivos de equivalencia del anión carbonato (pH 8,3) y del anión bicarbonato (pH 4,0)-

Carbonato (meq/l): valoración con HCl 0,01 N hasta viraje de la fenolftaleína.

Bicarbonato (meq/l): En la misma solución del carbonato, continuar la valoración con ácido HCl 0,01 hasta viraje del naranjado de metilo.

Sulfatos: Reducción de Nitratos a Nitritos con solución de sulfato de hidracina.

Medición colorimétrica a 549 nm en presencia de sulfanilamida y naftiletilendiamida.

Cloruros: Determinación potenciométrica de los cloruros con electrodos de plata.

3.4.4. Cationes

Na, K, Ca y Mg (meq/l): Medida directa por Espectroscopia de Absorción Atómica.

3.4.5. Boro

Es un elemento que de forma rutinaria no se determina, pero para ciertos cultivos puede ser tóxico en concentraciones muy pequeñas. Se puede determinar con el Autoanalizador Colorimétrico (Technicon) por UV-Visible.

Tipo de agua según el Boro	Cultivos sensibles p.p.m.	Cultivos semitolerantes p.p.m.	Cultivos tolerantes p.p.m
1	<0,33	<0,67	<1,00
2	0,33 a 0,67	0,67 a 1,33	1,00 a 2,00
3	0,67 a 1,00	1,33 a 2,00	2,00 a 3,00
4	1,00 a 1,25	2,00 a 2,50	3,00 a 3,75
5	>1,25	>2,50	>3,75

Figura 3.6. Tipo de agua según el boro.

3.4.6. Sales totales disueltas (mg/l)

Peso de las sales disueltas del agua de riego obtenida por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Se puede determinar mediante la siguiente fórmula, que nos da un valor aproximado:

$$\text{Sales} = \text{CE (micromhos/cm) a } 25^{\circ}\text{C} + 0,64$$

3.4.7. Dureza total

Suma de las concentraciones de calcio y magnesio expresada como mg/l ó ppm de carbonato de calcio.

Clasificación del agua de riego según las ppm de CaCO_3 :

Tipo de agua	p.p.m. de CaCO_3
Muy blanda	<70
Blanda	70 a 140
Semiblanda	140 a 220
Semidura	220 a 320
Dura	320 a 540
Muy dura	>540

Figura 3.7. Tipo de agua.

3.4.8. Índice de Scott

Relaciona la concentración de sodio con respecto a la de cloruros sulfatos. En base a estos elementos se establece la calidad del agua.

Calidad del agua de riego	Valores del Índice de Scout
Buena	> 18
Tolerante	18 a 6
Mediocre	6 a 1,2
Mala	<1,2

Figura 3.8. Calidad del agua de riego.

4. CROPWAT

4.1. Introducción

El grupo de Las Naciones Unidas tienen una oficina en Roma, que se dedica al estudio y asesoría sobre la alimentación y la agricultura que es la Food and Agriculture Organization (FAO).

Esta organización a su vez, desarrolló un programa que utiliza el método Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ET). Los valores de ET son utilizados posteriormente para estimar los requerimientos de agua de los cultivos y el calendario de riego. El programa se llama CROPWAT, el cual puede ser descargado gratuitamente en el sitio web de la FAO (<http://www.fao.org>).

Esta ecuación de Penman-Monteith requiere el promedio diario de temperatura, la velocidad del viento, la humedad relativa, y la insolación para predecir la evapotranspiración.

4.2. Partes del CROPWAT

El CROPWAT está diseñado para que tenga un uso didáctico. Después de abrir el programa, aparece una ventana con cuatro partes bien definidas, que serán descritas a continuación:

- a.- Menú Principal
- b.- Barra de Herramientas
- c.- Informativo de acciones y cálculos.
- d.- Estado de los Datos y los Archivos utilizados.

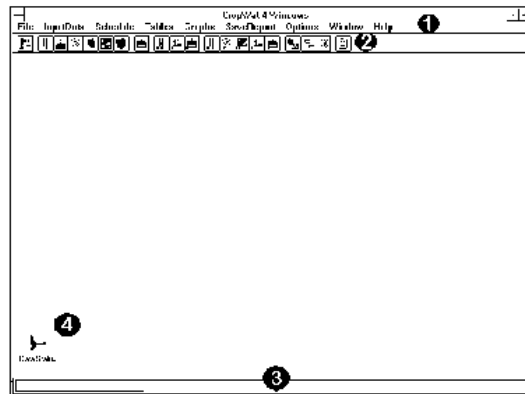


Figura 4.1. Presentación CROPWAT

A continuación describiremos las cuatro partes de inicio del CROPWAT.

a.- Menú Principal:

Aquí está el menú, similar al menú de Microsoft Office. Con “**File**” o “**InputData**” se introducen los datos del caso en estudio.

Con “**Schedule**” se pueden ingresar los criterios para el calendario y las fechas importantes dentro del estudio que se está analizando.

Después de ingresar los datos, podemos ver los resultados en forma de tablas o gráficos con “**Tables**” o “**Graphs**”.

Y finalmente, para gravar resultados parciales y totales tenemos “**SaveReport**”, con lo que guardamos los resultados y podemos imprimir un reporte de los mismos.

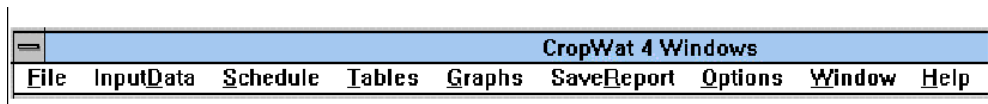


Figura 4.2. Menú principal.

b.- Barra de Herramientas:

En la Barra de Herramientas encontramos íconos que nos permiten hacer lo mismo que en el Menú Principal, pero estos íconos nos ayudan a trabajar con mayor agilidad. Los íconos están organizados por grupos, cada grupo nos permite hacer las siguientes actividades:

Entrada de Datos

Calendario

Tablas

Gráficos

Opciones

Editor

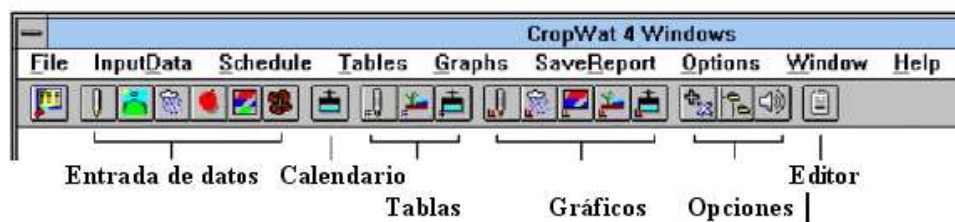



Figura 4.3. Barra de Herramientas.

c.- Informativo de acciones:

En la parte inferior tenemos una ventana que nos permite mirar el estado de las acciones que se están realizando en el programa.

d.- Estado de los Datos y archivos utilizados:

Primero se activa el botón “**Data Status**”, y obtenemos información de los archivos ejecutados y cálculos a realizarse:



Data Status

Data Status			
Data Item	File Name	CWR	Scheduling
Climate	[No Data]	Optional	Optional
ETo	[No Data]	Yes	Yes
Rainfall	[No Data]	Optional	Optional
Crop	[No Data]	Optional	Optional
Cropping Pattern	[No Data]	Yes	Yes
Soil	[No Data]	No	Yes
Scheduling Criteria	[Not Set]	No	Yes
Can Calculate Now?		No	No

Dato
Clima
ETo
Lluvia
Cultivo
Patron de cultivo
Suelo
Criterio de calendario
¿Podemos calcular?

Figura 4.4. Estado de los datos.

4.3. Tipos de archivos utilizados por CROPWAT

De acuerdo al avance del trabajo, se van ingresando los datos del caso particular de estudio y se van creando diferentes archivos, por ejemplo archivos de frecuencia de lluvias, humedad, altura, características del suelo, entre otros.

Los archivos de apoyo utilizados por el CROPWAT son:

- *.PEN, *.PEM archivos de datos climáticos;
- *.CLI, *.CRM datos de lluvia;
- *.CRO archivos con coeficientes de cultivo;
- *.CPT patrón de cultivo;
- *.SOI, *.SOL archivos con datos de suelo;
- *.SNR escenarios de riego;
- *.IRR riegos;
- *.ADJ ajustes del usuario;
- *.TXT archivos de texto con resultados para imprimir;

Estos archivos son organizados y almacenados en diferentes directorios, los cuales pueden ser cambiados por preferencia del usuario, así:

Options > Default File Locations

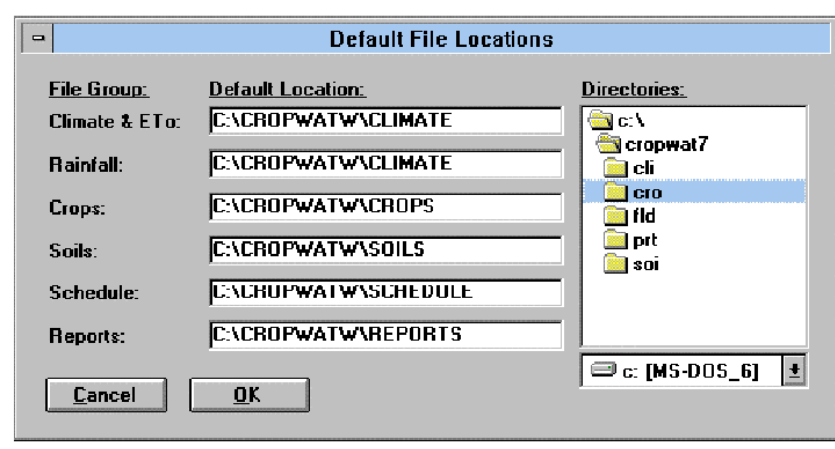


Figura 4.5. Ubicación de los archivos.

4.4. Descripción del menú principal y de la barra de herramientas

Dentro del Menú Principal tenemos los siguientes menús de File, InputData, Schedule, Tables, Grapas, SaveReport, Options, Window, and Help.

A continuación vamos a describir cada uno de estos menús para saber su utilidad y su forma de uso.

4.4.1. File

Este ícono sirve para modificar o abrir algún archivo relacionado con el cultivo, ya sea de datos ingresados o de resultados obtenidos.

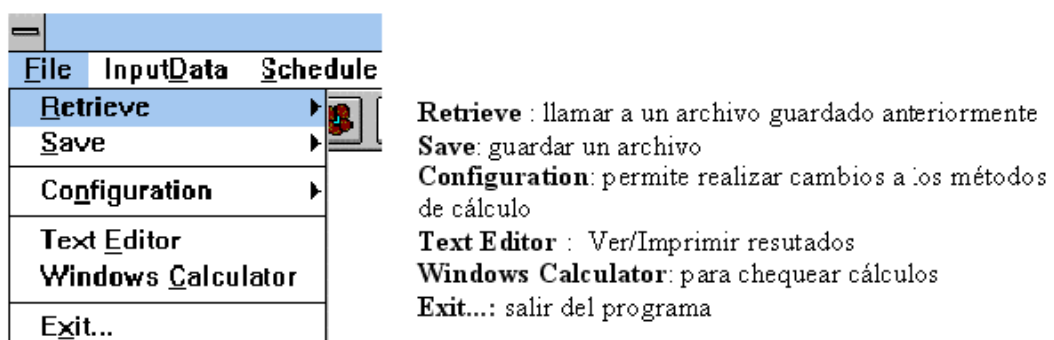


Figura 4.6. Archivo.

4.4.2. Input Data

Sirve para ingresar datos de clima, evapotranspiración, lluvias, cultivos y suelos. Todos estos datos que serán útiles en el proceso de estudio del cultivo en particular.

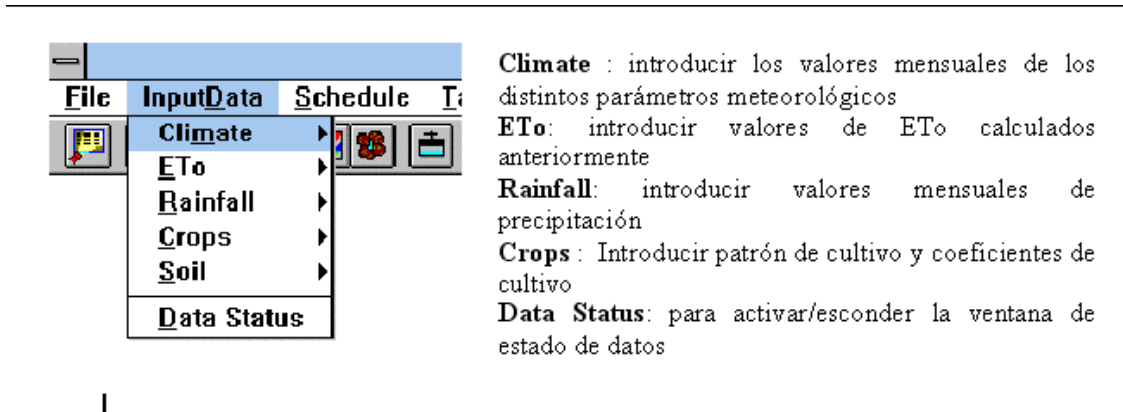


Figura 4.7. Input Data.

4.4.3. Schedule

Este es el menú para el calendario de riego.

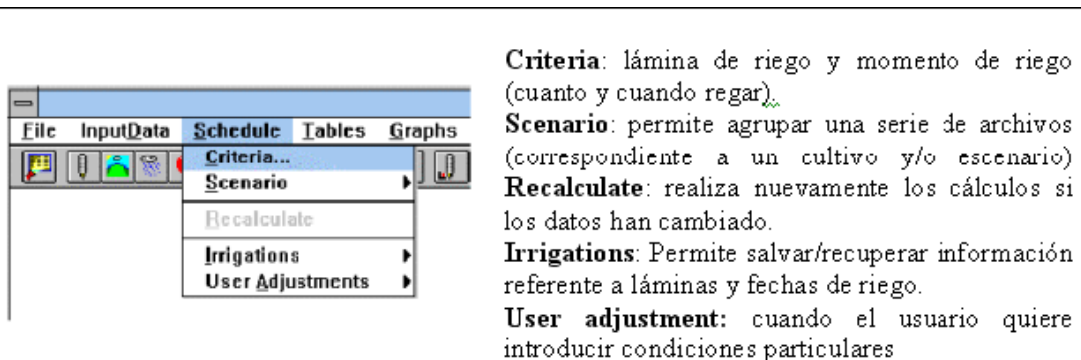


Figura 4.8. Schedule.

4.4.3.1. Criteria: (Schedule > Criteria)

Se abre la ventana de “Calculation Methods”. Aquí se define cuando, como y cuanto regar (momento, frecuencia y láminas de riego). En esta ventana tenemos las siguientes opciones:

1. Scheduling,
2. Rainfall,
3. Effective Rain, and
4. Eto.

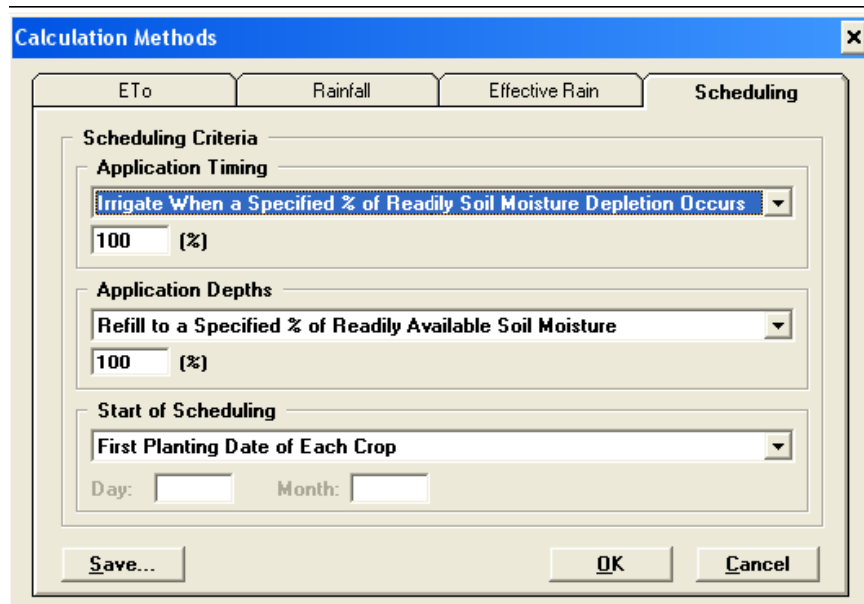


Figura 4.9. Criterio para el horario.

4.4.3.1.1. Scheduling

Las opciones dentro de este menú secundario son:

4.4.3.1.1.1. Application Timing

Es el tiempo para la aplicación de riego. Podemos poner varias opciones como:

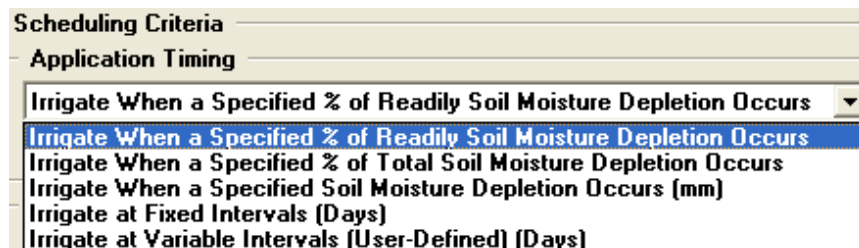


Figura 4.10. Aplicación de Riego.

a) Irrigated When a Specified % of Readily Soil Moisture Depletion

Occurs: Significa que se regará cuando se ha agotado un porcentaje de la lámina fácilmente aprovechable por las plantas (lámina neta, Ln).

$$L_n = \frac{CC - PMP}{100} * D_a * P_r * UR$$

donde,

Ln = lámina neta o agua fácilmente aprovechable por las plantas (mm);

CC = capacidad de campo (%);

PMP = punto de marchitez permanente (%);

Da = densidad aparente (gr/cm³);

Pr = profundidad radicular (mm);

UR = umbral de riego (fracción).

Si se coloca 100 % significa que vamos a regar cuando se agote un 100% del agua fácilmente aprovechable, lo que asegura que el cultivo no sufrirá por estrés hídrico.



Figura 4.11. Aplicación de riego 2.

b) Irrigated When a Specified % of Total Soil Moisture Depletion Occurs:

Significa que se regará cuando se ha agotado un porcentaje de la lámina almacenable (La). La lámina almacenable se define como:

$$L_a = \frac{CC - PMP}{100} * D_a * P_r$$

Si se selecciona esta opción deberá colocarse el umbral de riego en %, 100% si se desea evitar situaciones de estrés hídrico para el cultivo.

c) Irrigated When a Specified Soil Moisture Depletion Occurs: Esta opción se la utiliza cuando se va a utilizar una lámina de riego constante en cada riego, no importa el intervalo de tiempo entre los riegos. Se regará cuando se haya agotado una determinada lámina del agua del suelo (mm).

d) Irrigated at Fixed Intervals (Days): Esta opción se utiliza para facilitar la operación de riego ya que se debe considerar una frecuencia de riego fija (intervalo en días).

e) Irrigated at Variable Intervals – User Defined (Days): Es muy útil cuando se considera una frecuencia de riego variable, definida por el usuario (intervalo en días).

4.4.3.1.1.2. Application Depths

Esta opción se refiere a la lámina de riego, a su profundidad. Podemos seleccionar varias opciones como:

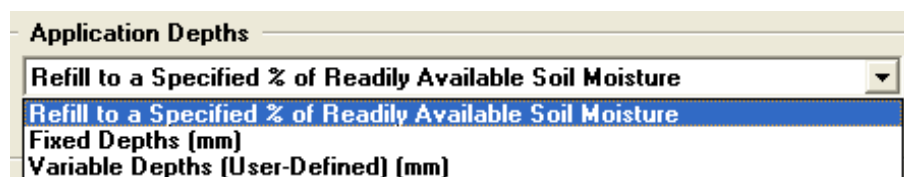


Figura 4.12. Application Depths.

a) Refill to a Specified % of Readily Available Soil Moisture: Que se realizará el riego cuando la capa de mayor disponibilidad de agua tenga un nivel de agua inferior al porcentaje indicado (Ln). El colocar 100% significa que estamos llevado la humedad del suelo a la capacidad de campo.



Figura 4.13. Application Depth 2.

- b) Fixed Depths (mm):** Significa que cada vez que se riegue sobre el cultivo, se lo realizará en capas constantes (mm).
- c) Variable Depths (User defined) (mm):** Esta aplicación se la utiliza cuando existen condiciones específicas del proyecto, ya sea por disponibilidad de agua, por requerimientos, o bien por pruebas de cultivo. Con esta aplicación las láminas de riego se las determina según el caso particular.

4.4.3.1.1.3. Start of Scheduling

En esta opción se indica la fecha del calendario y la organización del cultivo.

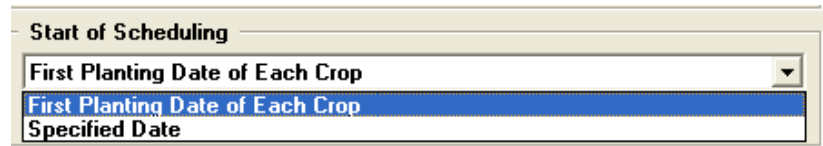


Figura 4.14. Start of Scheduling

- a) First Planning Date of Each Crop:** Con esta opción se hace comenzar el calendario de riego el mismo día de siembra de cada cultivo.
- b) Specified Date:** Con esta opción se hace comenzar el calendario de riego un día específico arbitrario.

4.4.4. Tables, Graphs

Durante el estudio del caso particular, existe mucha información que se almacena como ingreso de datos o como resultados del estudio, todos estos resultados se almacenan en gráficos o en tablas que muestran estos números en una manera didáctica y fácil de entender.

Esto se puede hacer a través del Menú Principal, por medio de las pestañas de Tables y de Graphs, como a continuación se muestra:

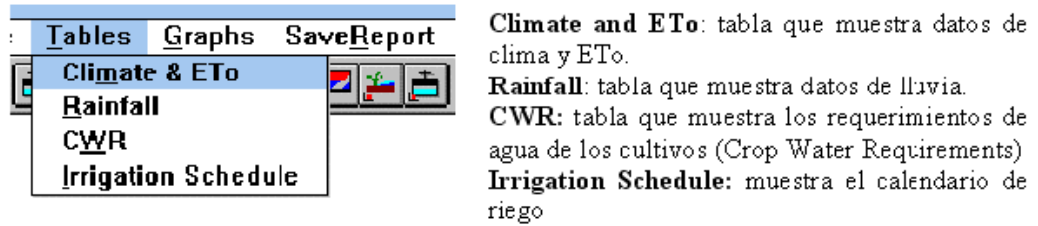


Figura 4.15. Tables.

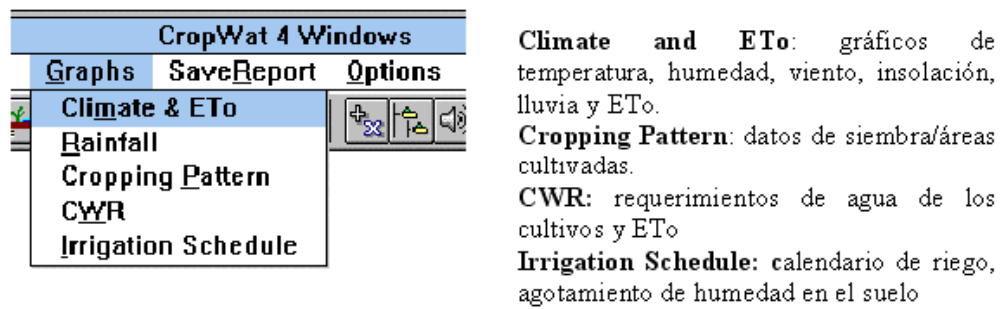


Figura 4.16. Graphs.

O por medio de los íconos que están en la Barra de Herramientas, éstos están agrupados en grupos, uno que muestra tablas y el otro que muestra gráficos:

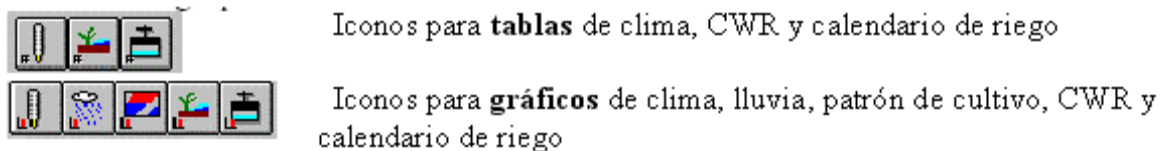


Figura 4.17. Íconos CROPWAT.

4.4.4.1. Climate Data Table: (Tables > Climate & ETo)

Climate Data Table							
Country	India		Station	KURNOOL		Altitude	281 (m)
Month	Max Temp. (C)	Min Temp. (C)	Humidity (%)	WindSpeed (km/d)	SunShine (hours)	Solar Radiation (MJ/m2/d)	ETo (mm/d)
January	31.3	17.0	55.0	104.0	9.7	20.0	4.2
February	34.3	19.3	44.0	112.0	10.3	22.6	5.2
March	37.5	22.5	37.0	121.0	10.7	25.0	6.2
April	39.3	26.0	39.0	138.0	10.1	25.1	6.9
May	40.0	27.2	42.0	225.0	9.2	23.6	8.1
June	35.6	25.0	58.0	354.0	6.5	19.3	7.2
July	32.5	23.8	67.0	363.0	4.9	16.9	5.8
August	32.1	23.5	67.0	302.0	5.4	17.7	5.5
September	31.9	23.3	69.0	207.0	6.0	18.2	4.9
October	32.4	22.4	66.0	95.0	9.5	21.9	4.7
November	31.0	19.2	63.0	78.0	8.4	18.6	3.8
December	30.3	16.6	60.0	69.0	9.3	18.8	3.5
Average	34.0	22.1	55.6	180.7	8.3	20.6	5.5

Figura 4.18. Climate Data Table.

Para guardar esta tabla como un reporte se hace clic en el botón “Report” para asignarle un nombre. Para ver este archivo e imprimirlo se lo abre con Word, o seleccionando File > TextEditor.

4.4.4.2. Monthly Rainfall Data: (Tables > Rainfall)

Monthly Rainfall Data			
	Total	Effective	
January	0.0	0.0	(mm/month)
February	5.0	5.0	(mm/month)
March	10.0	9.8	(mm/month)
April	22.0	21.2	(mm/month)
May	44.0	40.9	(mm/month)
June	91.0	77.8	(mm/month)
July	130.0	103.0	(mm/month)
August	122.0	98.2	(mm/month)
September	147.0	112.4	(mm/month)
October	79.0	69.0	(mm/month)
November	22.0	21.2	(mm/month)
December	3.0	3.0	(mm/month)
Total	675.00	561.50	

Figura 4.19 Monthly Rainfall Data.

En la tabla podemos ver lluvia total y lluvia efectiva. Esta segunda es calculada por CROPWAT a través de ciertos criterios determinados previamente. Si hacemos clic en “Effective”, aparecerá una ventana que, activando “Effective Rain”, permite seleccionar el criterio a utilizar:

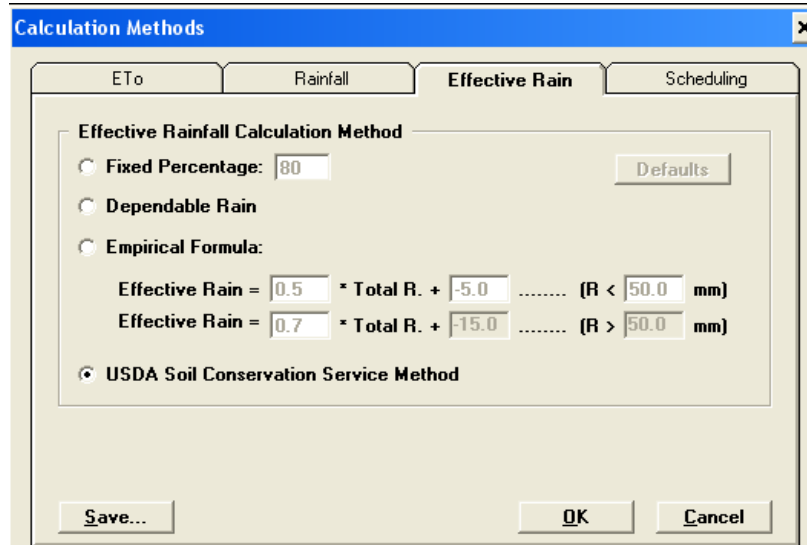


Figura 4.20. Calculation Methods.

4.4.4.3. Climate Data Graph: (Graphs > Climate)

Los gráficos pueden ser observados hacienda clic en el menú principal o hacienda clic en el ícono correspondiente en la barra de herramientas:

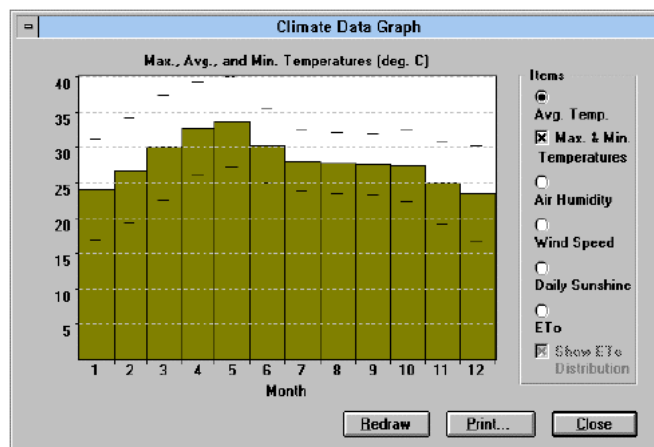


Figura 4.21. Climate Data Graph

En este gráfico se puede ver la temperatura media, con sus límites superiores e inferiores. De la misma manera se pueden mirar los gráficos de humedad relativa, velocidad del viento, insolación y ETo.

Para imprimir, se hace clic en “Print” para que aparezcan una serie de opciones que permiten controlar la impresión:

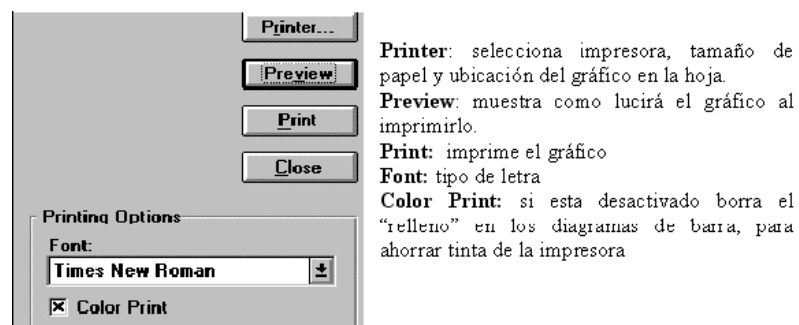


Figura 4.22. Imprimir CROPWAT.

4.4.4.4. Crop Water Requirements Table (CWR): (Tables > CWR)

Aparece una tabla con el requerimiento de agua del cultivo en estudio en las diferentes fechas que dura el sembrío.

Crop Water Requirements Table								
MAIZE (Grain)		Time Step (Days):		10		Update		Report...
[All Blocks]		Irrigation Efficiency (%):		70		Close		
Date	ETo (mm/period)	Crop Area (%)	Crop Kc	CWR (ETm) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
23/3	66.05	100.00	0.33	22.07	2.45	2.40	19.67	0.33
2/4	68.20	100.00	0.54	36.61	4.05	4.05	32.56	0.54
12/4	69.92	100.00	0.76	53.25	6.25	6.18	47.07	0.78
22/4	71.19	100.00	0.99	70.23	9.51	9.15	61.08	1.01
2/5	71.99	100.00	1.18	84.77	13.31	12.46	72.31	1.20
12/5	72.31	100.00	1.20	86.77	17.33	15.82	70.95	1.17
22/5	72.16	100.00	1.20	86.59	21.38	19.04	67.55	1.12
1/6	71.55	100.00	1.20	85.86	25.34	22.04	63.82	1.06
11/6	70.50	100.00	1.16	82.15	29.17	24.79	57.36	0.95
21/6	69.05	100.00	0.96	65.97	32.80	27.30	38.67	0.64
1/7	67.23	100.00	0.72	48.55	36.20	29.56	18.99	0.31
11/7	32.83	100.00	0.55	17.95	19.28	15.55	2.40	0.08
Total	927.14			778.02	217.06	188.34	589.69	[0.72]

Figura 4.23. Crop Water Requirements Table.

En esta tabla existen varias columnas que proporcionan información importante, a continuación se detallan el significado de los números que registran las mismas:

Date: fechas de la información

ETo: Evapotranspiración. (mm/periodo). Si el periodo es 10 días, da el valor de ETo total ocurrido en los 10 días)

Crop Area: Área destinada para el cultivo seleccionado, en porcentaje del área total. Por ejemplo, un terreno con un solo cultivo tiene 100%.

Crop Kc: coeficiente promedio del cultivo seleccionado para el período indicado.

CWR: requerimiento neto de agua del cultivo en mm/periodo.

$$\mathbf{CWR = ETc = ETo * Kc}$$

Total Rain: Lluvia total ocurrida durante el periodo.

Effective Rain: Lluvia efectiva ocurrida durante el periodo.

Irrig. Req.: Requerimiento neto de riego para el periodo considerado.

$$\mathbf{Irrig. Req: = CWR - Effective Rain}$$

FWS (Field Water Supply): Es la cantidad de agua que se necesita para satisfacer la demanda de agua de los cultivos, en litros/segundo/hectárea (caudal módulo). Para la obtención de este valor, se considera la eficiencia de riego:

$$FWS = \frac{\text{Irrig.Req} * 10000}{(\text{Irrig.Efficiency}/100) * \text{TimeStep}(\text{days}) * 24 * 3600}$$

En la línea final de totales (**Totals**) el valor entre corchetes muestra el requerimiento promedio de agua, en l/s por cada hectárea para atender la temporada de crecimiento del cultivo.

Para guardar este reporte como un texto, se hace clic en “Report”.

4.4.4.5. Irrigation Scheduling: (Tables > IrrigationSchedule)

Esta tabla nos muestra el calendario de Riego.

Date	Day No.	TAM (mm)	RAM (mm)	Rainfall (mm)	Etc. Rain (mm)	Etc (mm)	Etc/ETm (%)	SMD (mm)	Irr. Interval (Days)	Net Irr. (mm)	Lost Irr. (mm)	User Adjust. (mm)
21/3	19	69.1	34.6	0.0	0.0	1.9	100.0%	35.3	18	35.3	0.0	
26/3	24	76.7	38.3	1.8	1.8	2.0	100.0%	8.0				
31/3	29	84.2	42.1	1.8	1.8	2.6	100.0%	17.7				
5/4	34	91.8	45.9	2.0	2.0	3.4	100.0%	31.1				
10/4	39	99.3	49.6	2.5	2.5	4.2	100.0%	48.1				
11/4	40	100.8	50.4	0.0	0.0	4.4	100.0%	52.5	21	52.5	0.0	
15/4	44	106.8	53.4	3.2	3.2	5.1	100.0%	16.1				
20/4	49	114.4	57.2	4.0	4.0	5.9	100.0%	40.0				
24/4	53	120.4	60.2	0.0	0.0	6.6	100.0%	65.4	13	65.4	0.0	
25/4	54	121.9	61.0	4.8	0.0	6.8	100.0%	6.8				
30/4	59	129.4	64.7	5.8	5.8	7.6	100.0%	37.4				
4/5	63	135.5	67.7	0.0	0.0	8.3	100.0%	69.6	10	69.6	0.0	
5/5	64	137.0	68.5	6.8	0.0	8.5	100.0%	8.5				

Figura 4.24 Irrigation Scheduling Table.

Debido a que queremos tener una eficiencia máxima, o sea que la reducción esperada de cosecha sea CERO, entonces es importante considerar “Yield Reduction”.

Esta reducción en la producción se da con mayor facilidad cuando el cultivo ha sido sometido a estrés hídrico. Si la reducción en la producción es inaceptable, debemos cambiar los criterios de riego, anteriormente explicados.

En la tabla existen varias columnas con información específica, como a continuación se indica:

Date: fechas de presentación de la información.

TAM: total de agua almacenable por el suelo hasta la profundidad radicular del cultivo para la fecha indicada (La).

RAM: Agua fácilmente disponible para el cultivo (lámina neta, Ln).

Rainfall (mm): Cantidad de lluvia para la fecha indicada. (CROPWAT asume 5 eventos de lluvia por mes).

Efect. Rain (mm). Lluvia efectiva, cantidad de agua que entra a la zona radicular.

ETc: evapotranspiración del cultivo.

ETc/ETm: Debe ser 100 % para que el cultivo no sufra por estrés hídrico.

SMD: Soil Moisture Deficit: Agotamiento de la humedad total del suelo.

Irr. Interval: Intervalo de riego en días desde que se produjo el último riego.

Net.Irrig: Muestra los días donde se requiere el riego y las láminas netas a aplicar. Los días de riego son aquellos donde existe un $\text{Net.Irrig} > 0$.

Lost. Irrig: Pérdida del agua aplicada por el riego, debido a la percolación profunda.

User adjust: Opción que permite al usuario hacer ajustes al calendario.

Igual que en los casos anteriores, el usuario puede imprimir o guardar el reporte haciendo clic en "Report".

4.4.4.6. Irrigation Scheduling Graph: (Graphs > IrrigationSchedule)

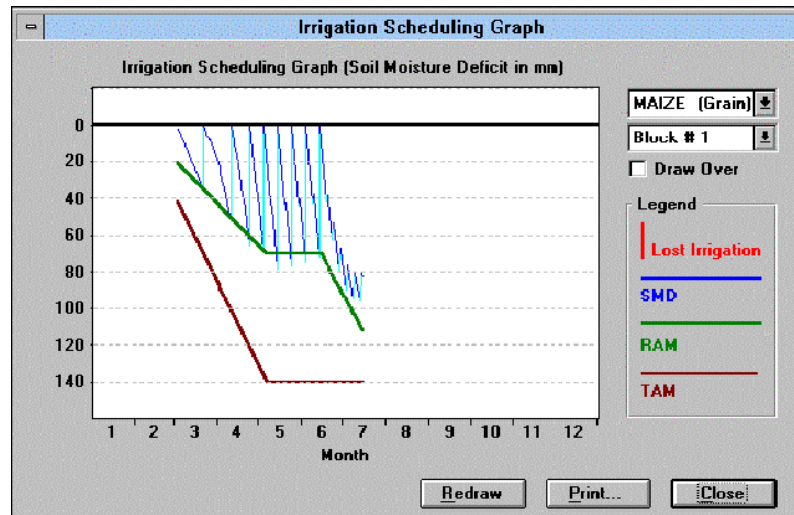


Figura 4.25. Irrigation Scheduling Graph.

Lost Irrigation: Muestra la lámina aplicada de riego que se perdió por percolación.

SMD: Muestra el cambio del agotamiento de humedad del suelo. Cuando es 0 significa que el suelo se encuentra en capacidad de campo. Para evitar estrés hídrico, esta línea no debe superar a RAM.

RAM: Muestra el agua fácilmente aprovechable (L_n), en función de la profundidad radicular del cultivo.

TAM: Muestra la lámina total que el suelo puede almacenar hasta la profundidad radicular (Lámina almacenable, L_a).

La situación mostrada en la Figura anterior es la deseable cuando planifiquemos el riego, donde vemos que el agotamiento de agua en el suelo (SMD) no supera al valor del agua fácilmente aprovechable (**RAM**), mientras que a continuación está una situación que se debe evitar:

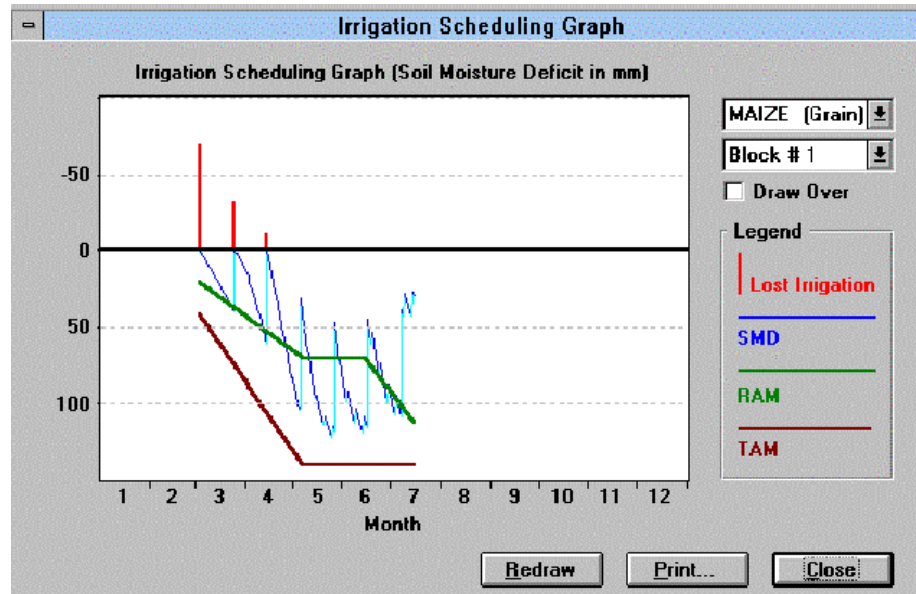


Figura 4.26. Irrigation Scheduling Graph 2.

4.4.5. Ingreso de datos

Para que se entienda mejor la forma de ingresar información al programa CROPWAT y su funcionamiento para el estudio de cultivos, se desarrollará un ejemplo práctico en el cual se calculan requerimientos de riego para un cultivo en particular, el cual se describe a continuación.

Ejemplo:

Se va a sembrar un cultivo de Frijoles secos (Caraotas negras) en Coro, estado de Falcón. La estación meteorológica provee los siguientes datos:

<u>País:</u> Venezuela		<u>Estación :</u> Coro				
Altitud: 16 msnm						
Latitud: 11.25 °N		Longitud: 69.41 °O				
Mes	Temp. Max (°C)	Temp. Min (° C)	HR (%)	U2 (Km/d)	n (horas)	Prec. (mm)
Ene	31.0	21.0	76.0	199.0	7.6	47.0
Feb	31.2	21.2	73.0	242.0	8.0	25.0
Mar	31.7	21.7	67.0	242.0	9.1	8.0
Abr	32.7	22.7	83.0	251.0	7.1	12.0
May	33.4	23.4	78.0	156.0	8.0	38.0
Jun	33.6	23.6	74.0	156.0	8.7	22.0
Jul	33.3	23.3	70.0	164.0	9.2	31.0
Ago	33.7	23.7	69.0	156.0	9.1	38.0
Sept	34.0	24.0	79.0	138.0	7.6	54.0
Oct	33.4	23.4	79.0	130.0	7.4	69.0
Nov	32.6	22.6	81.0	147.0	7.0	49.0
Dic	31.4	21.4	78.0	164.0	7.3	60.0

Figura 4.27. Datos de la Estación El Coro, Venezuela.

Datos del Suelo

Textura del Suelo: Franco

CC = 24 %;

PMP = 13 %;

Da = 1.3 gr/cm³

Tasa de infiltración del suelo: 40 mm/día

Datos del Cultivo

Nombre del cultivo: caraota

Día de siembra: 20 de Abril

Longitud de las etapas de desarrollo: 25 días (inicial), 35 (desarrollo), 40 (int.); 20 (final).

Coefficientes de cultivo: 0.42 (etapa inicial), 1.15 (intermedia); 0.35 (final).

Máxima profundidad radicular = 70 cm

Umbral de riego recomendado para todas las etapas = 0.45 (45 %)

Riego

Eficiencia del sistema de riego: 70%

Se piensa regar con una frecuencia de 7 días.

4.4.5.1. Datos Climáticos

Por medio del menú Principal hacemos: InputData > Climate > Enter/Modif.; con lo que se abrirá una ventana para ingresar los datos climáticos mensuales (Monthly Climate Data).

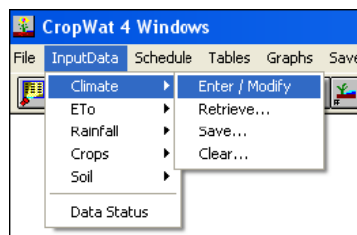


Figura 4.28. InputData Climate.

Aquí se deben introducir los datos a partir del mes en el que comienza la siembra, sin embargo muchas veces es conveniente comenzar desde el mes de enero, esto si el cultivo necesita más de un año para el sembrío. Por ejemplo tenemos:

Monthly Climatic Data

Country: Venezuela Station: Coro

Altitude: 16 (m) Latitude: 11.25 * N Longitude: 69.41 * W

Month: January < Previous Next > Clear

Mean Maximum Temp.: 31.0 Celsius

Mean Minimum Temp.: 21.0 Celsius

Air Humidity: 76.0 %

Wind Speed (@ 2m): 199.0 km/d

Daily Sunshine: 7.6 hrs

Calculate ETo: 4.29 (mm/day) [Penman-Monteith]

Retrieve... Save... Report... Clear All... OK

Figura 4.29. Monthly Climatic Data.

Cuando se hace clic en “Calculate ETo”, los datos de ETo se calculan. Para ingresar datos de otros meses se hace clic en “Next”, y así hasta llenar todos los meses. Cuando ya se tienen ingresados los datos requeridos, se debe dar clic al botón “Save” y darle un nombre al archivo de datos climáticos, ejemplo, coro.pem.

Saving Climatic Data

File name: coro.pem

Folders: c:\cropwatw\climate

KURNOOL.PEM

Save file as type: Climate Files (*.PEM)

Drives: c: hydra

OK Cancel Network...

Figura 4.30. Saving Climatic Data.

4.4.5.2. Datos de ETo

Para observar los datos de ETo calculados en el paso anterior, se selecciona InputData > ETo > Enter/Modify. Una vez que se ven los resultados, se los puede grabar haciendo clic en “Save”. Como nombre se utilizará coro.pmm

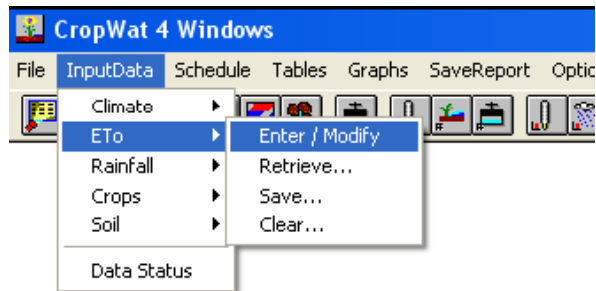


Figura 4.31. InputData ETo.

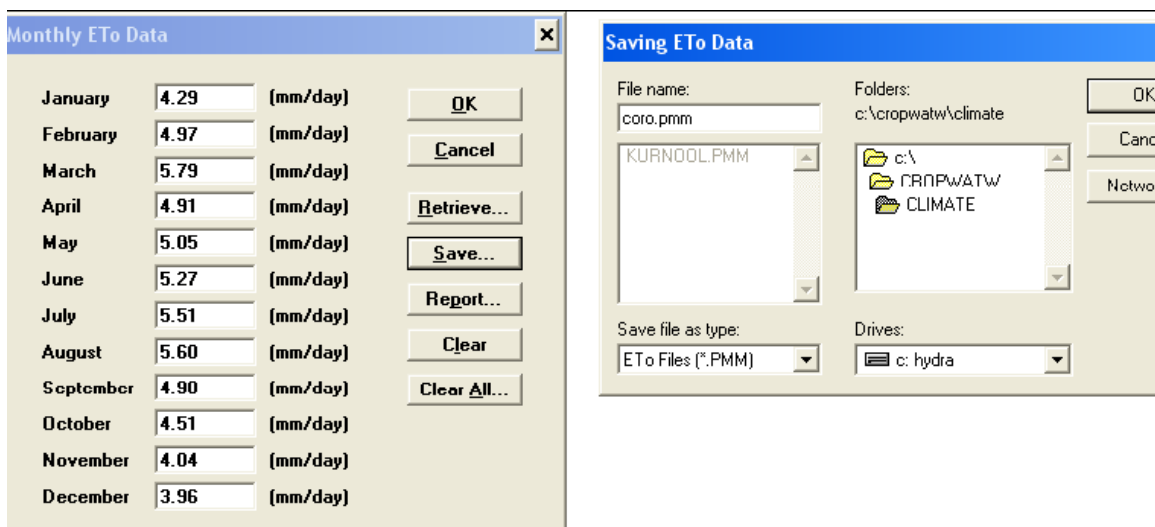


Figura 4.32. Monthly ETo Data.

4.4.5.3. Datos de lluvia

Ahora se ingresan los datos de lluvia. Para esto se abre una ventana de Datos Climáticos (Monthly Rainfall Data), así: InputData > Rainfall > Enter/Modify.

Una vez abierta la ventana, se ingresan los datos de precipitación total de cada mes. La precipitación efectiva es calculada automáticamente por el CROPWAT utilizando el método considerado por defecto, SCSM, o modificados en el criterio estudiado anteriormente.

Para guardar este archivo presionamos “Save”. El archivo se llamará coro.crm.

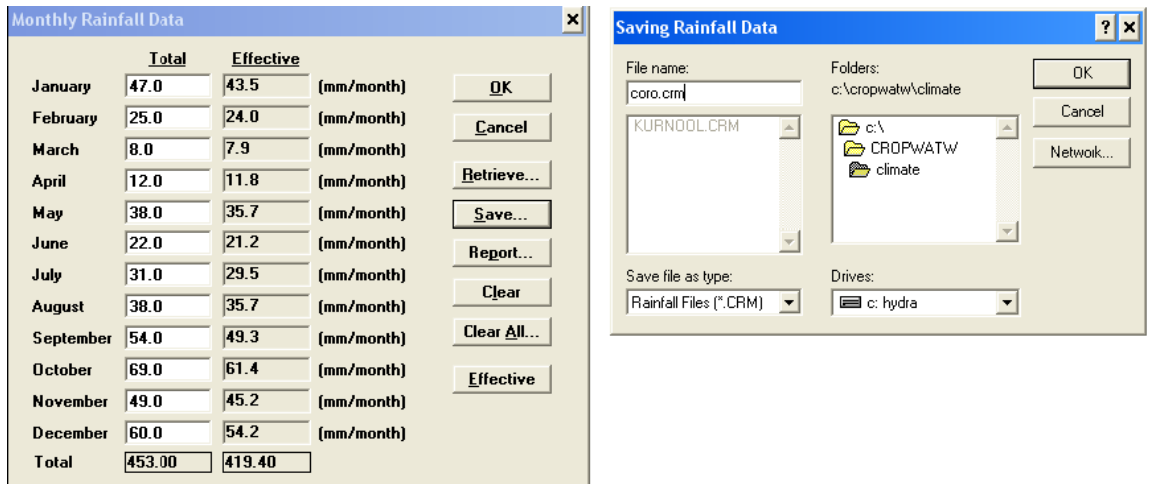


Figura 4.33. Monthly Rainfall Data.

Ahora, si se desea cambiar el método por el que se calcula la precipitación efectiva, se hace clic en “Effective”. Otra ventana se abrirá mostrando los distintos métodos de cálculo de la precipitación efectiva. CROPWAT utiliza por defecto el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (**USDA Soil Conservation Service Method**).

En 1972, el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos sugirió un modelo empírico para el cálculo de precipitaciones, basándose en el potencial del suelo para absorber. Experimentalmente, este potencial de absorción “S” (mm o in) está relacionada con una curva que tiene una característica del tipo de suelo (CN), uso de la tierra y el grado inicial de saturación.

El Valor de S se define empíricamente por las expresiones:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{en pulgadas, ó} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{en milímetros.}$$

Si bien, este es un buen método para nuestra realidad, otro método útil es “Fixed Percentage”, donde tomará el porcentaje especificado de la precipitación total como la precipitación efectiva. Si por alguna razón preferimos no considerar la precipitación, y trabajar todo con riego, entonces colocamos CEOR como porcentaje.

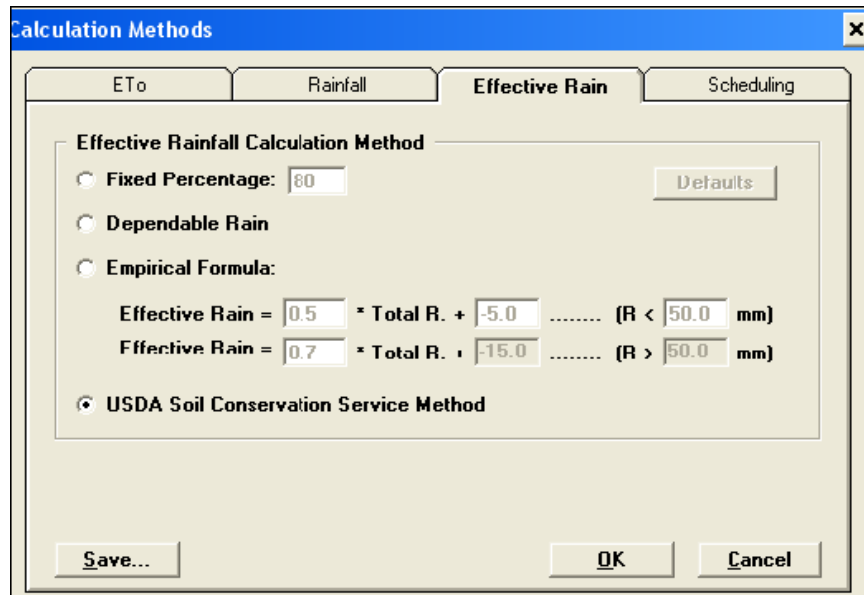


Figura 4.34. Calculation Methods

4.4.5.4. Datos del cultivo

El ingreso de los datos para el cultivo se divide en dos partes. Primero está el ingreso de los patrones de cultivo y luego los coeficientes de cultivo y su tipo. Para introducir los datos del patrón del cultivo se recorre:

InputData > Crops > Cropping Pattern > Enter/Modify

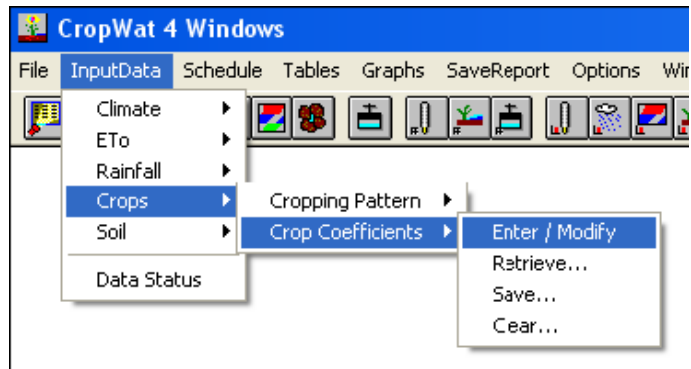


Figura 4.35. InputData Crops.

Y se abrirá la ventana de Datos del Cultivo:

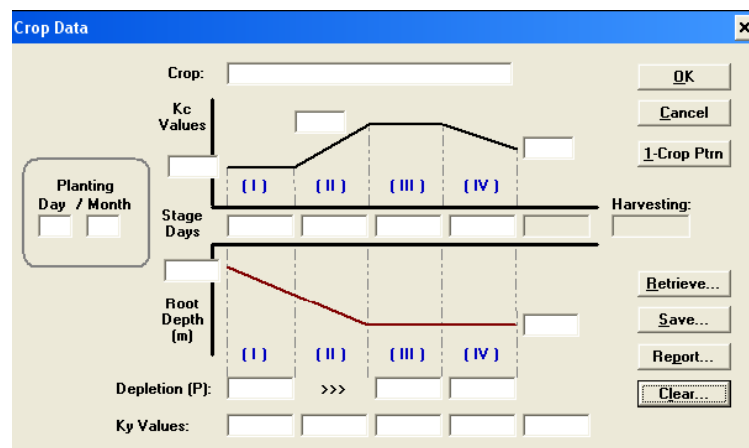


Figura 4.36. Crop Data.

Crop: cultivo;

Kc values: valores de Kc correspondientes a la etapa inicial, intermedia y final;

Planting Day/Month: Día y Mes de siembra;

Stage Days: Duración de las etapas de desarrollo (inicial, desarrollo, intermedia, final);

Root Depth: Profundidad radicular (valor inicial 0,25 – 0,30 m y valor final = profundidad máxima que alcanzan las raíces del cultivo)

Depletion: umbral de riego para las etapas inicial, intermedia y final;

Ky Values: valores de Ky para las cuatro etapas de desarrollo del cultivo.

Cuando no se conocen los valores que esta tabla requiere, se da clic a “Retrieve” para buscar en la biblioteca del CROPWAT el cultivo a utilizar, o uno con características similares.

Para nuestro caso buscaremos el archivo de “Beans Dry”, cultivo similar a las caraotas negras.

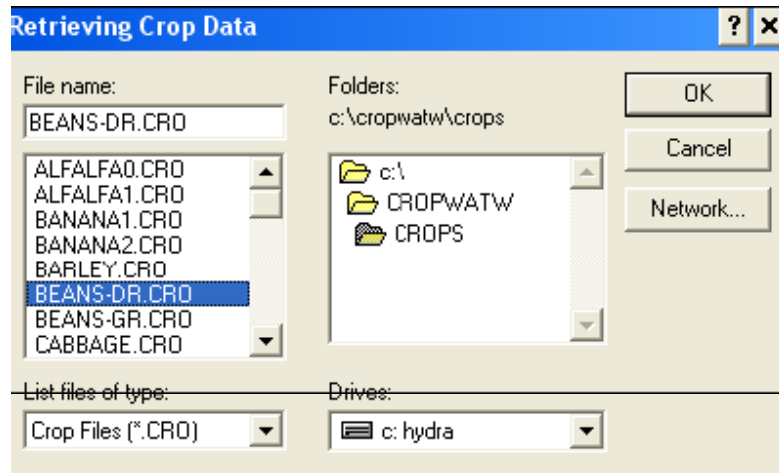


Figura 4.37. Retrieving Crop Data.

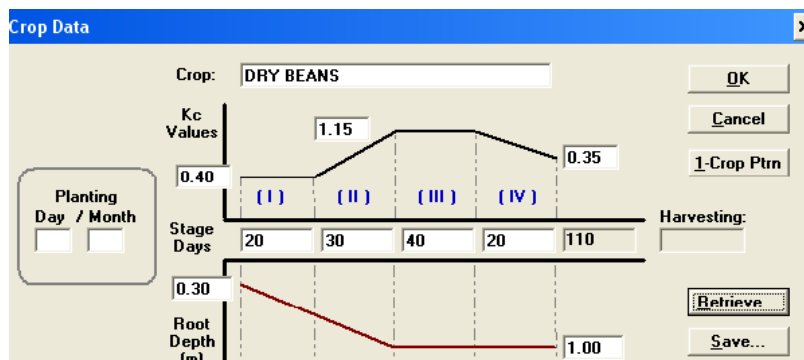


Figura 4.38. Crop Data.

Al modelo que aparece en la tabla se le pueden hacer modificaciones con nuestra información particular. En nuestro ejemplo, Crop = caraota; Kc inicial = 0.42; Longitud etapa inicial = 25 días; Longitud etapa de desarrollo = 35 días; Depletion (umbral) = 0.45 para todas las etapas. De tal manera que la tabla queda así:

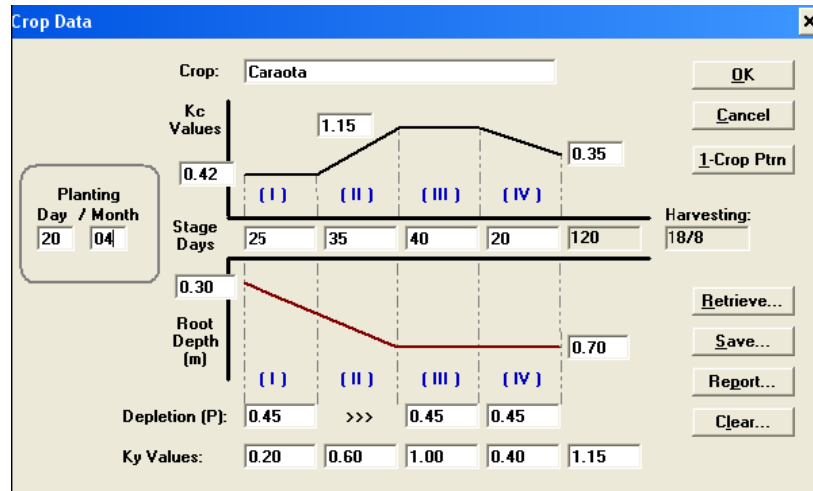


Figura 4.39. Crop Data.

Se procede a guardar la tabla con la información final del cultivo. Se hace clic en “Save” y se nombra al archivo como caraota.cro.

Después de introducir la información del tipo de cultivo, y se procede a ingresar los datos del patrón del cultivo seleccionando

InputData > Crops > Cropping Pattern > Enter/Modify

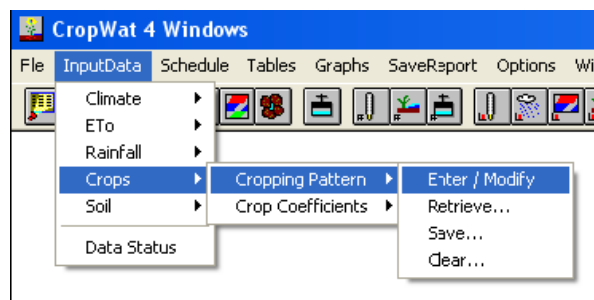


Figura 4.40. InputData Cropping partner.

Una ventana similar a la que se presenta a continuación se abrirá:

Figura 4.41. Cropping Pattern Planning.

Crop No. : Representa el número de cultivo;

Crop Data File: nombre del archivo que tiene los datos del cultivo. En nuestro ejemplo se introduce el archivo creado en el primer paso: caraota.cro

First Planting Day/Month: Día y Mes de la primera siembra;

First Harvesting: Primera cosecha;

Percentage of Total Area Planted to Crop: Porcentaje del área total que se encuentra sembrada con el cultivo.

Number of Staggering Blocks: Número de bloques de siembra, si se selecciona 1 significa que todo el cultivo será sembrado en la misma fecha de siembra en un solo bloque; si se selecciona 2 sembraremos el cultivo en dos bloques: el primero según la fecha de siembra introducida como *First Planting* y la segunda unos días después de sembrada la primera (este número de días se introduce en la celda "*Time interval; Between Planting of Blocks*" que se activará al colocar el numero 2 mencionado).

En el ejemplo se sembró el cultivo en un solo bloque el día 20 de Mayo. Se sembró toda la finca con ese cultivo (100 % del área), por lo que la tabla queda:

Figura 4.42. Cropping Pattern Planning 2.

Para terminar se hace clic en “Save” con el nombre de caraota.cpt

4.4.5.5. Datos del Suelo

Lo primero que se hace es el cálculo de la lámina almacenable por metro de profundidad utilizando la siguiente ecuación:

$$La(\text{mm/m}) = \frac{CC - PMP}{100} * Da * 1000$$

donde:

La = lámina almacenable (mm/m);

CC = capacidad de campo (%);

PMP = punto de marchitez permanente (%);

Da = densidad aparente (gr/cm³).

$$La(\text{mm/m}) = \frac{24 - 13}{100} * 1.3 * 1000 = 143 \text{ mm/m}$$

Ahora que ya hemos calculado el valor de la lámina almacenable podemos ingresar los datos del suelo, así:

InputData > Soil > Enter/Modify.

Con esto se abrirá una ventana de datos de lluvia mensual (Monthly Rainfall Data).

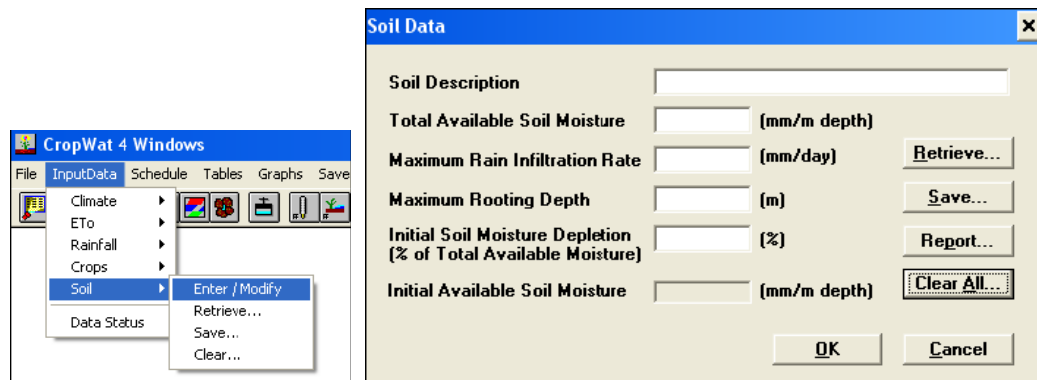


Figura 4.43. Soil Data.

Soil Description: Descripción del suelo;

Total Available Soil Moisture: Lámina almacenable total en mm/m;

Maximum Rain Infiltration Rate: Tasa de infiltración máxima del suelo;

Initial Soil Moisture Depletion: Agotamiento Inicial de humedad en el suelo. Si el suelo se encuentra a capacidad de campo, el agotamiento es de 0 %; si el suelo esta seco el agotamiento es de 100%;

Initial Available Soil Moisture: Humedad disponible inicial en el suelo en mm/m

En nuestro caso tenemos un suelo franco, con una infiltración básica de 40 mm/día, una lámina almacenable de 143 mm/m. Consideremos además que el suelo se encuentra a capacidad de campo para el inicio del calendario de riego.

Parameter	Value	Unit	Action
Soil Description	Franco		
Total Available Soil Moisture	143.0	(mm/m depth)	
Maximum Rain Infiltration Rate	40	(mm/day)	Retrieve...
Maximum Rooting Depth	0.70	(m)	Save...
Initial Soil Moisture Depletion (% of Total Available Moisture)	0	(%)	Report...
Initial Available Soil Moisture	143.0	(mm/m depth)	Clear All...

Figura 4.44. Soil Data 2.

Y para gravar hacemos clic en “Save” y lo nombramos como franco soi

4.4.5.6. Criterios para el calendario de riego

En este punto se introducen los criterios para la definición del calendario de riego.

Schedule > Criterias

Se abre, otra vez, la ventana con los criterios para el calendario de riego ya explicados anteriormente. En nuestro caso se tienen los siguientes criterios:

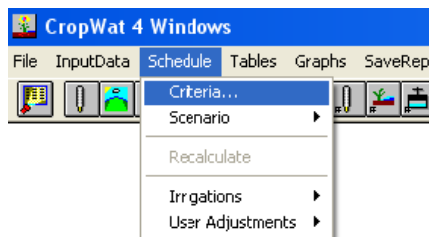


Figura 4.45 Schedule Criteria.

1. En “Application Timing” seleccionemos aplicar el agua con una frecuencia fija de 7 días.

2. En “Application Depth” seleccionemos que vamos a llevar siempre el suelo a capacidad de campo (Refill to a Specified % of Readily Available Water = 100 %)

3. Para el comienzo del calendario seleccionemos el primer día de siembra de cada cultivo (First Planting Date of Each Crop).

La ventana nuestra debe lucir como a continuación. Además se grava esta información haciendo clic en “Save”, y se le nombre criterio.cwg.

The image shows a software window titled "Calculation Methods" with a blue header bar. Below the header are four tabs: "ETo", "Rainfall", "Effective Rain", and "Scheduling". The "Scheduling" tab is selected. Inside the window, there is a section titled "Scheduling Criteria" which contains three sub-sections:

- Application Timing:** A dropdown menu is set to "Irrigate at Fixed Intervals (Days)", and a text box below it contains the number "7" followed by "(Days)".
- Application Depths:** A dropdown menu is set to "Refill to a Specified % of Readily Available Soil Moisture", and a text box below it contains the number "100" followed by "(%)".
- Start of Scheduling:** A dropdown menu is set to "First Planting Date of Each Crop". Below this, there are two text boxes: "Day:" with the value "20" and "Month:" with the value "4".

At the bottom of the window, there are three buttons: "Save..." (with a dotted border), "OK", and "Cancel".

Figura 4.46. Calculation Methods 2.

4.4.6. Análisis de resultados

Los resultados se presentan en tablas y gráficos a través de “Tables” y de “Graphs”, los que se obtienen desde el menú principal o desde los íconos correspondientes en la barra de herramientas.

4.4.6.1. Datos climáticos

(Tables > Climate and ETo)

Climate Data Table							
Country	Venezuela		Station	Coro		Altitude	16 (m)
Month	Max Temp. (C)	Min Temp. (C)	Humidity (%)	WindSpeed (km/d)	SunShine (hours)	Solar Radiation (MJ/m2/d)	ETo (mm/d)
January	31.0	21.0	76.0	199.0	7.6	18.3	4.3
February	31.2	21.2	73.0	242.0	8.0	20.2	5.0
March	31.7	21.7	67.0	242.0	9.1	23.1	5.8
April	32.7	22.7	83.0	251.0	7.1	20.5	4.9
May	33.4	23.4	78.0	156.0	8.0	21.5	5.1
June	33.6	23.6	74.0	156.0	8.7	22.2	5.3
July	33.3	23.3	70.0	164.0	9.2	23.0	5.5
August	33.7	23.7	69.0	156.0	9.1	23.3	5.6
September	34.0	24.0	79.0	138.0	7.6	20.9	4.9
October	33.4	23.4	79.0	130.0	7.4	19.6	4.5
November	32.6	22.6	81.0	147.0	7.0	17.7	4.0
December	31.4	21.4	78.0	164.0	7.3	17.3	4.0
Average	32.7	22.7	75.6	178.8	8.0	20.6	4.9

Figura 4.47 Climate Data Table.

(Graphs > Climate and ETo)

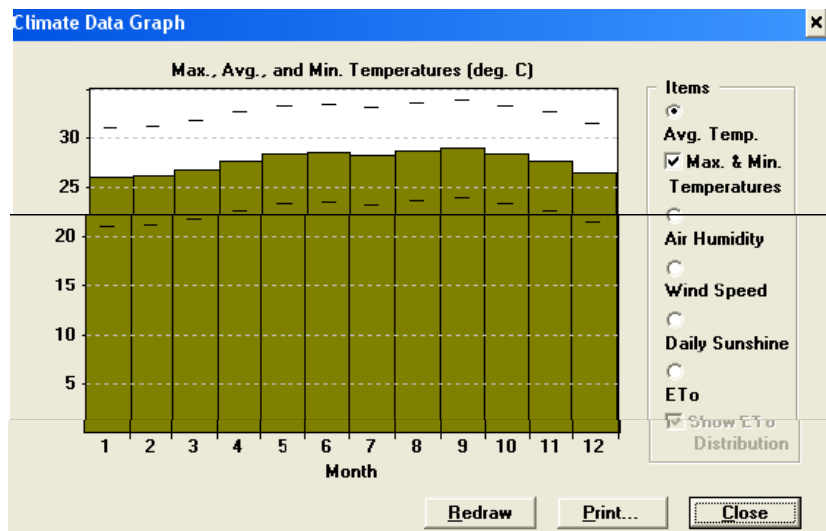


Figura 4.48. Climate Data Graph.

4.4.6.2. Datos de lluvia

(Tables > Rainfall)

Monthly Rainfall Data				
	Total	Effective		
January	47.0	43.5	(mm/month)	OK
February	25.0	24.0	(mm/month)	Cancel
March	8.0	7.9	(mm/month)	Retrieve...
April	12.0	11.8	(mm/month)	Save...
May	38.0	35.7	(mm/month)	Report...
June	22.0	21.2	(mm/month)	Clear
July	31.0	29.5	(mm/month)	Clear All...
August	38.0	35.7	(mm/month)	Effective
September	54.0	49.3	(mm/month)	
October	69.0	61.4	(mm/month)	
November	49.0	45.2	(mm/month)	
December	60.0	54.2	(mm/month)	
Total	453.00	419.40		

Figura 4.49. Monthly Rainfall Data.

(Graphs > Rainfall)

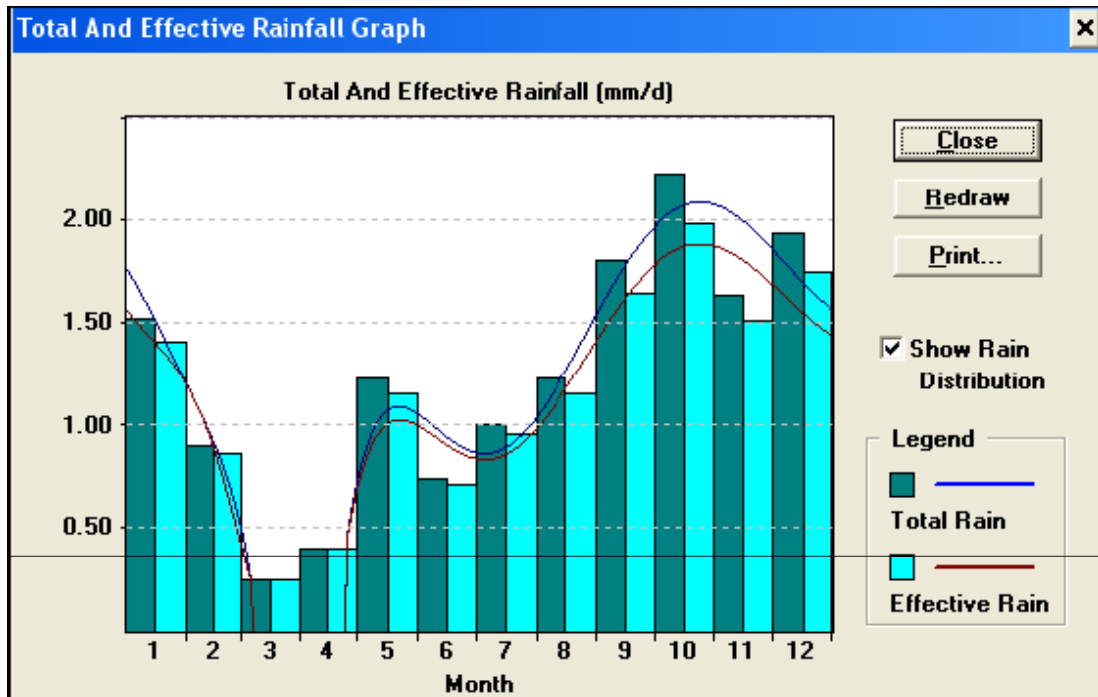


Figura 4.50. Total and Effective Rainfall Graph.

4.4.6.3. Datos CWR

(Tables > CWR)

Crop Water Requirements Table								
Caraota		Time Step (Days): 10		Update		Report...		
[All Blocks]		Irrigation Efficiency (%): 70		Close				
Date	ETo (mm/period)	Crop Area (%)	Crop Kc	CWR (ETm) (mm/period)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irrig. Req. (mm/period)	FWS (l/s/ha)
20/4	53.92	100.00	0.42	22.65	2.83	2.73	19.92	0.33
30/4	54.35	100.00	0.42	22.83	8.63	8.14	14.69	0.24
10/5	54.65	100.00	0.45	24.67	10.52	9.87	14.80	0.24
20/5	54.81	100.00	0.64	35.03	10.80	10.17	24.85	0.41
30/5	54.83	100.00	0.85	46.48	10.27	9.75	36.73	0.61
9/6	54.72	100.00	1.06	57.79	9.50	9.09	48.70	0.81
19/6	54.47	100.00	1.15	62.64	8.87	8.55	54.10	0.89
29/6	54.09	100.00	1.15	62.21	8.61	8.31	53.90	0.89
9/7	53.60	100.00	1.15	61.64	8.83	8.49	53.15	0.88
19/7	53.00	100.00	1.15	60.95	9.54	9.10	51.85	0.86
29/7	52.30	100.00	0.93	48.66	10.69	10.08	38.58	0.64
8/8	51.51	100.00	0.53	27.33	12.18	11.36	15.97	0.26
Total	646.26			532.85	111.27	105.64	427.21	[0.59]

Figura 4.51. Crop Water Requirements Table.

Podemos darnos cuenta que e promedio se requieren 0.59 l/s para regar cada hectárea de caraota; el requerimiento en la etapa de máxima demanda es de 0.89 l/s/ha. Estos valores de FWS toman en cuenta la eficiencia del sistema de riego (en este caso 70%). Todos los valores (ETo, Kc, Lluvia, Lluvia efectiva, Requerimiento de Riego “**Irrig. Req**”) corresponde al periodo de 10 días seleccionado para la representación de los datos (que el CROPWAT toma por defecto). El valor de FWS es calculado como:

$$FWS = \frac{Irrig.Req * 10000}{(Irrig.Efficiency/100) * TimeStep(days) * 24 * 3600}$$

$$FWS = \frac{19.92 * 10000}{(70/100) * 10 * 24 * 3600} = 0.33 \text{ l/s/ha}$$

4.4.6.4. Datos de Irrigación

Table > Irrigation Schedule

Representa la tabla más importante ya que en ella aparece el cultivo Caraota y la reducción de la producción debido a estrés hídrico; en nuestro caso este valor es de 0.0 % lo que significa que nuestro intervalo de tiempo seleccionado (7 días) es conveniente para evitar estrés hídrico en el cultivo.

Date	Day No.	TAM (mm)	RAM (mm)	Rainfall (mm)	Efct. Rain (mm)	ETc (mm)	ETc/ETm (%)	SMD (mm)	Irr. Interval (Days)	Net Irr. (mm)	Lost Irr. (mm)	User Adjust. (mm)
25/4	6	47.7	21.5	2.8	2.8	2.3	100.0%	10.7				
27/4	8	49.6	22.3	0.0	0.0	2.3	100.0%	15.3	7	15.3	0.0	
30/4	11	52.4	23.6	3.9	3.9	2.3	100.0%	2.9				
4/5	15	56.2	25.3	0.0	0.0	2.3	100.0%	12.0	7	12.0	0.0	
5/5	16	57.2	25.7	4.7	0.0	2.3	100.0%	2.3				
10/5	21	62.0	27.9	5.1	5.1	2.3	100.0%	8.6				
11/5	22	62.9	28.3	0.0	0.0	2.3	100.0%	10.9	7	10.9	0.0	
15/5	26	66.7	30.0	5.4	5.4	2.4	100.0%	3.9				
18/5	29	69.6	31.3	0.0	0.0	2.8	100.0%	11.8	7	11.8	0.0	
20/5	31	71.5	32.2	5.4	2.9	3.0	100.0%	3.0				
25/5	36	76.3	34.3	5.4	5.4	3.6	100.0%	14.3	7	14.3	0.0	
30/5	41	81.0	36.5	5.2	5.2	4.1	100.0%	14.3				

Double Click Any Cell in the 'User Adjust.' Column to Adjust the Soil Moisture Balance

Figura 4.52. Irrigation Scheduling Table.

En la columna de “Net.Irrig.” se puede observar las láminas netas de riego a aplicar de acuerdo a las fechas correspondientes. Por ejemplo se puede observar que el día 27 de Abril (7 días después de la siembra, según nuestra frecuencia fija) debemos aplicar una lámina neta de riego de 15.3 mm. La lámina bruta de riego será $15.3 / 0.70 = 21.9$ mm (reacuérdesse que la eficiencia de riego es de 70%).

Posteriormente, 7 días después, el 4 de Mayo debemos aplicar una lámina neta de riego de 12.0mm. Si seguimos viendo hasta el final de esta columna (ver figura abajo) veremos que debemos aplicar un total de 438.6mm de total del ciclo de cultivo. La ETc total es de 532.9mm y la precipitación efectiva total es de 94.3mm.

La lámina total de 438.6mm es la demanda neta; para estimar la demanda bruta (cantidad real a aplicar) debemos dividir este valor entre la eficiencia del sistema de 70% ($438.6 / 0.70 = 626.6$ mm)

Date	Day No.	TAM (mm)	RAM (mm)	Rainfall (mm)	Efct. Rain (mm)	ETc (mm)	ETc/ETm (%)	SMD (mm)	Irr. Interval (Days)	Net Irr. (mm)	Lost Irr. (mm)	User Adjust. (mm)
14/7	86	100.1	45.0	4.5	0.0	6.2	100.0%	6.2				
19/7	91	100.1	45.0	4.7	4.7	6.1	100.0%	32.2				
20/7	92	100.1	45.0	0.0	0.0	6.1	100.0%	38.3	7	38.3	0.0	
24/7	96	100.1	45.0	4.9	4.9	6.1	100.0%	19.5				
27/7	99	100.1	45.0	0.0	0.0	6.1	100.0%	37.7	7	37.7	0.0	
29/7	101	100.1	45.0	5.2	5.2	5.8	100.0%	6.7				
3/8	106	100.1	45.0	5.5	5.5	4.8	100.0%	27.2	7	27.2	0.0	
8/8	111	100.1	45.0	5.9	5.9	3.7	100.0%	14.7				
10/8	113	100.1	45.0	0.0	0.0	3.3	100.0%	21.4	7	21.4	0.0	
13/8	116	100.1	45.0	6.3	5.9	2.6	100.0%	2.6				
17/8	120	100.1	45.0	0.0	0.0	1.8	100.0%	11.0	7	11.0	0.0	
Total				111.3	94.3	532.9	100.0%			438.6	0.0	0.0

Figura 4.53. Tabla de demanda neta.

4.4.6.5. Datos de Calendario de Riego

(Graph > Irrigation Schedule)

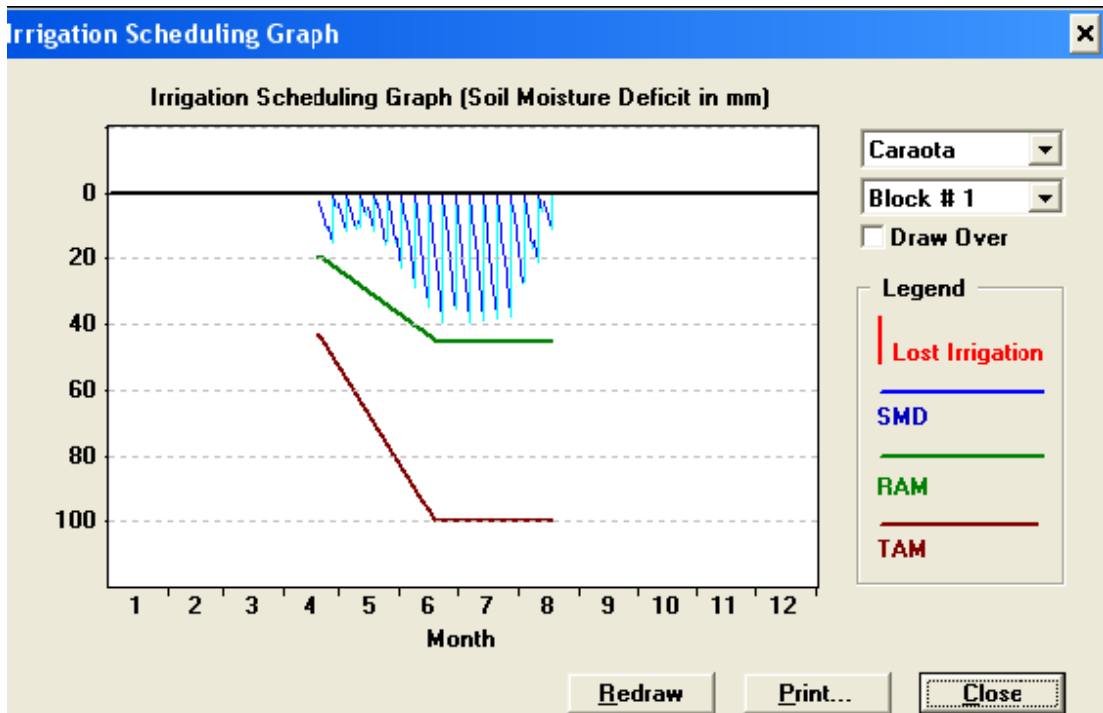


Figura 4.54. Irrigation Scheduling Graph.

De acuerdo a la eficiencia de procurar no tener estrés hídrico se puede observar que en ningún momento $SMD > RAM$ lo que indica que el cultivo no es sometido a estrés hídrico durante su ciclo vegetativo.

5. DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HÍDRICO DE LOS DIFERENTES CULTIVOS, DEPENDIENDO DE LA ZONA BIOCLIMÁTICA

5.1. Introducción

Desde que se descubrió que entregar la suficiente cantidad de agua a los cultivos produce mejoras en la cosecha, el ser humano a inventado diversas formas de llevar el líquido vital desde sus fuentes hasta los campos. Sin embargo, con el paso del tiempo, el recurso natural, agua, dejó de ser disponible en cantidades ilimitadas.

A partir de este punto, los estudios sobre formas eficientes de llevar agua a los cultivos se hicieron muy populares. Y ahora, existe una gran variedad de métodos de sistemas de riego, los cuales sirven para diferentes tipos, de suelos, climas, fuentes, y diversas condiciones.

Si embargo, esto no es suficiente. Determinar el patrón de cultivo de las zonas, y sus necesidades hídricas es un paso de mucha importancia para obtener cultivos que no estén sometidos a estrés hídrico, es decir, que siempre exista suficiente agua disponible para que las plantas la utilicen.

Los diferentes cultivos requieren tiempos diferentes para crecer y estar listos para la cosecha. Por ejemplo, los pastos son cultivos anuales, es decir que se demora todo un año en crecer y estar listos para ser cosechados; por otro lado, el trigo tiene un tiempo de cultivo de 5 meses aproximadamente, y durante un año el mismo terreno puede ser cultivado con col, que tiene 4 meses de tiempo de cultivo.

Toda esta variedad de cultivos que se pueden dar en un mismo terreno y en una misma zona, tienen diferentes requerimientos hídricos, por lo que para satisfacer las necesidades, sin desperdiciar agua, es necesario estudiarlos independientemente.

5.2. Descripción del ejemplo

5.2.1. Problema y objetivo

En la provincia de Chimborazo – Ecuador, existen varias zonas agrícolas. Una de estas zonas, ubicada en el cantón Riobamba, consta de diez terrenos que tienen diferentes proyecciones de cultivos. De esta manera, la entrega eficiente de agua suficiente para no producir estrés hídrico ni tampoco desperdiciarla, es muy importante.

Existe una fuente de agua, de la cual se obtendrá la cantidad necesaria para abastecer a los diez proyectos.

Queremos determinar los caudales que cada terreno necesita, y luego diseñar la forma eficiente de distribuirlos a los diez lotes.

5.2.2. Ubicación

Existen diferentes zonas Bio-climáticas, sin embargo, en nuestro ejemplo se utilizarán patrones de cultivo para zonas bio-climáticas frías. También consta a continuación una tabla con un Patrón de cultivo para zona Templada, ya que en este terreno también se podría utilizar este patrón de cultivo.

Los diez terrenos van a ser cosechados con diferentes productos. La distribución se muestra a continuación:

Terreno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cultivo (Tipo)	d	c	d	a	c	a	c	a	b	b

Figura 5.1 Tipo de terreno y su cultivo.

PATRÓN DE CULTIVO ZONA BIOCLIMÁTICA FRÍA

TIPO	CULTIVO	ENERO	FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	OCTUBRE	NOVIEM	DICIEM
a	Papas + Habas			Papas (Potatoe)						Habas (Pulses)			
b	Trigo + Col	Col		Trigo (Wheat)						Col (Cabage)			
c	Cebada + Papas			Cebada (Barley)						Papas (Potatoe)			
d	Pastos	Pastos (Pasture)											

Figura 5.2. Patrón de cultivo Zona Bioclimática Fría.

PATRÓN DE CULTIVO ZONA BIOCLIMÁTICA TEMPLADA

TIPO	CULTIVO	ENERO	FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	OCTUBRE	NOVIEM	DICIEM
e	Maíz + col	Maíz (Maize)				Col (Cabage)						Maíz (Maize)	
f	Maíz + Pimiento			Maíz (Maize)						Pimiento (Paper)			
g	Papas + Soya	Papas (Potatoe)										Papas (Potatoe)	
h	Hortalizas	Col			Soya (Soy Beam)						Col (Cabage)		
i	Frutales Cítricos	Frutales cítricos (Citrus)											
j	Pastos	Pastos (Pasture)											

Figura 5.3. Patrón de cultivo Zona Bioclimática Templada.

El proyecto está ubicado en la provincia de Chimborazo, en el cantón Riobamba, como se muestra en el plano.

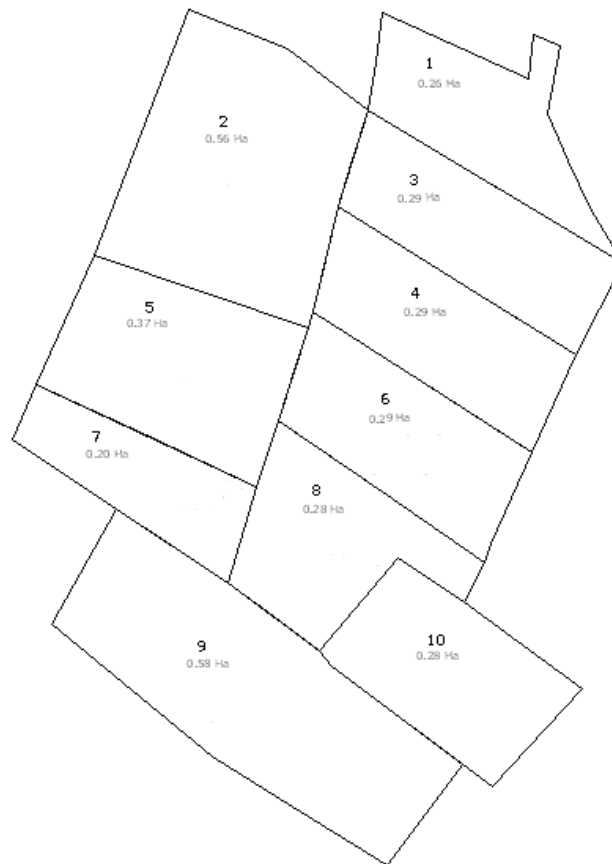


Figura 5.4. Terreno del ejemplo, Chimborazo.

Existe una fuente permitida de agua para abastecer estos campos con agua. Como ya se mencionó antes, es importante no desperdiciar el agua de riego, pero también es importante para la producción evitar que los cultivos presenten estrés hídrico.

5.3. Productos de cultivo en la zona

5.3.1. Introducción

Cada lugar en el mundo posee características diferentes, ya sean de clima, temperatura, presión, humedad, cantidad de luz solar, tipo de suelo, entre otras. Por este motivo existe también vegetación propia de cada lugar. Esta vegetación posee características específicas que le ayudan a vivir y crecer en este lugar específico.

El caso en estudio no es diferente, ya que por sus propiedades específica del lugar, produce productos específicos, como habas, papas, cebada, etc. A continuación se hace una breve descripción de los productos que se cosecharán en los terrenos del ejemplo.

5.3.2. *Papas o patatas*

Esta hortaliza, que es conocida científicamente como *Solanum Tuberosum*, es de mucha importancia alimenticia a nivel mundial. Esta importancia es llevó a dos divisiones de la FAO a nombrar al 2008 como el año internacional de la papa.

La papa es originaria de América del Sur, y algunas tipos de papa también tienen su origen en México. Este producto fue difundido a nivel mundial por los conquistadores de América.

Pese a que su origen está en la región sur de América, el mayor consumo se da en Europa. Es más el país con mayor consumo es Bielorrusia donde se consume casi un kilogramo de papa al día. En Chile por otro lado, se consume una papa mediana por día. Esto demuestra el rano de consumo.

El 22 de octubre del 2008, en Chile, se dio un congreso sobre el tema. En el congreso se concluyó que se debería incentivar la producción de papa con el objetivo de apoyar la seguridad alimentaria; “Recuperar el cultivo y el consumo de este producto originario de la Región es una forma de rescatar la cultura andina y también una buena estrategia para enfrentar el alza de los precios de los alimentos importados”, dijo la Representante de la FAO en Chile.

Dependiendo de la especie, se pueden tener días largos, de 14 horas, o días cortos, de menores a 14 horas. Con días cortos las plantas muestran una tuberculización temprana, en la que el follaje es menor.

Estos cultivos no tolerar temperaturas bajo cero. Esta hortaliza inicia su brote en forma lenta a 5°C, mientras que forma más acelerada se maximiza a los 15 °C. La parte fotoquímica de la temperatura está ligada con la intensidad lumínica (alta: 50000 lux). Durante el desarrollo del cultivo se necesitan temperaturas de entre 20 y 25 °C. De la misma manera, temperaturas sobre los 37 °C afectan al cultivo.

Sin embargo, bajo condiciones óptimas, se puede tener un rendimiento de 900 Kg/ha/día. El potencial productivo de la papa es superior a los 100 ton/ha.

5.3.3. *Habas*

Las habas, conocidas e el mundo científico como *Vicia faba*, son leguminosas muy antiguas, probablemente las más antiguas de las conocidas hasta la actualidad.

Las habas, son plantas de raíces profundas y fuertes, con tallos de hasta un metro de altura. Esta planta produce frutos de vainas, con dimensiones y semillas muy variables.

Las habas se producen en zonas frías en el Ecuador. Los mejores sembríos, en cuanto a producción, se en alturas entre los 2000 y 3000 metros de altura. Las tolerancias máximas y mínimas oscilan entre los 1800 y 3600 metros, aunque en estas circunstancias las flores se caen y los rendimientos bajan. Estas plantas prefieren suelos orgánicos y de buen drenaje antes que suelos arcillosos o arenosos.

En el cultivo, es preferible no hacerlas enfrentarse a las heladas, aunque tienen cierta resistencia, normalmente sufren daños. Igual, ambientes de humedades elevadas ayudan a la formación de hongos, plagas que dañan el cultivo. Estas plantas no son muy exigentes en el tipo de suelo que requieren, aunque prefieren suelos arcillo-calizos. La fecha de siembra se la prefiere en los meses de octubre y noviembre; aunque en ciertos lugares se lo realiza en marzo.

Hay que tener cuidado de el jopo, que es una mala hierva que se nutre de las raíces de las habas. Por otro lado, el gorgojo y el pulgón negro son las plagas de las que hay que cuidar al cultivo.

Esta es una planta amigable en cuanto a su utilización ya que de esta planta se cultivan su grano, semillas, frutos verdes y tiernos. Este alimento llega a tener hasta el 20% en contenido de proteínas.

5.3.4. Col

La Col o Brassica Oleracea, como se le conoce en le mundo científico, es un vegetal cuyas hojas son muy utilizadas en nuestro medio. Es bastante reconocida por grandes cantidades de potasio y de vitamina A.

Esta hortaliza es originaria de Europa, que después la exportó al continente Americano a través de los conquistadores. La existencia de la col se remonta a las 2000A.C. Los egipcios la utilizaban como planta medicinal.

La col es una planta bianual, con raíces fuertes y largas (hasta 1 metro lateralmente), y de 45 cm. de profanidad.

Esta planta se desarrolla de mejor manera en climas templados y frescos. La temperatura para la germinación es mínima de 5 °C y máxima de 35°C; mientras que para su crecimiento oscilan entre los 0 °C y 27 °C. Para condiciones óptimas, sus temperaturas son de 29.4 °C y 18 °C.

En cuanto al suelo, la col es una planta relativamente tolerante a la salinidad. También tiene cierta tolerancia a la acides, pH de 5.5 a 6.8, por lo que se desarrolla bien en cualquier tipo de suelo. Es preferible suelos con buena cantidad de materia orgánica y con buen drenaje.

La época de la siembra en climas fríos se da entre abril y junio, y tarda en madurar entre 100 y 115 días. En lugares cálidos se da entre octubre y enero, con un tiempo hasta la madurez de

75 a 80 días. En cambio en lugares templados, se puede sembrar todo el año obteniendo la madurez a los 80 a 110 días. Se llega a obtener unas 50000 plantas por hectárea.

Para el sistema de riego se consideran surcos separados unos 70 cm para hilera simple y de 1 metro para hilera doble. Las plantas deben tener una separación de 33cm.

Este cultivo es muy exigente en cuanto a los requerimientos de nutrientes. También es un producto sensible, por lo que no se recomienda el riego hasta la tercera semana.

5.3.5. *Trigo*

Al trigo se lo conoce como *Triticum Sativum* en el mundo científico. Esta planta es un cereal gramíneo, que se produce anualmente con plantas de hasta 1.20 metros. Sus tallos, que aunque son huecos, son firmes y erectos.

Es la planta más ampliamente cultivada en el mundo. El trigo que crece en la tierra, puede incluso superar la cantidad de todas las demás especies productoras de semillas. Esta es la cosecha de mayor importancia en Estados Unidos y Canadá, y crece en extensas zonas de América del sur y del mundo entero.

El terreno apropiado es aquel cargado de marga y arcilla, aunque en terrenos ligeros también tiene una buena producción. Para incrementar la cosecha se debe realizar un fuerte abonado de nitrógeno.

El trigo se desarrolla en ambientes tropicales, moderadamente fríos, o moderadamente cálidos. Dependiendo del suelo y del clima, se puede requerir entre 220 y 762 mm de agua al año. Una temperatura media para una buena cosecha es de 13 °C.

5.3.6. *Cebada*

Se la conoce como *Hordeum hexastichu* en el mundo científico. Esta planta se la conoce desde tiempos remotos. Se sabe que proviene de Asia y África. Esta es una de las primeras plantas que se domesticaron. Tiene hojas, raíces, tallo, flores y fruto.

Esta planta es de bastante importancia económica a nivel mundial. Así, según fuentes de la FAO, tenemos que:

Países	Producción año 2001	Países	Producción año 2001 (millones de toneladas)
	(millones de toneladas)		(millones de toneladas)
Alemania	13.589.000	Francia	9.851.000
Australia	5.893.000	Irán	1.400.000
Canadá	11.103.300	Kazajstán	2.330.000
República Checa	1.850.000	Reino Unido	6.690.000
China	4.000.000	Polonia	3.339.747
Dinamarca	4.100.000	Suecia	1.600.000
España	6.944.500	Turquía	6.600.000
E.E.U.U.	5.737.510	Ucrania	7.100.000
Finlandia	1.850.000	Uruguay	225.200

Figura 5.5. Importancia económica mundial de la Cebada.

El clima que requiere esta plantación no es muy exigente, aunque prefiere climas frescos moderadamente secos. Esto se produce de igual manera en lugares bajos, como en Suiza donde alcanza los 1800 metros; o en lugares altos como el Ecuador donde crece hasta a los 3000 metros.

Esta planta necesita tener una temperatura mínima de 6 °C, florece a los 16 °C y madura a los 20 °C. Esta planta tiene un alta resistencia a climas bajo cero, es más, puede llegar a soportar hasta los -10 °C.

La cebada se desarrolla mejor en tierras fértiles, aunque su producción sigue siendo buena en suelos poco profundos y pedregosos. Los terrenos con mucha arcilla no ayuda en su desarrollo, aunque tolera bien la salinidad del suelo.

Con un coeficiente de transpiración superior al que tiene el trigo, posee una absorción de agua inferior. Una ventaja de este producto es que la exigencia de agua al principio es mucho mayor que las exigencias al final. Lo que conlleva a cultivos, que bien cuidados al principio, sean fuertes y productivos.

5.3.7. *Pastos*

El pasto, nombre científico *Pennisetum Clandestinum*, es una de las gramíneas más comunes y que mejor se ha adaptado a las zonas de clima frío. Incluso se ha adaptado a la altura, ya que crece sin problemas en alturas entre 1200 y 3000 metros. Esta gramínea no es muy exigente en cuanto al tipo de suelo ya que crece bien en la mayoría de suelos. Este cultivo es resistente a la sequía. Sin embargo, su óptima producción se dará con suelos fértiles y con un mínimo de 750mm de lámina de agua en precipitaciones.

La producción se realiza mediante estolones de 0.15 a 0.20 metros. Se siembra al inicio de la temporada de lluvias a unas distancias de medio metro entre cada planta.

Por la forma de crecimiento y el colchón que forma, las malezas, bien manejadas, no forman un problema ni una amenaza para su crecimiento.

Este tipo de cultivo soporta bien tierras secas y puede dar una buena producción. Sin embargo, con el objetivo de no someter el cultivo a estrés hídrico, se debería regar láminas adicionales durante épocas de sequía. Se debe cortar el pasto cada 35 a 40 días durante el invierno. Por otro lado, en época seca se debe hacerlo cada 60 o 75 días.

Después de la cosecha, no se acostumbra a reemplazar totalmente el cultivo, sino que se prefiere mejorar el pasto mediante fertilizantes, u otros métodos. Esto resulta mucho más económico que cambiar todo el cultivo.

5.3.8. *Maíz*

El maíz es conocido en el mundo científico como *Zea mays*. Esta planta pertenece a la familia de las gramíneas.

A nivel nacional, este producto agrícola es una base muy importante en la economía. La incidencia social que tiene el maíz en el Ecuador es elevada, ya que el 75% de la producción se da por familias campesinas, la mayoría de ellas muy pobres o con economías de subsistencia.

Por otro lado, este producto es importante para la elaboración de materias primas de balanceados para animales, especialmente para el sector avícola. Esto se puede apreciar claramente al ver las cifras, ya que el 70% de la producción se destina para la elaboración de alimento animal; el 22% se envía a exportaciones; y el 8% restante sirve para el consumo humano y la producción de semillas.

En el Ecuador, el área de maíz sembrado se ha mantenido históricamente en promedio de 250000 hectáreas, sin embargo, a partir del fenómeno del Niño de 1998 se produjo una reducción significativa que con los años se ha ido recuperando lentamente.

Existe una gran variedad de maíz, todo depende de la zona de cultivo, el manejo de la siembra, las labores de cuidado, el tipo de inversión y de agricultor. Sin embargo, las condiciones esenciales que se busca para una buena producción son similares. Por ejemplo, una buena producción es de 5 toneladas por hectárea.

En países del norte, se utilizan semillas certificadas, aunque Venezuela ya ha adquirido esta cultura y el 95% de sus semillas ya son certificadas. Por otro lado, en el Ecuador, pese a los

intentos de fomentar la certificación de semillas, se estima que el 50% de los sembríos han utilizado este tipo de semillas.

El maíz requiere una temperatura de 25°C, también requiere bastante incidencia de luz solar, sin embargo la humedad de clima disminuye la producción. La germinación se debe dar a unos 18°C. Las temperaturas límites son 8°C y 30°C, fuera de este rango la producción baja debido a la mala absorción de nutrientes minerales y agua.

La cantidad de agua que se necesita es de 400 a 550 mm. de lámina de agua, las que en caso de que las lluvias no satisfagan estas necesidades, se utilizará riego diario, de más o menos 5mm al día. La plantación de maíz en el Ecuador es regada generalmente por el método de aspersión.

El maíz es bastante adaptable, sin embargo suelos con pH entre 6 y 7 son los más adaptables. Es importante tener suelos profundos y con bastante materia orgánica, con buen drenaje para evitar encharques que ocasionen asfixia radicular.

5.3.9. *Pimiento*

El pimiento o *Capsicum annuum*, su nombre científico, es una de las hortalizas más populares en nuestro país. Su forma va desde un pequeño arbusto de medio metro hasta otras variedades de dos metros de altura. Su cultivo puede ser en grandes lotes de terreno, en pequeños huertos o inclusive en tiestos en la terraza, lo que si requiere el pimiento es bastante incidencia de luz solar. Debido a que se lo puede sembrar en varios lugares, también se dan una gran variedad de pimientos en su forma, colores, sabores, entre otros.

El Pimiento, como ya se mencionó, requiere de bastantes horas de luz solar. En cuanto al clima, la planta exige un clima templado o cálido ya que no soporta las heladas. Su temperatura

mínima va de 15°C hasta máximas de 30°C. Cuando se los planta en lugares fríos, usualmente se los cubre con túneles de plástico hasta que la temperatura sea abrigada.

La humedad relativa que debe tener el aire debe estar cerca del 60%. Hay que tener cuidado con la plagas que se pueden pegar cuando la humedad alta; pero también hay que tener en cuenta que a humedades bajas existen problemas de fecundación.

El pimiento prefiere suelos sueltos y arenosos. Suelos que sean profundos, ricos en materia orgánica y con buen drenaje, así se evitará el desarrollo de hongos en las raíces. Es buena práctica común sembrar en los meses de febrero y marzo, con profundidades de 3mm., hay que evitar que las plantas estén muy juntas, para evitar de esta manera que se produzcan plantas muy pequeñas menores en la producción.

La plantación es un proceso singular, ya que a los dos meses del sembrío, y cuando ya tienen unos 15 cm. de altura, se los debe plantar en hilera con una separación de unos 50 cm. entre plantas. Cada hilera debe estar a una separación de unos 60 a 70 cm. Es importante que la tierra esté bien aireada y mejorada con estiércol.

Esta hortaliza es muy sensible al clima frío, por lo que hay que esperar hasta haber pasado la época fría para no correr riesgo de heladas.

A pesar de que esta planta resiste no tener agua constante, se debe hacer un riego permanente y periódico. En este tipo de cultivos se recomienda no utilizar riego por aspersión ya que al estar las hojas, y las plantas en general, mojadas se incentiva el crecimiento de hongos y plagas.

5.3.10. Soya

La soya tiene como nombre científico *Glycine max L.* Es una planta con un alto valor nutritivo; y con alto valor comercial ya que su uso se destina a consumo humano y al animal.

Además, este cultivo representa una alternativa para pequeños agricultoras que no tienen una estructura de riego muy elaborada ya que esta planta se aprovecha la humedad remanente del invierno.

En el Ecuador, entre los 1970 y 2000, las políticas sobre el fomento, crédito, comercialización, capacitación y asistencia técnica, han impulsado la rotación de cultivos de maíz y arroz hacia la soya. De esta manera, se trata de satisfacer la demanda de torta de soya y del aceite vegetal. Sin embargo, la producción nacional no es muy eficiente por lo que las importaciones del producto han reemplazado a muchos de los sembríos.

Esta planta tiene su origen en el Asia Oriental, y tiene un período vegetativo de 95 a 125 días. La planta crece de mejor manera en suelos franco arcillosos o franco arenosos. La siembra se da todo el año, evitando las épocas lluviosas. Así como la siembra, la cosecha también se da durante todo el año.

La temperatura ideal para una buena producción de esta planta se halla en el rango entre los 20°C y los 24 °C.

Para el riego, al ser realizado preferiblemente sistemas a gravedad, se diseñan surcos con separaciones de 50cm. y separaciones entre plantas de 60cm.

5.3.11. Tomate

El tomate es conocido en el mundo científico como *Lycopersicon Esculenfum*. Esta hortaliza proviene de la región andina, aunque el origen sería México. Aunque con los conquistadores, el tomate ese difundió hacia todo el mundo. En la actualidad, según la FAO, el tomate es la hortaliza más popular en todo el mundo, incluyendo su valor económico.

Para el cultivo de esta planta, es importante manejar muy bien las condiciones climáticas y del terreno de modo que la producción se maximice, ya que cada uno de estos factores se relaciona de manera muy íntima.

En cuanto a la temperatura, esta hortaliza es menos exigente que el pimiento. La temperatura para el buen desarrollo del cultivo está entre los 20°C y los 30°C en el día, y de 1°C a 17°C durante la noche. Hay que tener cuidado de que el cultivo no se exponga a temperaturas que se salgan del límite de entre 12°C y 30°C. Sin embargo, hay que tener en cuenta la combinación de estos parámetros para ver la temperatura ideal. La temperatura de esta hortaliza es, tal vez, la condición más importante para su buena producción.

Es importante que la humedad relativa oscile entre el 60% y el 80%. Al igual que en los pimientos, humedades superiores a ese valor producen el desarrollo de hongos y de otras plagas que pueden afectar a la producción del cultivo. También hay que considerar la cantidad de horas que los cultivos reciben luz, ya que en el período vegetativo la relación entre la luminosidad y las temperaturas del día y de la noche son cruciales.

Esta hortaliza no es muy exigente sobre el tipo de suelo en el que crece. Aunque sí tiene una alta preferencia a suelos con alto drenaje. Se desarrolla mejor en suelos sueltos arcillosos y con mucha materia orgánica. El suelo debería ir desde ser ácido hasta un poco alcalino.

La luz solar es una condición importante para el buen desarrollo de la planta, por lo que muchos de sus cultivos se los realiza en invernaderos. Debido a que esta planta se cultiva en invernaderos, se vuelve bastante resistente a la salinidad del suelo o del agua de riego. Se recomiendan que existan entre 8 y 16 horas de luz al día para el cultivo.

5.3.12. Frutales Cítricos

Los frutales cítricos son conocidos científicamente como Citrus. La semilla se germina de forma subterránea. La planta comienza a crecer y la temperatura óptima para este proceso está en el rango entre 9°C y 38 °C.

La humedad y los vientos forman una parte importante en el desarrollo de la planta. Las precipitaciones y la humedad relativa están muy relacionadas en cuanto a la producción de energía. Por ejemplo, vientos calientes incrementan la evapotranspiración, lo que causa cambios en las necesidades hídricas del cultivo, lo que creará daños y eventualmente muerte de la planta.

Estos cultivos no sobreviven a climas fríos. Estos cultivos prefieren ambientes cálidos. Los suelos que los cítricos prefieren son suelos aireados, no arcillosos. La profundidad del suelo son de 1 a 1.5 metros. Suelos sin mucho drenaje pueden crear el crecimiento de hongos o enfermedades. Es preferible tener suelos con pH entre 6 y 6.5.

5.4. Datos climáticos de la zona

5.4.1. Introducción

Cada zona posee climas diferentes, con características diferentes. Es importante determinar las características en las que se desarrollará el proyecto. Como por ejemplo, saber el rango del clima, las velocidades de los vientos, la altura, el tipo de suelo, la cantidad de luz solar, entre otros.

Para el ejemplo que se está desarrollando, se obtuvieron datos del INAMHI, el aeropuerto y la Politécnica de Riobamba.

Los datos se toman a través del tiempo, con el objetivo de buscar un patrón de comportamiento, para de esta manera poder componer un modelo estadístico con el cual se trata de predecir el comportamiento climático futuro. Estos datos son:

- Pluviometría

- Temperatura
- Humedad Relativa
- Velocidad del Viento
- Heliofania
- Nubosidad

5.4.2. *Pluvimetría*

A continuación está un cuadro con las precipitaciones medias mensuales y plurianuales:

CUADRO SERIE DE DATOS METEOROLÓGICOS												
PLUVIOMETRIA												
ESTACIÓN RIOBAMBA	CÓDIGO M407	TIPO PV	LATITUD 01° 48' 20"	LONGITUD 78° 36' 00"	ELEVACIÓN 2840							
PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES Y PLURIANUALES (mm)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1976	20,35	31,35	31,25	26,2	52,4	36,25	35,35	20,2	21,8	8,8	49,6	22,8
1977	15,35	22,05	30,2	15,8	21,4	31,1	7,8	22,35	36,3	63,15	30,15	25,4
1978	15,4	131,75	45,8	104,65	33,95	27,85	18,1	11,85	52,35	6,35	31,1	25,65
1979		32,9										11,9
1982	43,7	28,35	38,55	15,45	51,6	12,25	34,15	16,6	27,15	31,4	37,2	28,15
1984	101,8	57,25	105,45	121,1	107,5	72,9	80,8	27,1	139,45	55,2	172,45	58,5
1986	75	52,95	25,6	19	86,35	94,55		59,6	86,05	110,1	32,55	92,75
1987	28,7	159,45	108,15	72,35	206,5		41,75	44,3	144,6	73,4	73,45	22,35
1988	34	79,05	88,55	108,15	76,7	69,7	10,7	56,2	48,4	118,45	72,25	106,3
1989	91,9	118,2	140,3	80,15	43,9	104,25	22,55	3,6	40,05	8,75	1,55	0,75
1990	84,45	17,4	20,45	83,85		27,95	31,15	68,55	22	67,2	42,9	60,95
1991	4,75	37,1	92,9	24,05	112,65	179,55	163,85	132,45		48,2	172,5	25,45
1992			83,45	72,95	122	71,7	109,85	68,65	35,8	7,7	5,1	9,8
1993	78,8	106,25	324,35	35,65	16,25		46,25	55,5	34,55	93,3	98,15	102,5
1994	94,05	149,05	188,7	48,5	148,5	59	3	173,6	39,5	38,1	69,5	243
1995			155,35	111	10,8	18,25	1,7	9,1	23,65	123,5	75,2	53,05
1996	29,7	2,5	169,3	96,95	100,15	91,6	58,5	47	104,5	31,5	2	
1997			103,6	56,5	97,5				14,85	10,05	8,85	50,4
1998	6,25	10,7	23	12,8	140	192,05	9,7	9,45	2,45	151,05	4,55	14,25
1999	72,5	182,7	331,85	243,2	271,85	6	218,6	108,6	146,2	28,05	54,5	35,3
2000	28,2	39,35										
2003	19,9	13,6	23,7	53,85	17,25	29,3	10,65	0,65	18,95	29,6	23,05	19,7
2004	6,95	25,1	39,65	44,8	26,05	10,55	21,7	7,05	16,95	31,9	44,3	22,3
2005	4,7	46,55	65,1	33,7	7,7	38	5,6	0,8	25,75	44,6	8,05	51,9
SUMA	856,45	1343,6	2235,25	1480,7	1751	1172,8	931,75	943,2	1081,3	2289,3	1109	1083,2
MEDIA	29,2	39,35	86	55,175	76,7	38	26,85	27,1	35,8	41,35	40,05	26,9
MÍNIMA	9,4	5	40,9	25,6	15,4	12	3,4	1,3	4,9	12,7	3,1	1,5
MÁXIMA	203,6	365,4	663,7	486,4	543,7	384,1	437,2	347,2	292,4	302,1	345	486
Amplitud	194,2	360,4	622,8	460,8	528,3	372,1	433,8	345,9	287,5	289,4	341,9	484,5
Desviación	59,9	91,2	129,6	76,6	106,5	80,5	79,7	69,7	69,4	67,7	70	68,4

Figura 5.6 Pluviometría.

5.4.3. Temperatura

A continuación está un cuadro con las temperaturas medias mensuales y plurianuales:

CUADRO SERIE DE DATOS METEREOLÓGICOS												
TEMPERATURA												
ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN							
RIOBAMBA	M057	AR	01° 439 00"	78° 39' 00"	2760							
TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES Y PLURIANUALES (°C)												
ANO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1992	14,4	14,2	14	13,6	14,6	13,2	12,6	13,3	13,3	14,2	15	14,2
1993	13,3	13,8	14	13,3	14,1	11,8	12,3	12,3	12,7	13,5	14,3	14,2
1994	13,3	13,8	12,8	14,5	13,8	12,5	12	13	13,5	13,7	14,4	14,9
1995	14,1	15	14,4	14,1	13,9	13	12,1		13,4	14	13,8	13,7
1996	13,7	13,7	13,5	13,6	12,9	12,1			12,4	13,8	13,2	13,4
1997	13,7	13,4	12,8	13	13,3	12,7	12,1	11,8	12,5	13,6	13,7	13,4
1998	13,7	13,4	13,4	13,6	13,6	12,9	12,8	12,9	13,4	14		14,5
1999	14,2	14,7	14,8	14,1	13,6	13,9	13,2	12,4	12,8	14,2	14,8	
2000	14,1	13,2	13,5	13,5	13,1	13,2	12	13	12,5	13,4	14,2	13,4
2001	13,5	13,3	13,2	14	13,5	12,1	11,6	12,4	12,4	13	13,6	13,5
2002	13,5	13,6	14,1	14	13,4	12,4	11,6	12,1	13,3	14,4	13,8	14,3
2003	14,8	13,5	14,2	13,8	13,8	13		13,1	12,5	14,4	14,4	14,9
2004	14,3	14,5	14,2	14,1	13,7	12,6	12,8	12,2	13,1	14,2	15,1	14,9
2005	14,2	14,1		14	13,7	13	12,7	13,1	13,5			
SUMA	194,8	194,2	178,9	193,2	191	178,4	147,8	151,6	181,3	350,7	170,3	169,3
MEDIA	13,9	13,9	13,8	13,8	13,6	12,7	12,3	112,6	13	13,9	14,2	14,1
MÍNIMA	13,3	13,2	12,8	13	12,9	11,8	11,6	11,8	12,4	13	13,2	13,4
MÁXIMA	14,8	15	14,8	14,5	14,6	13,9	13,2	13,3	13,5	14,4	15,1	14,9
AMPLITUD	1,5	1,8	2	1,5	1,7	2,1	1,6	1,5	1,1	1,4	1,9	1,5
DESVIACIÓN	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5

Figura 5.7. Temperatura.

5.4.4. Nubosidad

A continuación se presenta un cuadro con los datos de las nubosidades medias mensuales y plurianuales:

CUADRO SERIE DE DATOS METEOROLÓGICOS												
NUBOSIDAD												
ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN							
RIOBAMBA	M057	AR	01° 39' 00"	78° 39' 00"	2760							
NUBOSIDADES MEDIAS MENSUALES Y PLURIANUALES (Octavos)												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1992	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	7
1993	7	7	7	7	6	7	7	7	6	6	4	5
1994	7	7	7	6	6	6	6	5	7	7	6	
1995	5	6	7	7	6	6	6		7	7	7	7
1996	7	7	7	7	7	6			7	6	7	6
1997	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	6	6
1998	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6		5
1999	7	7	7	7	7	7	6	7	7	6	7	
2000	6	7	7	6	7	6	6	6	6	6	6	6
2001	7	7	7	7	7	7	6	6	6	7	6	6
2002	6	7	6	6	7	6	5	6	6	6	6	6
2003	6	7	7	6	6	7		6	7	6	6	5
2004	6	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	7
2005	5	6		7	7	6	6	6	6			
SUMA	89	95	89	93	91	89	73	74	90	155	73	66
MEDIA	6,4	6,8	6,8	6,6	6,5	6,4	6,1	6,2	6,4	6,3	6,1	6
MÍNIMA	5	6	6	6	6	5	5	5	6	6	4	5
MÁXIMA	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
AMPLITUD	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	3	2
DESVIACIÓN	0,6	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5

Figura 5.8. Nubosidad.

5.4.5. Heliofania

A continuación se presenta un cuadro con la recolección de datos de heliofanias medias mensuales y plurianuales:

CUADRO SERIE DE DATOS METEOROLÓGICOS												
HELIOFANIA												
ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN							
RIOBAMBA	M057	AR	01° 39' 00"	78° 39' 00"	2760							
HELIOFANIAS MEDIAS MENSUALES Y PLURIANUALES (%)												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1994	38	40	34	37	46	50						
1995	46	39	31	48	50	40	41	49	37	36	49	46
1996	44	42	31	34	41	39			31	33	27	39
1997	37	41	33	29	36	47			40	46	40	
1998	40	31	26	36	45	37	36	37	38	40	46	
1999	43	38	32	31	36				46	42	33	44
2000	32	34	33	22	33	41	50		33	47		
2001			34	38							43	38
2002	35		33	31	34	30	40	37	36	39	40	43
2003		29	35	36	29	28	46	40	43	36	39	45
2004	47		33	26	40	24	45	44	29	45	46	51
2005	47	40	38	31	44	44	44	27	42	47	55	41
SUMA	409	334	393	399	434	380	302	234	375	411	418	347
MEDIA	40,9	37,1	32,8	33,3	39,5	38	43,1	39	37,5	41,1	41,8	43,4
MÍNIMA	32	29	26	22	29	24	36	27	29	33	27	38
MÁXIMA	47	42	38	48	50	50	50	49	46	47	55	51
AMPLITUD	15	13	12	26	21	26	14	22	17	14	28	13
DESVIACIÓN	4,5	3,9	1,8	4,9	5,3	6,6	3,6	5,3	4,3	4,3	6	13,1

Figura 5.9. Heliofania.

5.4.6. Velocidad

A continuación se presenta una cuadro con los datos de la velocidad del viento medias mensuales y plurianuales

CUADRO SERIE DE DAOS METEREOLÓGICOS												
VELOCIDAD DEL VIENTO												
ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN							
RIOBAMBA	M057	AR	01° 39' 00"	78° 39' 00"	2760							
VELOCIDAD DEL VIENTO MEDIAS MENSUALES Y PLURIANUALES (km/h)												
AÑO	ENERO	FEBR	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1992	2,5	2,1	1,8	1,6	1,8	1,7	1,7	1,8	1,5	2,5	2,4	1,3
1993	2,8	1,1	1,1	1,2	1,6	0,9	2,7	4,1	4,4	3,6	2,5	2,6
1994	3,9	2,3	2,7	2,2	3,5	2,4	2,9	2,2	1,5	1,3	1,5	
1995	1,9	2,3	1,5	0,8	1,2	0,8	2		2,9	1,6	1,6	2,5
1996	3,6	2,6	3,2	3	2,3	3,9			4,6	4,7	1,5	3,2
1997	3	2,6	1,8	1,7	3,1	2,8	3	2,4	3	2,5	2,4	3
1998	2,3	2,2	1,6	1,2	1,8	1,5	2,6	2,3	1,8	1,4	0,9	1,4
1999	1,8	1,3	2,1	1	1,1	2	2,6	2	2,4	1,8	2	
2000	2,6	1,4	0,9	0,3	1	0,9	1,4	1,9	0,9	0,9	1,1	1
2001	1,8	0,5	1,1	0,9	0,8	1,5	1,4	1,8	1,5	1,3	1	1
2002	1,5	0,8	1,1	1	1,3	1,8	2,8	3	3,8	1,5	2	2
2003	2,3	2,7	2,9	2,1	2,3	2,6		1,8	2,7	2,4	2,1	2,6
2004	2,8	2,8	1,8	1,2	1,7	2,2	3,1	3,5	2,2	2	2,9	2,4
2005	3	4,6		2,3	2,7	3,7	4,4	3,1	2,5			
SUMA	35,8	29,3	23,6	20,5	26,2	28,7	30,6	29,9	35,7	27,5	23,9	23
MEDIA	2,6	2,1	1,8	1,5	1,9	2	2,6	2,5	2,6	2,1	1,8	2,1
MÍNIMA	1,5	0,5	0,9	0,3	0,8	0,8	1,4	1,8	0,9	0,9	0,9	1
MÁXIMA	3,9	4,6	3,2	3	3,5	3,9	4,4	4,1	4,6	4,7	2,9	3,2
AMPLITUD	2,4	4,1	2,3	2,7	2,6	3	3	2,3	3,7	3,8	2	2,2
ESVIACIÓ	0,6	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,9	0,8	0,5	0,7

Figura 5.10. Velocidad media del viento.

5.4.7. Humedades

A continuación se presenta un cuadro con la información de las humedades medias mensuales y plurianuales

CUADRO SERIE DE DATOS METEREOLÓGICOS												
HUMEDAD RELATIVA												
ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN							
RIOBAMBA	M057	AR	01° 39' 00"	78° 39' 00"	2760							
HUMEDADES MEDIAS MENSUALES Y PLURIANUALES (%)												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1992	72	70	73	73	70	69	74	72	74	72	69	75
1993	75	74	72	73	71	77	73	73	69	73	68	68
1994	70	72	75	70	68	73	73	66	69	72	67	64
1995	68	68	75	80	75	79	75		74	76	77	77
1996	76	81	79	79	80	77			83	76	76	71
1997	74	77	79	76	76	73	75	77	75	76	74	67
1998	77	78	82	85	85	82	81	77	77	74		75
1999	70	72	69	72	71	68	67	72	71	64	65	
2000	67	72	66	66	68	65	68	66	69	68	68	70
2001	70	74		70	72	72	72	69	68	71	70	69
2002	66	68	69	71	73	69	65	67	66	68	70	68
2003	70	74	72	72	69	72		69	70	69	67	69
2004	69	73	74	75	77	75	73	72	73	68	69	73
2005	66	70		77	79	72	69	70	74			
SUMA	990	1023	885	1039	1034	1023	865	850	1012	927	840	846
MEDIA	70,7	73,1	73,8	74,2	73,9	73,1	72,1	70,8	72,3	71,3	70	70,5
MÍNIMA	66	68	66	66	68	65	65	66	66	64	65	64
MÁXIMA	77	81	82	85	85	82	81	77	83	76	77	77
AMPLITUD	11	13	16	19	17	17	16	11	17	12	12	13
DESVIACIÓN	2,9	2,8	3,6	3,8	4,1	3,5	3,2	3	3,4	3,1	2,8	3,1

Figura 5.11. Humedad Relativa.

5.5. Balance hidrológico de los cultivos de la zona

5.5.1. Introducción

Dependiendo de la zona en la que se va a trabajar, tomando en cuenta el cultivo que se tiene y las condiciones bio-climáticas se puede desarrollar los requerimientos hídricos de un cultivo con el fin de no ponerlo bajo estrés hídrico pero tampoco desperdiciar agua que la planta no necesita y que muchas veces produce efectos negativos en la producción.

El programa CROPWAT está diseñado específicamente para que los cultivos no estén bajo estrés hídrico. El software pide datos estadísticos climáticos de la zona para en base a estas características poder saber la evapotranspiración que afecta al cultivo, la cantidad de lluvia que le sirve a la planta, y la cantidad de agua va a necesitar el cultivo. De esta manera, se puede calcular el riego necesario que debemos proveer a la plantación.

A continuación se presentan tres tablas que son: La primera muestra los datos climáticos y la evapotranspiración que el cultivo experimenta. La segunda muestra los datos del suelo para el cultivo, y la tercera indica los valores esperados de lluvias, basados en la media de las estadísticas tomadas en los últimos treinta años.

Datos del Clima y ETo calculados por CROPWAT

Climate and ETo (grass) Data

Data Source: C:\CROPWATW\CLIMATE\RIOBCLIM.PEN

Country : ECUADOR Station : RIOBAMBA

Altitude: 2760 meter(s) above M.S.L.

Latitude: -1,39 Deg. (South) Longitude: -78,39 Deg. (West)

Month	MaxTemp (deg.C)	MiniTemp (deg.C)	Humidity (%)	Wind Spd. (Km/d)	SunShine (Hours)	Solar Rad. (MJ/m2/d)	ETo (mm/d)
January	14,8	13,3	70,7	62,4	4,9	16,6	2,85
February	15,0	13,2	73,1	50,4	4,5	16,5	2,84
March	14,8	12,8	73,8	43,2	3,9	15,7	2,71
April	14,5	13,0	74,2	36,0	4,0	15,2	2,60
May	14,6	12,9	73,9	45,6	4,7	15,3	2,53
June	13,9	11,8	73,1	48,0	4,6	14,6	2,35
July	13,2	11,6	72,1	62,4	5,2	15,6	2,48
August	13,3	11,8	70,8	60,0	4,7	15,8	2,60
September	13,5	12,4	72,3	62,4	4,5	16,3	2,73
October	14,4	13,0	71,3	50,4	4,9	17,0	2,88

November	15,1	13,2	70,0	43,2	5,0	16,8	2,85
----------	------	------	------	------	-----	------	------

December	14,9	13,4	70,5	50,4	5,2	16,8	2,84
----------	------	------	------	------	-----	------	------

Average	14,3	12,7	72,2	51,2	4,7	16,0	2,69
---------	------	------	------	------	-----	------	------

Pen-Mon equation was used in ETo calculations with the following values

for Angstrom's Coefficients:

$$a = 0,25 \quad b = 0,5$$

C:\CROPWATW\REPORTS\RIOBCLIM.TXT

5.5.2. *Datos del suelo*

Data Source: C:\CROPWATW\SOILS\MEDIUM.SOI

Soil description : Medium

Total available soil moisture = 140,0 mm/m depth.

Initial soil moisture depletion = 0 %

Initial available soil moisture = 140,0 mm/m depth.

Maximum infiltration rate = 40 mm/d.

Depth of root-restricting layer = 9,00 m.

C:\CROPWATW\REPORTS\RIOSOIL.TXT

5.5.3. *Datos de las lluvias según CROPWAT*

Data Source: C:\CROPWATW\CLIMATE\RIOBRAIN.CLI

Month	ETo (mm/d)	Total Rainfall (mm/month)	Effective Rain (mm/month)
-------	---------------	------------------------------	------------------------------

January	2,85	29,2	23,4
February	2,84	39,3	31,4
March	2,71	86,0	68,8
April	2,60	55,2	44,2

May	2,53	76,7	61,4
June	2,35	38,0	30,4
July	2,48	26,9	21,5
August	2,60	27,1	21,7
September	2,73	35,8	28,6
October	2,88	41,3	33,0
November	2,85	40,0	32,0
December	2,84	26,9	21,5

Total	981,01	522,4	417,9
-------	--------	-------	-------

(mm/Year)

N.B. Effective rainfall taken as a fixed percentage of 80 %

C:\CROPWATW\REPORTS\RIOBRAIN.TXT

Reportes sobre los requerimientos de agua de los diferentes cultivos

5.5.4. **Papas 1:** Siembra: 01 de Febrero; Cosecha: 11 de Junio

Datos:

Growth Stages	Initial	Development	Mid	Late	Total
Stage Lengths [Days]	25	30	45	30	130
Crop Coefficients (Kc)	0,50	>>>	1,15	0,75	
Rooting Depths [m]	0,30	>>>	0,60	0,60	
Depletion Levels (P)	0,25	>>>	0,30	0,50	
Yield Factors (Ky)	0,45	0,80	0,80	0,30	1,10

C:\CROPWATW\REPORTS\PAPA1\PAPADATA.TXT

Requerimientos de agua:

Crop Water Requirements Report

- Planting date : 1/2
- Calculation time step = 6 Day(s)
- Irrigation Efficiency = 70%

Date	ET _o (mm/period)	Planted Area (%)	Crop K _c	CWR (ET _m)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS (l/s/ha)
1/2	17,01	100,00	0,50	8,50	10,34	8,27	0,23	0,01
7/2	16,92	100,00	0,50	8,46	10,85	8,68	0,00	0,00
13/2	16,82	100,00	0,50	8,41	11,29	9,03	0,00	0,00
19/2	16,71	100,00	0,50	8,35	11,67	9,34	0,00	0,00
25/2	16,59	100,00	0,55	9,19	11,98	9,59	0,00	0,00
3/3	16,46	100,00	0,68	11,26	12,23	9,78	1,48	0,04
9/3	16,33	100,00	0,81	13,29	12,41	9,93	3,37	0,09
15/3	16,19	100,00	0,94	15,28	12,52	10,02	5,27	0,15
21/3	16,05	100,00	1,07	17,24	12,57	10,06	7,18	0,20
27/3	15,91	100,00	1,15	18,29	12,56	10,05	8,24	0,23
2/4	15,77	100,00	1,15	18,13	12,49	9,99	8,14	0,22
8/4	15,63	100,00	1,15	17,97	12,37	9,90	8,07	0,22
14/4	15,49	100,00	1,15	17,82	12,20	9,77	8,05	0,22
20/4	15,37	100,00	1,15	17,67	12,00	9,60	8,07	0,22
26/4	15,25	100,00	1,15	17,54	11,75	9,40	8,13	0,22
2/5	15,14	100,00	1,15	17,41	11,47	9,18	8,23	0,23
8/5	15,04	100,00	1,14	17,20	11,17	8,94	8,25	0,23
14/5	14,95	100,00	1,08	16,10	10,85	8,68	7,42	0,20

20/5	14,88	100,00	1,00	14,83	10,51	8,41	6,42	0,18
26/5	14,82	100,00	0,92	13,59	10,16	8,13	5,45	0,15
1/6	14,78	100,00	0,84	12,36	9,81	7,85	4,51	0,12
7/6	9,83	100,00	0,77	7,57	6,34	5,07	2,50	0,10

Total	341,92			306,47	249,53	199,68	109,01	[0,14]
-------	--------	--	--	--------	--------	--------	--------	--------

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.

* Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

C:\CROPWATW\REPORTS\PAPA1\PAPAWR.TXT

5.5.5. **Habas:** Siembra: 15 de Agosto; Cosecha: 2 diciembre

Datos:

Pulses Crop Data

Data Source: C:\CROPWATW\CROPS\PULSES.CRO

```
-----
Growth Stages          Initial  Development  Mid   Late   Total
-----
Stage Lengths  [Days]    20      30           40   20    110
Crop Coefficients (Kc)  0,40    >>>         1,15  0,35
Rooting Depths  [m]     0,30    >>>         1,00  1,00
Depletion Levels (P)    0,60    >>>         0,60  0,80
Yield Factors   (Ky)    0,40    0,60        0,80  0,60  0,80
-----
```

C:\CROPWATW\REPORTS\HABASDAT.TXT

Requerimientos de agua:

Crop Water Requirements Report

- Planting date : 15/8
- Calculation time step = 6 Day(s)
- Irrigation Efficiency = 70%

Date	ET _o (mm/period)	Planted Area (%)	Crop Kc	CWR (ET _m)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS (l/s/ha)
15/8	15,49	100,00	0,40	6,20	6,53	5,22	0,98	0,03
21/8	15,63	100,00	0,40	6,25	6,43	5,14	1,11	0,03
27/8	15,77	100,00	0,40	6,31	6,36	5,09	1,22	0,03
2/9	15,92	100,00	0,44	7,03	6,32	5,05	1,99	0,05
8/9	16,08	100,00	0,59	9,45	6,29	5,03	4,42	0,12
14/9	16,23	100,00	0,74	11,97	6,29	5,03	6,94	0,19
20/9	16,38	100,00	0,89	14,54	6,31	5,04	9,50	0,26
26/9	16,53	100,00	1,04	17,15	6,34	5,07	12,08	0,33
2/10	16,67	100,00	1,15	19,10	6,39	5,11	13,99	0,39
8/10	16,81	100,00	1,15	19,33	6,45	5,15	14,17	0,39
14/10	16,93	100,00	1,15	19,47	6,51	5,20	14,27	0,39
20/10	17,05	100,00	1,15	19,61	6,58	5,25	14,35	0,40
26/10	17,15	100,00	1,15	19,73	6,64	5,31	14,42	0,40
1/11	17,25	100,00	1,15	19,83	6,70	5,35	14,48	0,40
7/11	17,32	100,00	1,15	19,92	6,75	5,39	14,53	0,40
13/11	17,38	100,00	1,01	17,55	6,79	5,42	12,13	0,33
19/11	17,42	100,00	0,77	13,41	6,81	5,44	7,97	0,22
25/11	17,45	100,00	0,53	9,25	6,82	5,45	3,80	0,10

1/12	5,82	100,00	0,37	2,15	2,27	1,82	0,34	0,03
------	------	--------	------	------	------	------	------	------

Total	305,28			258,25	119,57	95,57	162,68	[0,24]
-------	--------	--	--	--------	--------	-------	--------	--------

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.

* Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

C:\CROPWATW\REPORTS\02HABA~1\HABASWR.TXT

5.5.6. **Trigo:** Siembra: 15 de Marzo; Cosecha: 31 de Julio

Datos:

Spring Wheat Crop Data

Data Source: C:\CROPWATW\CROPS\WHEAT.CRO

```
-----
Growth Stages          Initial  Development  Mid   Late   Total
-----
Stage Lengths  [Days]    30      30           40   30    130
Crop Coefficients (Kc)  0,30    >>>         1,15  0,30
Rooting Depths  [m]      0,30    >>>         1,20  1,20
Depletion Levels (P)    0,50    >>>         0,50  0,80
Yield Factors   (Ky)     0,40    0,60        0,80  0,40  1,00
-----
```

C:\CROPWATW\REPORTS\03TRIG~1\TRIGODAT.TXT

Requerimientos de agua:

Crop Water Requirements Report

- Planting date : 15/3
- Calculation time step = 6 Day(s)
- Irrigation Efficiency = 70%

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc (ETm)	CWR Rain	Total Rain	Effect. Req.	Irr.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)
15/3	16,19	100,00	0,30	4,86	12,52	10,02	0,00	0,00
21/3	16,05	100,00	0,30	4,81	12,57	10,06	0,00	0,00
27/3	15,91	100,00	0,30	4,77	12,56	10,05	0,00	0,00
2/4	15,77	100,00	0,30	4,73	12,49	9,99	0,00	0,00
8/4	15,63	100,00	0,30	4,69	12,37	9,90	0,00	0,00
14/4	15,49	100,00	0,40	6,18	12,20	9,77	0,00	0,00
20/4	15,37	100,00	0,57	8,74	12,00	9,60	0,00	0,00
26/4	15,25	100,00	0,74	11,27	11,75	9,40	1,86	0,05
2/5	15,14	100,00	0,91	13,76	11,47	9,18	4,58	0,13
8/5	15,04	100,00	1,08	16,23	11,17	8,94	7,29	0,20
14/5	14,95	100,00	1,15	17,20	10,85	8,68	8,51	0,23
20/5	14,88	100,00	1,15	17,11	10,51	8,41	8,70	0,24
26/5	14,82	100,00	1,15	17,04	10,16	8,13	8,91	0,25

1/6	14,78	100,00	1,15	16,99	9,81	7,85	9,14	0,25	
7/6	14,75	100,00	1,15	16,96	9,45	7,56	9,39	0,26	
13/6	14,73	100,00	1,15	16,94	9,10	7,28	9,66	0,27	
19/6	14,73	100,00	1,14	16,74	8,76	7,01	9,73	0,27	
25/6	14,75	100,00	0,99	14,67	8,43	6,75	7,92	0,22	
1/7	14,79	100,00	0,82	12,19	8,12	6,50	5,69	0,16	
7/7	14,84	100,00	0,65	9,71	7,83	6,26	3,44	0,09	
13/7	14,90	100,00	0,48	7,21	7,56	6,04	1,17	0,03	
19/7	9,98	100,00	0,34	3,42	4,90	3,92	0,00	0,00	

Total	328,72			246,22	226,56	181,31	96,00	[0,12]	

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.

* Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

C:\CROPWATW\REPORTS\03TRIG~1\TRIGOWR.TXT

5.5.7. **Col:** Siembra: 01 de Octubre; Cosecha: 11 de Enero

Datos:

CABBAGE (Crucifers) Crop Data

Data Source: C:\CROPWATW\CROPS\CABBAGE.CRO

```
-----
Growth Stages          Initial  Development  Mid  Late  Total
-----
Stage Lengths  [Days]    25      35              25  15   100
Crop Coefficients (Kc)  0,70    >>>           1,05  0,95
Rooting Depths  [m]      0,25    >>>           0,50  0,50
Depletion Levels (P)    0,40    >>>           0,40  0,40
Yield Factors   (Ky)    0,40    0,40           0,50  0,50  0,95
-----
```

C:\CROPWATW\REPORTS\04COL~1\COLDATA.TXT

Requerimientos de agua:

Crop Water Requirements Report

- Planting date : 1/10
- Calculation time step = 6 Day(s)
- Irrigation Efficiency = 70%

Date	ET _o	Planted Area	Crop K _c (ET _m)	CWR Rain	Total Rain	Effect. Req.	Irr.	FWS
	(mm/period)	(%)		-----	(mm/period)	-----	(l/s/ha)	
1/10	16,65	100,00	0,70	11,65	6,38	5,10	6,55	0,18
7/10	16,78	100,00	0,70	11,75	6,44	5,14	6,60	0,18
13/10	16,91	100,00	0,70	11,84	6,50	5,19	6,65	0,18
19/10	17,03	100,00	0,70	11,92	6,56	5,25	6,68	0,18
25/10	17,14	100,00	0,72	12,43	6,63	5,30	7,13	0,20
31/10	17,23	100,00	0,79	13,53	6,69	5,35	8,18	0,23
6/11	17,31	100,00	0,84	14,63	6,74	5,39	9,24	0,25
12/11	17,37	100,00	0,90	15,72	6,78	5,42	10,30	0,28
18/11	17,42	100,00	0,96	16,81	6,81	5,44	11,37	0,31
24/11	17,44	100,00	1,02	17,88	6,82	5,45	12,43	0,34
30/11	17,46	100,00	1,05	18,33	6,81	5,44	12,89	0,36
6/12	17,45	100,00	1,05	18,32	6,77	5,42	12,90	0,36
12/12	17,42	100,00	1,05	18,29	6,72	5,37	12,92	0,36

18/12	17,38	100,00	1,05	18,25	6,64	5,31	12,94	0,36
24/12	17,33	100,00	1,03	17,91	6,54	5,23	12,67	0,35
30/12	17,25	100,00	0,99	17,14	6,72	5,37	11,76	0,32
5/1	11,49	100,00	0,96	11,03	4,89	3,91	7,12	0,29

Total	287,06			257,42	111,43	89,09	168,33	[0,28]
-------	--------	--	--	--------	--------	-------	--------	--------

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.

* Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

C:\CROPWATW\REPORTS\04COL~1\COLWR.TXT

5.5.8. **Cebada:****Datos:**

BARLEY Crop Data

Data Source: C:\CROPWATW\CROPS\BARLEY.CRO

Growth Stages Initial Development Mid Late Total

Stage Lengths [Days] 20 30 40 30 120

Crop Coefficients (Kc) 0,30 >>> 1,15 0,25

Rooting Depths [m] 0,30 >>> 1,10 1,10

Depletion Levels (P) 0,60 >>> 0,60 0,90

Yield Factors (Ky) 0,20 0,60 0,50 0,40 1,00

C:\CROPWATW\REPORTS\05CEBA~1\CEBADADA.TXT

Requerimientos de agua:

Crop Water Requirements Report

- Planting date : 15/2
- Calculation time step = 6 Day(s)
- Irrigation Efficiency = 70%

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			----- (mm/period)	-----	(l/s/ha)	
15/2	16,78	100,00	0,30	5,04	11,43	9,14	0,00	0,00
21/2	16,67	100,00	0,30	5,00	11,78	9,43	0,00	0,00
27/2	16,55	100,00	0,30	4,96	12,07	9,66	0,00	0,00
5/3	16,42	100,00	0,35	5,70	12,29	9,84	0,00	0,00
11/3	16,28	100,00	0,51	8,34	12,45	9,96	0,00	0,00
17/3	16,14	100,00	0,68	11,02	12,54	10,04	0,98	0,03
23/3	16,00	100,00	0,85	13,64	12,57	10,06	3,58	0,10
29/3	15,86	100,00	1,02	16,21	12,54	10,03	6,18	0,17
4/4	15,72	100,00	1,15	18,00	12,46	9,97	8,03	0,22
10/4	15,58	100,00	1,15	17,92	12,32	9,86	8,06	0,22
16/4	15,45	100,00	1,15	17,77	12,14	9,72	8,05	0,22

22/4	15,33	100,00	1,15	17,63	11,92	9,54	8,09	0,22
28/4	15,21	100,00	1,15	17,49	11,66	9,33	8,16	0,22
4/5	15,10	100,00	1,15	17,37	11,38	9,10	8,27	0,23
10/5	15,01	100,00	1,15	17,26	11,07	8,86	8,40	0,23
16/5	14,93	100,00	1,04	15,60	10,74	8,59	7,01	0,19
22/5	14,86	100,00	0,87	12,85	10,39	8,32	4,54	0,12
28/5	14,80	100,00	0,69	10,14	10,04	8,04	2,10	0,06
3/6	14,76	100,00	0,50	7,46	9,69	7,75	0,00	0,00
9/6	14,74	100,00	0,33	4,79	9,33	7,47	0,00	0,00

Total	312,20			244,19	230,81	184,70	81,45	[0,11]
-------	--------	--	--	--------	--------	--------	-------	--------

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.

* Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

C:\CROPWATW\REPORTS\05CEBA~1\CEBADAWR.TXT

5.5.9. **Papas2:** Siembra: 15 de Agosto; Cosecha: 31 de Diciembre

Datos:

Potato Crop Data

Data Source: C:\CROPWATW\CROPS\POTATO.CRO

```
-----
Growth Stages          Initial  Development  Mid   Late   Total
-----
Stage Lengths  [Days]    25     30           45   30    130
Crop Coefficients (Kc)  0,50   >>>        1,15  0,75
Rooting Depths  [m]     0,30   >>>        0,60  0,60
Depletion Levels (P)           0,25   >>>        0,30  0,50
Yield Factors   (Ky)           0,45   0,80        0,80  0,30  1,10
-----
```

C:\CROPWATW\REPORTS\06PAPA~1\PAPA2DAT.TXT

Requerimientos de agua:

Crop Water Requirements Report

- Planting date : 15/8

- Calculation time step = 6 Day(s)

- Irrigation Efficiency = 70%

Date	ET _o	Planted Area	Crop K _c	CWR (ET _m)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)
15/8	15,49	100,00	0,50	7,75	6,53	5,22	2,52	0,07
21/8	15,63	100,00	0,50	7,81	6,43	5,14	2,67	0,07
27/8	15,77	100,00	0,50	7,89	6,36	5,09	2,80	0,08
2/9	15,92	100,00	0,50	7,96	6,32	5,05	2,91	0,08
8/9	16,08	100,00	0,55	8,91	6,29	5,03	3,88	0,11
14/9	16,23	100,00	0,68	11,10	6,29	5,03	6,07	0,17
20/9	16,38	100,00	0,81	13,34	6,31	5,04	8,29	0,23
26/9	16,53	100,00	0,94	15,61	6,34	5,07	10,54	0,29
2/10	16,67	100,00	1,07	17,91	6,39	5,11	12,80	0,35
8/10	16,81	100,00	1,15	19,33	6,45	5,15	14,17	0,39
14/10	16,93	100,00	1,15	19,47	6,51	5,20	14,27	0,39
20/10	17,05	100,00	1,15	19,61	6,58	5,25	14,35	0,40
26/10	17,15	100,00	1,15	19,73	6,64	5,31	14,42	0,40
1/11	17,25	100,00	1,15	19,83	6,70	5,35	14,48	0,40
7/11	17,32	100,00	1,15	19,92	6,75	5,39	14,53	0,40
13/11	17,38	100,00	1,15	19,99	6,79	5,42	14,56	0,40

19/11	17,42	100,00	1,14	19,92	6,81	5,44	14,48	0,40
25/11	17,45	100,00	1,08	18,79	6,82	5,45	13,34	0,37
1/12	17,46	100,00	1,00	17,40	6,80	5,44	11,96	0,33
7/12	17,45	100,00	0,92	15,99	6,77	5,41	10,58	0,29
13/12	17,42	100,00	0,84	14,57	6,71	5,37	9,21	0,25
19/12	11,59	100,00	0,77	8,92	4,43	3,54	5,38	0,22

 Total 363,37 331,74 142,00 113,51 218,23 [0,28]

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.

* Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

C:\CROPWATW\REPORTS\06PAPA~1\PAPA2WR.TXT

5.5.10. **Pastos:** Siembra: 01 de Enero;Cosecha: 31 de Diciembre

Datos: *****

Pasture (perannual, cool season 15 Nov.) Crop Data

Data Source: C:\CROPWATW\CROPS\PASTURE.CRO

Growth Stages	Initial	Development	Mid	Late	Total
---------------	---------	-------------	-----	------	-------

Stage Lengths [Days]	140	60	120	45	365
----------------------	-----	----	-----	----	-----

Crop Coefficients (Kc)	0,85	>>>	0,95	0,85	
------------------------	------	-----	------	------	--

Rooting Depths [m]	0,80	>>>	0,80	0,80	
--------------------	------	-----	------	------	--

Depletion Levels (P)	0,50	>>>	0,50	0,50	
----------------------	------	-----	------	------	--

Yield Factors (Ky)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
--------------------	------	------	------	------	------

C:\CROPWATW\REPORTS\07PAST~1\PASTODAT.TXT

Requerimientos de agua:

Crop Water Requirements Report

- Planting date : 1/1

- Calculation time step = 6 Day(s)

- Irrigation Efficiency = 70%

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)		(l/s/ha)	
1/1	17,23	100,00	0,85	14,65	6,97	5,57	9,07	0,25
7/1	17,22	100,00	0,85	14,64	7,69	6,15	8,49	0,23
13/1	17,19	100,00	0,85	14,61	8,39	6,71	7,91	0,22
19/1	17,15	100,00	0,85	14,58	9,05	7,24	7,34	0,20
25/1	17,09	100,00	0,85	14,53	9,68	7,74	6,79	0,19
31/1	17,02	100,00	0,85	14,47	10,25	8,20	6,27	0,17
6/2	16,94	100,00	0,85	14,40	10,77	8,62	5,78	0,16
12/2	16,84	100,00	0,85	14,31	11,22	8,98	5,33	0,15
18/2	16,73	100,00	0,85	14,22	11,61	9,29	4,93	0,14
24/2	16,61	100,00	0,85	14,12	11,94	9,55	4,57	0,13
2/3	16,48	100,00	0,85	14,01	12,19	9,76	4,26	0,12
8/3	16,35	100,00	0,85	13,90	12,38	9,91	3,99	0,11
14/3	16,21	100,00	0,85	13,78	12,50	10,00	3,78	0,10
20/3	16,07	100,00	0,85	13,66	12,56	10,05	3,61	0,10
26/3	15,93	100,00	0,85	13,54	12,56	10,05	3,49	0,10
1/4	15,79	100,00	0,85	13,42	12,50	10,01	3,41	0,09
7/4	15,65	100,00	0,85	13,30	12,39	9,92	3,38	0,09
13/4	15,52	100,00	0,85	13,19	12,24	9,79	3,40	0,09

19/4	15,39	100,00	0,85	13,08	12,03	9,63	3,45	0,10
25/4	15,27	100,00	0,85	12,98	11,79	9,44	3,54	0,10
1/5	15,16	100,00	0,85	12,88	11,52	9,22	3,66	0,10
7/5	15,06	100,00	0,85	12,80	11,22	8,98	3,81	0,11
13/5	14,97	100,00	0,85	12,72	10,90	8,73	4,00	0,11
19/5	14,89	100,00	0,85	12,70	10,57	8,46	4,24	0,12
25/5	14,83	100,00	0,86	12,79	10,22	8,18	4,61	0,13
31/5	14,78	100,00	0,87	12,90	9,86	7,89	5,00	0,14
6/6	14,75	100,00	0,88	13,02	9,51	7,61	5,41	0,15
12/6	14,73	100,00	0,89	13,15	9,16	7,33	5,82	0,16
18/6	14,73	100,00	0,90	13,30	8,82	7,06	6,24	0,17
24/6	14,75	100,00	0,91	13,46	8,49	6,79	6,67	0,18
30/6	14,78	100,00	0,92	13,64	8,17	6,54	7,10	0,20
6/7	14,83	100,00	0,93	13,83	7,87	6,30	7,53	0,21
12/7	14,89	100,00	0,94	14,03	7,60	6,08	7,95	0,22
18/7	14,97	100,00	0,95	14,21	7,35	5,88	8,34	0,23
24/7	15,06	100,00	0,95	14,31	7,12	5,70	8,61	0,24
30/7	15,16	100,00	0,95	14,40	6,92	5,54	8,87	0,24
5/8	15,28	100,00	0,95	14,51	6,75	5,40	9,11	0,25
11/8	15,40	100,00	0,95	14,63	6,61	5,28	9,35	0,26
17/8	15,54	100,00	0,95	14,76	6,49	5,19	9,57	0,26
23/8	15,68	100,00	0,95	14,89	6,40	5,12	9,77	0,27
29/8	15,82	100,00	0,95	15,03	6,34	5,07	9,96	0,27

4/9	15,97	100,00	0,95	15,18	6,31	5,04	10,13	0,28
10/9	16,13	100,00	0,95	15,32	6,29	5,03	10,29	0,28
16/9	16,28	100,00	0,95	15,46	6,30	5,03	10,43	0,29
22/9	16,43	100,00	0,95	15,61	6,32	5,05	10,56	0,29
28/9	16,58	100,00	0,95	15,75	6,36	5,08	10,67	0,29
4/10	16,72	100,00	0,95	15,88	6,41	5,12	10,76	0,30
10/10	16,85	100,00	0,95	16,01	6,47	5,17	10,84	0,30
16/10	16,97	100,00	0,95	16,13	6,53	5,22	10,91	0,30
22/10	17,09	100,00	0,95	16,23	6,60	5,27	10,96	0,30
28/10	17,19	100,00	0,95	16,33	6,66	5,32	11,01	0,30
3/11	17,27	100,00	0,95	16,41	6,72	5,37	11,04	0,30
9/11	17,34	100,00	0,95	16,48	6,76	5,40	11,07	0,31
15/11	17,40	100,00	0,95	16,46	6,80	5,43	11,03	0,30
21/11	17,43	100,00	0,93	16,27	6,81	5,45	10,82	0,30
27/11	17,45	100,00	0,92	16,06	6,81	5,45	10,61	0,29
3/12	17,45	100,00	0,91	15,82	6,79	5,43	10,39	0,29
9/12	17,44	100,00	0,89	15,58	6,75	5,40	10,18	0,28
15/12	17,41	100,00	0,88	15,32	6,68	5,35	9,97	0,27
21/12	17,36	100,00	0,87	15,04	6,59	5,28	9,77	0,27
27/12	14,42	100,00	0,85	12,32	5,41	4,33	7,99	0,26

Total 981,89 880,98 529,00 423,17 457,81 [0,21]

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.

* Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

C:\CROPWATW\REPORTS\PASTOWR.TXT

5.5.11. Resumen del caudal requerido por los cultivo de cada terreno

El caudal de riego requerido se lo calcula sumando los caudales parciales:

FECHA		CULTIVO				TOTAL
		A	b	c	d	(l/s/ha)
MAX		0,40	0,36	0,40	0,31	
Ene	1				0,25	0,25
Ene	5		0,29			0,29
Ene	7				0,23	0,23
Ene	13				0,22	0,22
Ene	19				0,20	0,20
Ene	25				0,19	0,19
Ene	31				0,17	0,17
Feb	1	0,01				0,01
Feb	6				0,16	0,16
Feb	7	0,00				0,00
Feb	12				0,15	0,15
Feb	13	0,00				0,00
Feb	15			0,00		0,00
Feb	18				0,14	0,14
Feb	19	0,00				0,00
Feb	21			0,00		0,00
Feb	24				0,13	0,13
Feb	25	0,00				0,00
Feb	27			0,00		0,00
Mar	2				0,12	0,12
Mar	3	0,04				0,04

FECHA		CULTIVO				TOTAL
		a	b	c	d	(l/s/ha)
May	1				0,10	0,10
May	2	0,23	0,13			0,36
May	4			0,23		0,23
May	7				0,11	0,11
May	8	0,23	0,20			0,43
May	10			0,23		0,23
May	13				0,11	0,11
May	14	0,20	0,23			0,43
May	16			0,19		0,19
May	19				0,12	0,12
May	20	0,18	0,24			0,42
May	22			0,12		0,12
May	25				0,13	0,13
May	26	0,15	0,25			0,40
May	27					0,00
May	28			0,06		0,06
May	29					0,00
May	30					0,00
May	31				0,14	0,14
Jun	1	0,12	0,25			0,37
Jun	2					0,00
Jun	3			0,00		0,00

Mar	5			0,00		0,00
Mar	8				0,11	0,11
Mar	9	0,09				0,09
Mar	11			0,00		0,00
Mar	14				0,10	0,10
Mar	15	0,15	0,00			0,15
Mar	17			0,03		0,03
Mar	20				0,10	0,10
Mar	21	0,20	0,00			0,20
Mar	23			0,10		0,10
Mar	26				0,10	0,10
Mar	27	0,23	0,00			0,23
Mar	29			0,17		0,17
Abr	1				0,09	0,09
Abr	2	0,22	0,00			0,22
Abr	4			0,22		0,22
Abr	7				0,09	0,09
Abr	8	0,22	0,00			0,22
Abr	10			0,22		0,22
Abr	13				0,09	0,09
Abr	14	0,22	0,00			0,22
Abr	16			0,22		0,22
Abr	19				0,10	0,10
Abr	20	0,22	0,00			0,22
Abr	22			0,22		0,22
Abr	25				0,10	0,10
Abr	26	0,22	0,05			0,27

Jun	4					0,00
Jun	5					0,00
Jun	6				0,15	0,15
Jun	7	0,10	0,26			0,36
Jun	8					0,00
Jun	9			0,00		0,00
Jun	10					0,00
Jun	11					0,00
Jun	12				0,16	0,16
Jun	13		0,27			0,27
Jun	14					0,00
Jun	15					0,00
Jun	16					0,00
Jun	17					0,00
Jun	18				0,17	0,17
Jun	19		0,27			0,27
Jun	20					0,00
Jun	21					0,00
Jun	22					0,00
Jun	23					0,00
Jun	24				0,18	0,18
Jun	25		0,22			0,22
Jun	26					0,00
Jun	27					0,00
Jun	28					0,00
Jun	29					0,00
Jun	30				0,20	0,20

Abr	28			0,22		0,22
-----	----	--	--	------	--	------

Jul	1		0,16			0,16
Jul	6				0,21	0,21
Jul	7		0,09			0,09
Jul	12				0,22	0,22
Jul	13		0,03			0,03
Jul	18				0,23	0,23
Jul	19		0,00			0,00
Jul	24				0,24	0,24
Jul	30				0,24	0,24
Ago	5				0,25	0,25
Ago	11				0,26	0,26
Ago	15	0,03		0,07		0,10
Ago	17				0,26	0,26
Ago	21	0,03		0,07		0,10
Ago	23				0,27	0,27
Ago	27	0,03		0,08		0,11
Ago	29				0,27	0,27
Sep	2	0,05		0,08		0,13
Sep	4				0,28	0,28
Sep	8	0,12		0,11		0,23
Sep	10				0,28	0,28
Sep	14	0,19		0,17		0,36
Sep	16				0,29	0,29
Sep	20	0,26		0,23		0,49

Oct	19		0,18			0,18
Oct	20	0,40		0,40		0,80
Oct	22				0,30	0,30
Oct	25		0,20			0,20
Oct	26	0,40		0,40		0,80
Oct	28				0,30	0,30
Oct	31		0,23			0,23
Nov	1	0,40		0,40		0,80
Nov	3				0,30	0,30
Nov	6		0,25			0,25
Nov	7	0,40		0,40		0,80
Nov	9				0,31	0,31
Nov	12		0,28			0,28
Nov	13	0,33		0,40		0,73
Nov	15				0,30	0,30
Nov	18		0,31			0,31
Nov	19	0,22		0,40		0,62
Nov	21				0,30	0,30
Nov	24		0,34			0,34
Nov	25	0,10		0,37		0,47
Nov	27				0,29	0,29
Nov	30		0,36			0,36
Dic	1	0,03		0,33		0,36
Dic	2				0,29	0,29

Sep	22				0,29	0,29
Sep	26	0,33		0,29		0,62
Sep	28				0,29	0,29
Oct	1		0,18			0,18
Oct	2	0,39		0,35		0,74
Oct	4				0,30	0,30
Oct	7		0,18			0,18
Oct	8	0,39		0,39		0,78
Oct	10				0,30	0,30
Oct	13		0,18			0,18
Oct	14	0,39		0,39		0,78
Oct	16				0,30	0,30

Dic	6		0,36			0,36
Dic	7			0,29		0,29
Dic	9				0,28	0,28
Dic	12		0,36			0,36
Dic	13			0,25		0,25
Dic	15				0,27	0,27
Dic	18		0,36			0,36
Dic	19			0,22		0,22
Dic	21				0,27	0,27
Dic	24		0,35			0,35
Dic	27				0,26	0,26
Dic	30		0,32			0,32

Figura 5.12. Calendario de riego.

Caudal requerido

Una vez que se ha calculado el requerimiento hídrico de cada cultivo, se debe seleccionar el caudal máximo registrado en el calendario.

A este caudal, se lo multiplica por el área de terreno del cultivo en la que se quiere hacer el riego, y se obtiene la capacidad máxima que el sistema de riego debe tener.

Una vez que se multiplica el caudal máximo del cultivo por hectárea por el área del cultivo y se obtiene el caudal para el diseño. La red que trae el agua desde la fuente debe garantizar que este valor de caudal llegue al cultivo, así:

Terreno	Área	Cultivo
1	0,26	d
2	0,56	c
3	0,29	d
4	0,29	a
5	0,37	c
6	0,29	a
7	0,2	c
8	0,28	a
9	0,58	b
10	0,28	b

Cultivo	Área	Tipo	Q max	Q para diseño
a	0,86	Papas + habas	0,40	0,34
b	0,86	Trigo + col	0,36	0,31
c	1,13	Cebada + papa	0,40	0,45
d	0,55	Pastos	0,31	0,17

Figura 5.13. Caudal de diseño.

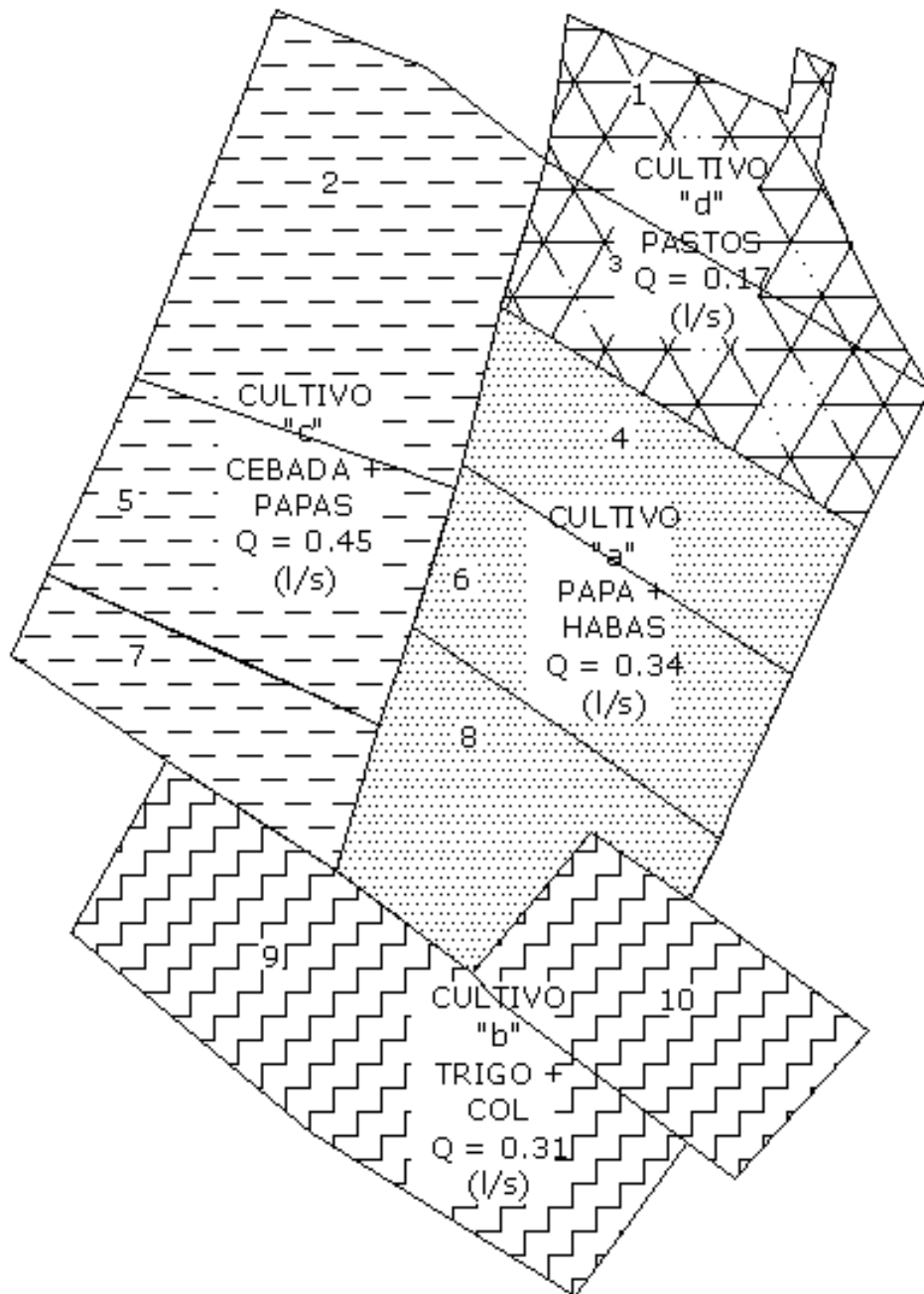


Figura 5.14. Distribución de cultivos en el terreno.

6. SISTEMA DE RIEGO POR GRAVEDAD (POR SURCOS)

6.1. Introducción

Este sistema de riego es también una forma de riego superficial. El riego a gravedad por surcos consiste en un juego de canales diseñados con el fin de que se distribuyan por el cultivo de tal manera que lleven el agua desde la fuente hacia todo el terreno del sembrío.

Este sistema de canales se compone de una red principal, una secundaria y un desfogue. Se llama sistema de riego de gravedad por surcos porque precisamente los canales de transporte de agua son surcos. Entendiéndose por surcos a hendiduras hechas a lo largo del terreno que permiten el transporte del agua de riego. Estos canales o surcos deben tener una pendiente ya que es la gravedad la encargada de mover en un sentido a trayectoria del agua.

Primero se busca la fuente del agua, buscando un lugar alto comparado con el terreno. Cuando el agua llega al terreno por una parte no muy alta se necesita de una bomba para llevar el agua hacia lo que llamaremos como nuestra fuente, que debe estar en una parte alta del terreno. El agua sale de su fuente por la red principal, y luego se conecta a la red secundaria. Esta conexión se da por aberturas en los costados de la red principal, por compuertas en los cortos, por sifones o por tubos cortos. Finalmente, el agua se infiltra en los cultivos y los excesos son recogidos por el sistema de desfogue.

Este sistema de riego funciona ya que el agua en su recorrido por la plantación se va infiltrando en el suelo y de esta manera alimentando y supliendo las necesidades hídricas del cultivo. Dependiendo del tipo de suelo, el agua se filtrará en mayor o menor proporción. Esto es de suma importancia y debe ser tomado en cuenta cuando se diseñan las redes de canales, sus caudales, y los requerimientos del cultivo como pérdidas de agua.

Este sistema se lo utiliza con cultivos que no toleran estar en contacto con el agua, o bajo la misma, por largos períodos de tiempo, de 12 a 24 horas.

6.2. Cuando elegir el Riego de Gravedad por Surcos



Figura 6.1. Riego por surcos. Fuente: <http://www.inia.gob.pe/eventos/evento0218/>

Existen varios sistemas de Riego, cada uno con ventajas y desventajas propias de sus características. El análisis básicamente está relacionado con la clase del suelo del terreno, el tipo de cultivo de la siembra, y las pendientes que presenta el terreno.

Para escoger el método más adecuado, se debe comenzar por analizar las condiciones locales imperantes, la tecnología disponible, la experiencia con sistemas de riego, la mano de obra disponible, el costo y los beneficios.

Es importante mencionar que para decidir el sistema óptimo de riego para un caso particular, se debe evaluar varios puntos, y no se puede descartar un sistema solo porque no es adecuado bajo una consideración. El sistema a escoger es el que, después de haberlo sometido las diferentes consideraciones, presenta las mayores ventajas sobre los demás.

6.2.1. *Tipo de suelo*

Este método de riego por gravedad puede ser utilizado en la mayoría de los suelos. Los suelos arcillosos y limosos son ideales para utilizar cualquier tipo de riego de superficie, por lo tanto, utilizar surcos es una buena decisión.

Sin embargo, los suelos arenosos tienen mayor grosura, y su cohesión no es muy elevada, por lo que utilizar surcos con este suelo es poco recomendable. Su baja recomendación se debe a que por sus características físicas permite una alta filtración, y el desperdicio de agua por percolación es muy elevado.

6.2.2. *Pendiente*

Cuando hablamos de pendiente nos referimos a la inclinación que tiene el terreno, existen terrenos muy empinados, inclinaciones menores y terrenos con ondulaciones. Este sistema de riego no es muy recomendado para terrenos muy empinados. Si en un terreno muy inclinado se hacen surcos, el agua que los recorrería tomaría velocidades bastante altas, causando erosión, evento no deseado en el diseño.

Por otro lado, los terrenos con pendientes moderadas o bajas son lugares muy apropiados para trabajar con el método de surcos. En estos casos, es más fácil manejar el agua, tanto en su velocidad como su caudal.

En terrenos ondulados también se puede aplicar el riego por surcos. En este tipo de terrenos la construcción se vuelve más complicada debido a que los surcos deben ir por sus líneas de nivel, dándoles la pendiente requerida, que es mínima. Entonces el trabajo de replantear bien las curvas de nivel en el terreno se vuelve crucial ya que por allí irán los canales de riego.

Cuando se trabaja con este sistema de riego, se pueden trabajar con pendientes del suelo máximas de 0.5%. Este valor de pendiente es pertinente para evitar que el agua tome velocidades suficientemente altas que causen erosión. Así mismo, se puede tomar como pendiente mínima del suelo 0.05% ya que de esta manera se puede drenar el agua con mayor facilidad, especialmente cuando hay excesos de agua creados por lluvias fuertes.

Algunas veces existen desniveles de terreno mayores a 0.5%. En estos casos los surcos pueden tener inclinaciones respecto al canal principal, o incluso dentro de las curvas de nivel, de tal manera que todavía se puede evitar el fenómeno de la erosión. De todas maneras existe un límite tope para este caso que es de 3%.

6.2.3. *Tipo de cultivo*

Existen diferentes tipos de cultivos, y cada cultivo tiene sus propias características y necesidades físicas específicas para su crecimiento. Por este motivo, el sistema de riego de gravedad por surcos es apropiado para:

- Cultivos en hileras: como el maíz, el girasol, la caña de azúcar y la soya.
- Existen cultivos que no sufren daños al tener su tallo o su copa cubiertos de agua por largos períodos de tiempo, de 12 a 24 horas. Cultivos como el tomate, las hortalizas, las papas y los frijoles.
- Es un buen método de riego para árboles frutales como el limonero.
- Cultivos al voleo como el trigo y la cebada.

En resumen, este sistema de riego es apropiado para cultivos e hileras producidos al voleo, árboles frutales y que no sufren de daños al tener su copa o su tallo en contacto con el agua.

6.2.4. *Clima*

Este sistema de cultivo es apropiado para la mayoría de climas. En climas donde el viento corre con altas velocidades, no es conveniente colocar sistemas como el de aspersión, ya que la dirección del agua se ve bastante afectada, con lo que existirían zonas con mayor agua de la planificada mientras que otras zonas tendrán deficiencia de agua.

En el sistema de surcos, el viento no afecta en mayor medida ni el caudal ni el caudal de agua en el canal, por lo que es una buena solución para lugares con vientos fuertes y frecuentes.

6.2.5. Disponibilidad del agua

En la antigüedad, el agua era considerada como un recurso que existía en abundancia en el planeta. Sin embargo, esto no es verdad, con el cambio climático el desarrollo de ciudades, disminución de los glaciales montañosos, entre otros, el agua ya no es un recurso en abundancia.

Por el contrario, es un recurso que debe ser muy bien aprovechado ya que su demanda se ha incrementado. Existen lugares no tan generosos en los que el agua es escasa. En estos lugares, los sistemas de riego por surcos no son recomendables, ya que su precisión no es muy fina, y produce muchos desperdicios de agua, mientras que existen otros métodos con mayor eficacia.

6.2.6. Calidad del agua

Cada lugar tiene su propia fuente de agua, fuentes que debido a sus condiciones y características nos brindan agua con diferente calidad en sus características. Existen aguas que contienen mayor cantidad de sedimentos que otras. Otro tipo de agua ya tiene incorporado nutrientes disueltos, los que van a tratar de mejorar la producción del cultivo.

Utilizar sistemas como el de aspersión no es tan útil si vamos a trabajar con agua con sedimentos, ya que estos sedimentos pueden bloquear o tapar algún conducto o aspersor. Mientras que si el agua tiene disueltos nutrientes adicionales, entonces sistemas como el de surcos puede ser mayor efectividad. Y en casos donde los nutrientes tienen que ser restringidos lo más posible, se pueden utilizar sistemas de goteo.

6.3. Diseño de los Surcos

Una vez que se ha realizado la evaluación de los diferentes métodos de riego, y se ha seleccionado el sistema de riegos de gravedad por surcos, se debe proceder a diseñar el sistema.

Básicamente, el sistema de riego de gravedad por surcos consiste en una red principal de conducción (manga de polietileno, tubería de PVC o de aluminio) que distribuye el agua hacia los canales secundarios o surcos. Los surcos son conductos hechos en el mismo terreno, o son la red de canales secundaria, la misma que lleva el agua al cultivo. El agua que está en excedentes tiene que ser desalojada, y este es el tercer componente del sistema, el sistema de desfogue.

Muchas veces, se incluye la red exterior de abastecimiento a la red primaria, pero para este estudio se consideran las dos como parte de la red principal de canales.

Para diseñar los canales, vamos a tomar en cuenta la longitud del surco, su forma y su separación con los otros surcos. Estas características están condicionadas a parámetros naturales como la pendiente, el tipo de suelo, el caudal disponible, entre otros.

6.3.1. Longitud del Surco

Para determinar la longitud de los surcos hay que tomar en cuenta varios factores y características propias de cada proyecto. La combinación del análisis de estos factores

determinan las longitudes admisibles máximas que los surcos de los surcos para tener un riego eficiente y eficaz.

Se van a analizar los siguientes parámetros:

- Pendiente
- Tipo de suelo
- Caudal
- Profundidad del riego
- Práctica de cultivo
- Longitud del terreno

6.3.1.1. Pendiente

La longitud de los surcos está íntimamente relacionada con la inclinación del terreno. En general, a mayores pendientes, entonces surcos con longitudes mayores. Sin embargo, en esta tesis se estableció que las pendientes debía oscilar en rangos no menores a 0.05% y no mayores a 0.5%, con el objetivo de permitir una fluidez normal de terreno pero sin que ésta fluidez produzca erosión.

En casos especiales, el terreno puede tener hasta el 3% de pendiente, y como ya se mencionó en el análisis, se puede hacer un juego de inclinaciones en relación de la red principal con la red secundaria, con el objetivo de poder utilizar este método sin causar erosión.

Se recomienda no trabajar con surcos con pendientes nulas, es preferible hacer una pendiente mínima del 0.05% con el objetivo de en caso de exceso de aguas, el drenaje no sea un problema.

6.3.1.2. Tipo de suelo

La longitud de los surcos está relacionada con el tipo de suelo en función de su velocidad de infiltración, y en las pérdidas por percolación que los diferentes suelos producen. Como se explicó antes, existen suelos arcillosos, limosos y arenosos.

Los suelos arenosos son suelos de fácil infiltración, produciendo pérdidas altas de percolación. En este caso, los surcos deben ser cortos, no mayores a los 110m, ya que se desea que el agua llegue al final del surco con las menores pérdidas posibles. Esto se produce aumentando la velocidad del agua y reduciendo el valor de la longitud.

Por el otro lado, en los suelos arcillosos y limosos, debido a que su infiltración va de moderada a baja, se producen pérdidas pequeñas por motivos de percolación. Para sistemas de riego en suelos limosos y arcillosos, se recomienda que los surcos sean de longitudes mayores.

Resumiendo, la determinación de la longitud de los surcos bajo el parámetro del tipo de suelo depende básicamente del coeficiente de infiltración que se produce en el suelo.

Para determinar el coeficiente de infiltración existen varias pruebas de campo, las más comunes son las de infiltrómetros de cilindro con un segundo anillo o un lomo. Estas pruebas de campo básicamente miden la velocidad que se demora cierta lámina de agua colocada en infiltrarse, y después de un tiempo ver la cantidad que ha disminuido esta lámina en un tiempo.

El Manual de Campo #5, de Métodos de Riego, realizado por la FAO, nos muestra en el anexo 2 la tabla que está a continuación. Esta tabla muestra la velocidad de infiltración para diferentes tipos de suelo:

Tipo de suelo	Velocidad estabilizada de infiltración (mm/hora)
arenoso	menos de 30
arenoso limosos	20 - 30
limoso	10 - 20
arcilloso limoso	5 - 10
arcilloso	1 - 5

Figura 6.2. Velocidades de Infiltración.

6.3.1.3. Caudal

El caudal es la cantidad de agua que pasa por un área en una unidad de tiempo. Para el caso de riego, el caudal es un determinante importante de la velocidad del agua. Como sabemos, la velocidad del agua es la causa principal de la erosión. Recordemos que la velocidad también influye mucho en campos con variada velocidad de infiltración.

Con surcos de dimensiones no muy largas, un caudal de 0.5 litros por segundo es suficiente para proporcionar un riego adecuado. Así mismo, con caudales mayores que producen que el agua desciende con mayor rapidez, se puede alargar la longitud de los surcos. Sin embargo hay que tener en cuenta y procurar que el caudal no sobrepase los 3 litros por segundo.

6.3.1.4. Profundidad de riego

La profundidad de riego se refiere a la altura de la lámina de riego que se diseña proporcionar para el riego. Las unidades en las que se expresa el riego son los mm de láminas de agua, es decir el espesor de la lámina de agua que se coloca sobre el terreno.

Cuando tenemos espesores altos de las láminas de riego, se pueden diseñar surcos con longitudes grandes. El agua todavía seguirá corriendo y podrá llegar hasta el final del surco con láminas altas ya que no se habrá infiltrado en su totalidad la lámina prevista para los primeros tramos.

De forma análoga, cuando las necesidades de riego no son muy altas y producen espesores menores de láminas de riego, las longitudes de los surcos deben ser menores. Con láminas delgadas de riego, es muy posible que el agua no alcance a llegar al final del surco, si es muy largo, debido a que en el primer tramo del canal la velocidad de infiltración ya ha absorbido la lámina requerida por el cultivo.

6.3.1.5. Prácticas de cultivo

Las prácticas de cultivo se refieren a la forma y mecanismos con los que se realizará el riego. Por ejemplo, si el riego está mecanizado, es preferible trazar surcos largos. Los surcos de longitudes menores, requieren de mayor atención ya que la corriente de agua tiene que pasar de un surco a otro con mayor frecuencia.

Por otro lado, debido a que existen menos pérdidas de percolación, los surcos cortos, aunque son más laboriosos, resultan tener mayor eficiencia en el riego.

6.3.1.6. Longitud del Terreno

Tomar en cuenta la longitud del terreno para determinar la longitud de los surcos es una actividad más lógica que científica. Cuando se tiene un terreno para el cultivo, se lo divide en varios lotes de sembrío. Cada uno de estos lotes es una unidad de cultivo, pero el sistema de riego será diseñado para todo el terreno. Sin embargo, las redes secundarias son diseñadas independientemente a cada unidad de cultivo.

La geometría de cada una de estas unidades es un dato dado muchas veces por la misma naturaleza o por la forma general del terreno. Por este motivo el diseño de las redes secundarias de riego tiene que adaptarse a las longitudes de la unidad de cultivo.

Si la longitud máxima ideal del surco dejaría una parte de la unidad de cultivo sin riego, y no justifica crear otra red para esta parcela de tierra, entonces se tienen que hacer los ajustes necesarios para aumentar la longitud del surco con el fin de que cubra todo el sembrío.

Así mismo, si la longitud del terreno es muy corta con relación a la del surco diseñado, pues se lo tiene que acortar a la longitud de la unidad de cultivo. En este caso, no es mucho problema como la vez anterior, aunque se pueden hacer ajustes para mejorar la efectividad de riego del surco.

6.3.1.7. Tabla referencial de diseño de la longitud máxima de surcos

En el manual #5 de los Métodos de Riego de la FAO, en el capítulo 3 se da una tabla práctica para el diseño de las longitudes de los surcos de un sistema de riego. Sin embargo, como dice en el manual mencionado, los datos son

referenciales y obtenidos de la experiencia en sistemas de riego de gravedad por surcos y no bajo una base científica.

La tabla se muestra a continuación:

VALORES PRÁCTICOS DE LONGITUDES MÁXIMAS DE SURCO (m)							
Pendiente del surco (%)	Caudal (l/s) por surco	Tipode suelo					
		Arcilloso		Limoso		Arenoso	
		Profundidad neta de riego (mm)					
		50	75	50	75	50	75
0.0	3.0	100	150	60	90	30	45
0.1	3.0	120	170	90	125	45	60
0.2	2.5	130	180	110	150	60	95
0.3	2.0	150	200	130	170	75	110
0.5	1.2	150	200	130	170	75	110

Figura 6.3. Valores de longitudes máximas.

Otra tabla de ayuda para el diseño por medio de infiltración es:

Pendiente (%)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN BÁSICA (MILÍMETROS / HORA)		
	Menor de 4	De 4 a 12	Mayor de 12
	suelo arcilloso	suelo franco	suelo arenoso
	(metros)	(metros)	(metros)
0.1	350-500	200-450	80-150
0.3	400-800	300-600	150-400
0.5	400-750	300-500	120-300
1	250-600	220-450	80-250
2	200-400	150-350	50-150

Figura 6.4. Velocidades de infiltración según pendiente. Fuente: Fernández et al.,

1999, Manual de Riego para agricultores, Riego por superficie

6.3.2. Forma del Surco

En un sistema de riego no es solo importante conocer la longitud del surco, sino que también tiene mucho que verla forma del surco. La forma del surco determinará la superficie por la que e agua se infiltrará, también rige la velocidad, la disipación de energía que presenta, entre otros fenómenos. Por esta razón es de suma importancia hacer

el análisis de la forma que debe tener el surco al momento de diseñar un sistema de riego por surcos.

Para determinar la forma del surco, principalmente se toma en cuenta dos aspectos: El tipo de suelo y el caudal de riego. Estos dos aspectos son los principales a tomarse en cuenta en el diseño de la forma del surco ya que estos dos aspectos están a su vez regidos por las condiciones mencionadas antes arriba. Es decir que controlando estas dos características, estamos controlando los fenómenos que la forma de surco afecta.

6.3.2.1. Tipo de suelo

Como se mencionó antes, existen varios tipos de suelos. Vamos a dividirlos en dos grupos: los de rápida infiltración (arenosos), y los de lenta infiltración (limosos y arcillosos).

En el caso de los suelos arenosos, las pérdidas por percolación son elevadas, debido que son suelos de con mucha infiltración. Este fenómeno se da en diferentes direcciones, sin embargo la velocidad de infiltración vertical es mucho mayor que la velocidad de infiltración horizontal.

De esta manera, en suelos arenosos o en suelos con mucha infiltración, la forma de los surcos debe ser diseñada de tal manera que la superficie horizontal en contacto con el agua sea la menor posible. Para lograr esto se necesitan surcos profundos y estrechos. Estos surcos son en forma de V o de U, de esta manera la superficie por la que el agua se infiltra es menor.

Un surco profundo y angosto promedio puede tener una profundidad entre la parte inferior y la parte superior del lomo de unos 20cm, con una base de entre

10 a 15 cm. El agua puede tener un espesor de 15 cm, con un ancho de 20 a 30 cm.

Hay que tener en cuenta que los suelos arenosos no son suelos muy estables por lo que tienden a hundirse, esto produce reducciones de la eficacia del riego.

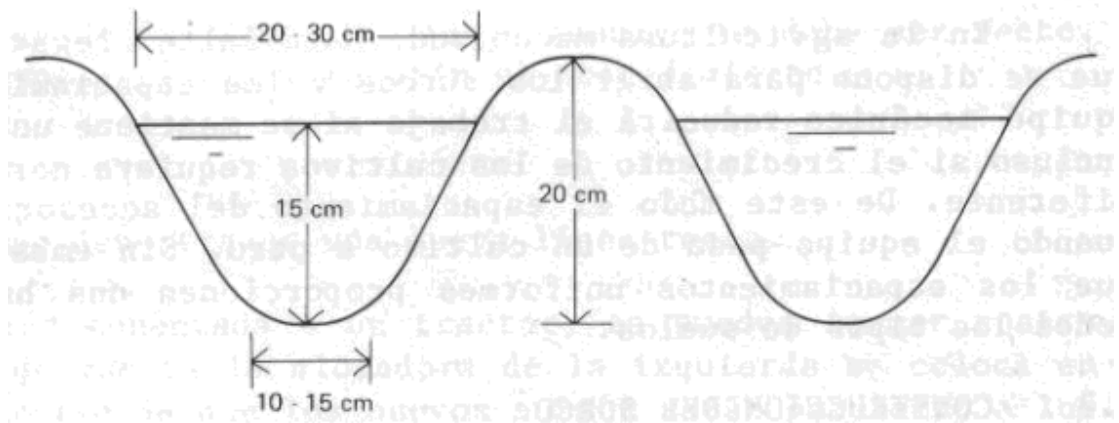


Figura 6.5. Surco profundo y estrecho.

Por otro lado, los suelos arcillosos son suelos en los que las pérdidas por percolación son bajas, debido a que son suelos donde hay pocas pérdidas por percolación. Debido a la poca capacidad de infiltración que hay en este tipo de suelos, se debe procurar que la superficie de contacto horizontal del surco con el agua sea la mayor posible. Por eso, en este tipo de suelos se recomiendan surcos poco profundos y bastante anchos, así impulsamos a infiltración en el suelo.

Un surco profundo y angosto promedio puede tener una profundidad entre la parte inferior y la parte superior del lomo de unos 20cm, con una base de entre

10 a 15 cm. El agua puede tener un espesor de 15 cm, con un ancho de 20 a 30 cm.

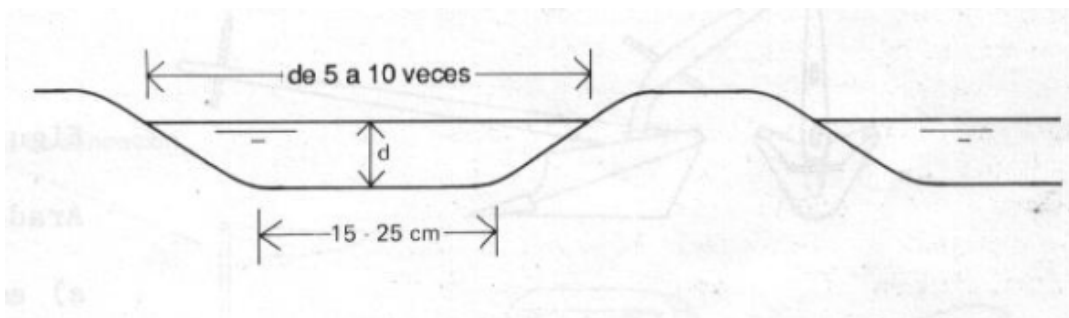


Figura 6.6. Surco ancho y poco profundo.

6.3.2.2.Caudal

El caudal es el volumen de agua que es transportado en un segundo. El caudal es la medida para riego. La demanda de agua de riego no es constante en una zona durante la temporada de riego, ya que depende en gran medida de la cuantía de las precipitaciones y de las necesidades de agua de los cultivos.

Para tener un buen diseño del sistema de riego, se debe tomar en cuenta el caudal de ingreso al surco y el tiempo que se demora en llegar al final del surco.

La idea fundamental es que a mayor caudal mayor deberá ser el surco para contener la corriente.

Sobre el caudal, es necesario controlarlo con el objetivo de tener un caudal adecuado, no muy grande ni muy pequeño.

Con un caudal bajo, la infiltración en el surco se vuelve mayor debido a que el agua viaja a menor velocidad, produciéndose pérdidas por percolación. Con un caudal muy bajo, la eficiencia es baja al igual que su uniformidad.

Por otro lado, con un caudal muy fuerte el agua avanza rápido por lo que no mucha infiltración, o sea no hay pérdidas por percolación. Aunque por el hecho de ir tan rápido, se producen pérdidas por escurrimiento. Aquí la uniformidad es buena, sin embargo la eficiencia es baja.

Sin embargo, con un caudal apropiado se produce un buen equilibrio de las pérdidas por percolación y por escurrimiento, manteniendo una buena eficiencia y uniformidad, más o menos cerca del 70%.

Otra forma es combinar varios tipos de caudales. Por ejemplo, iniciar con un caudal fuerte para llegar rápido al final del surco, y después se puede cambiar el caudal a uno débil durante la infiltración. De esta manera, se puede obtener mejoras en la eficiencia y en a uniformidad a un 80%.

6.3.2.3. Ejemplo de diseños de fajas de surcos

En muchos de los casos, se recomiendan fajas de pendiente 0.3%. Para este tipo, es recomendable, en función del tipo de riego, las siguientes dimensiones:

Tipo de suelo	Anchura (cm)	Longitud (m)
Arenoso	10-12	50-80
Franco	10-12	100-200
Arcilloso	10-15	150-300

Figura 6.7. Longitud de surco. Fuente: Fernández, et al., 1999, Manual de riego para agricultores, Riego por superficie.

6.3.3. Espaciamiento de los Surcos

Una vez decidida la longitud y la forma de los surcos, hay que determinar la distancia que a la que se deben trazar los surcos. Hay dos parámetros que determinan la distancia entre surcos, que es el tipo de suelo las prácticas de cultivo.

6.3.3.1. Tipo de suelo

La distancia entre surcos depende del tipo de suelo. Los diferentes tipos de suelo tienen diferentes velocidades de infiltración, por lo que el área o la porción de terreno y la profundidad que cubre también dependen del tipo de suelo.

Se puede generalizar que en los suelos arenosos la distancia a la que se deben trazar los surcos debe ir desde 30cm. en arenas gruesas hasta 60cm. en arenas finas.

Por otro lado, en suelos arcillosos y limosos, la distancia que hay entre surcos es mayor que en los suelos arenosos. Generalmente los surcos están entre 75 cm. y 150 cm.

Adicionalmente, en este tipo de suelos, una alternativa común de siembra es utilizar surcos de doble lomo o camellones. Estos surcos de camellones son útiles debido a que sobre el doble lomo se pueden sembrar varias hileras de plantas.

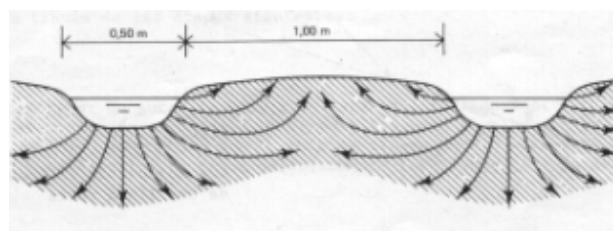


Figura 6.8. Surco de doble lomo.

6.3.3.2. Prácticas de cultivo

Existen muchos casos en la que los surcos se hacen con sistemas mecanizados. En esta situación se debe diseñar la distancia entre surcos de tal

manera que la distancia ideal para los sembríos y el acomodo de la maquinaria que los va abrir. Esto, aunque muchos cultivos necesitan separaciones diferentes, es conveniente mantener las separaciones constantes ya que así mantendríamos trabajando a la maquinaria sin tener que cambiar los accesorios que abren los surcos.

Es importante que el diseño sea bueno, tomando en cuenta que siempre debe mantenerse la humidificación lateral suficiente y uniforme para que el cultivo crezca en toda su magnitud.

6.3.4. *Tiempo de riego*

El tiempo de riego es importante de diseñarlo, ya que el caudal, la forma y la longitud del mismo, va a depender del tiempo que tomará realizar el riego y la infiltración al cultivo. Se puede dividir al tiempo de riego en dos tiempos. El primero es el tiempo de avance, y el segundo es el tiempo que se demora la infiltración.

El tiempo de avance sirve para que el agua recorra todo el surco hasta que la cantidad requerida haya llegado al final del surco. Y el segundo tiempo, el que se demora la infiltración, es el tiempo que tarda el agua en infiltrarse y humedecer el agua.



Figura 6.9. Surcos. Fuente: <http://agrogrupo2.wordpress.com/2008/04/03/metodos-de-riego/>

6.4. Construcción de Surcos

6.4.1. Construcción en terrenos llanos o ligeramente inclinados

Existen tres etapas para construir surcos en terrenos ligeramente inclinados.

6.4.1.1. Etapa 1: Trazado del surco maestro.

Se alinean dos postes, uno al comienzo y otro al final del surco principal, y se colocan estacas a lo largo de la alineación.

6.4.1.2. Etapa 2: Formación de lomos guías.

Se hace avanzar la maquinaria o alomadora a lo largo de la línea principal trazada en la etapa 1. El surco que se crea debe ser recto, caso contrario se debe repetir esta etapa.

6.4.1.3. Etapa 3: Formación de lomos paralelos.

Primero se comienzan trazando otros surcos guías, o secundarios en este esquema. Y posteriormente se pasa la maquinaria para trazar los surcos, respetando la separación y la forma del diseño.

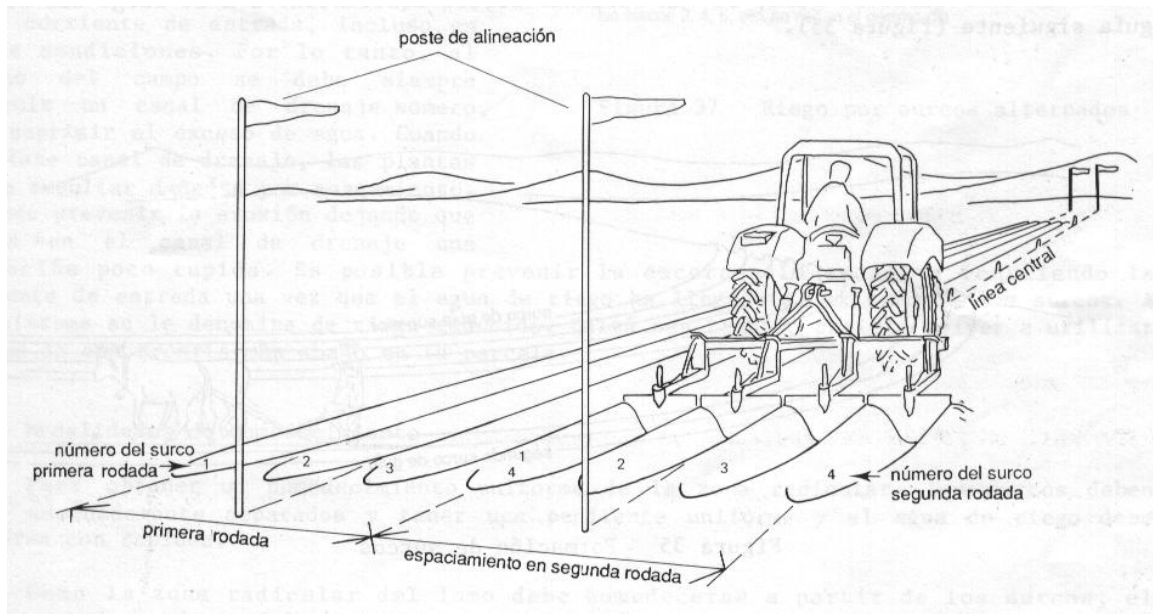


Figura 6.10. Terreno plano.

6.4.2. Construcción en terrenos inclinados u ondulados

En otros casos, hay terrenos con mayor pendiente, o terrenos ondulados. En estos casos hay que tener muy en cuenta las curvas de nivel, ya que estas determinan el trazo de los surcos. Se deben seguir las siguientes etapas:

6.4.2.1. Etapa 1: Estudio de las curvas de nivel y trazo de surco guía

Con instrumentos de nivelación se sigue una línea de nivel, y se van dejando estacas con el fin de trazar el camino del surco maestro.

6.4.2.2. Etapa 2: Formación de lomo guía

Se hace avanzar la maquinaria o alomadora a lo largo de la línea principal trazada en la etapa 1. El surco que se crea debe seguir una curva de nivel, por lo que su único desnivel debe ser la pendiente.

6.4.2.3. Etapa 3: Formación de los lomos guías secundarios.

Cada cinco o diez metros, depende de la ondulación del terreno, se trazan y forman otros lomos guías. El procedimiento es el mismo que se hizo para trazar el lomo del surco maestro.

6.4.2.4. Etapa 4: Formación de los lomos

Con referencia en cada surco guía, se van formando los otros surcos equidistantes. Por supuesto manteniendo las curvas de nivel. Tener en cuenta que al pasar la maquinaria se debe trabajar con el diseño realizado.

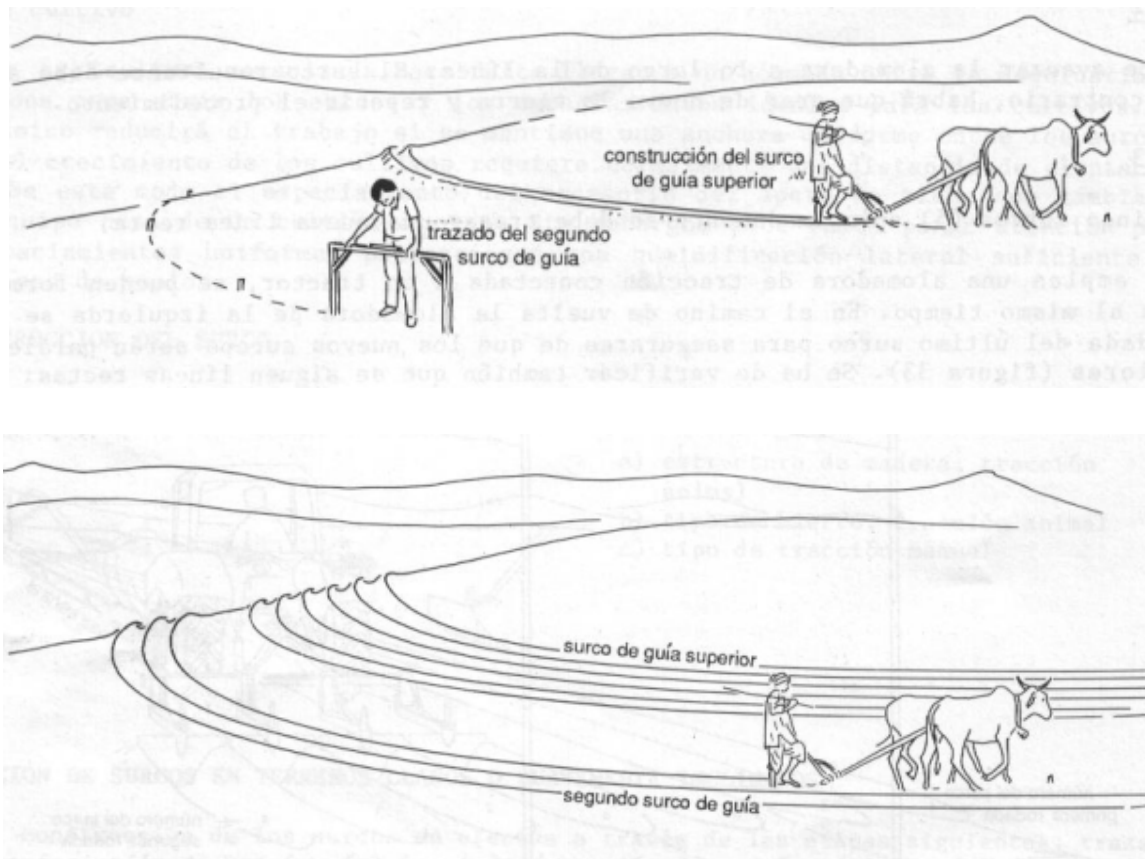


Figura 6.11. Terrenos inclinados u ondulados.

6.5. Ejemplo Práctico de diseño por surcos

En el ejemplo se escogen los terrenos de cultivos “c”, para sembrar papas y habas. En este terreno se debe poner un sistema de surcos de tal manera que e pueda abastecer un caudal de 35 litros por segundo.

6.5.1. Longitud

Se quieren trazar surcos transversales a la longitud principal el terreno. En este caso el terreno tiene dimensiones que se adaptan muy bien a las recomendaciones de pendiente, tipo de suelo y tipo de cultivo.

Este suelo tiene un coeficiente de infiltración elevado, de 22mm / hora, y al diseñarse el terreno con un 0,5% de pendiente, entonces no ay problema en mantener la longitud en 80 metros, que es la longitud transversal máxima que tiene el terreno.

6.5.2. Forma

Ya que el suelo es u suelo de rápida infiltración, se escoge hacer un sistema con surcos profundos.

La distancia desde la base hasta la altura máxima del lomo es de 15cm. La base del surco es de 8cm. y la distancia superior del surco es de 20cm.

6.5.3. Espaciamiento

Por la misma razón, de que los suelos son arenosos y de rápida infiltración; y tomando en cuenta que el tipo de cultivo, se ha decidido que la distancia entre los centros de los surcos es de 50cm.

Siguiendo los pasos indicados en este capítulo se logra el diseño de un sistema de riego a gravedad por surcos suficiente y eficiente, de tal manera que no existan pérdidas de agua, como el ejemplo lo nuestra.

7. SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

7.1. Introducción

El sistema de riego por aspersión es un sistema que trata de modelar al fenómeno de la lluvia. En este tipo de sistemas, como en todo sistema de riego, el inicio está en la fuente desde donde se captará el agua. Seguido del canal principal, el que se encarga de llevar el agua hacia los ramales secundarios. Este canal representa la columna vertebral de la red de riego.

Esta red se conecta a ramales secundarios, los mismos que están tendidos sobre el terreno de cultivo, y que a su vez se hallan conectados con las tuberías para aspersión. Estas tuberías son tuberías que elevan el agua desde la red secundaria hasta los artefactos de aspersión, o aspersores. El agua debe llegar a los aspersores con la presión especificada en el diseño.

Los aspersores son los encargados de pulverizar a las gotas de agua y arrojarlas al cultivo, teniendo un alcance radial que depende de la presión con la que el agua llega al aspersor, y de las características del mismo.

Existen varias formas de realizar este tipo de riego, desde formas rústicas hasta formas muy mecanizadas. En el presente tratado, nos regiremos a las formas que son utilizadas en el país con mayor frecuencia, que no son los riegos a gran escala ni muy mecanizados.

La complejidad de la red de riego depende principalmente de la forma, longitud y topografía del terreno que se va a regar. Topografías ligeramente accidentadas son regadas por este sistema. El desperdicio en el consumo de agua se reduce, aunque las condiciones del clima limitan el uso de este método ya que climas muy áridos o vientos muy fuertes afectan a las gotas de agua destinadas al riego.

Dependiendo de la presión existen varios tipos de riego: los de presión media, que son los sistemas en los que se tienen presiones de entre 2.5 a 4 atm; y los de pequeña aspersión, que son los sistemas en los que se tienen presiones de entre 0.3 a 2 atm.

7.2. Cuando elegir el Riego por Aspersión

7.2.1. Cultivos Adecuados

El método de riego por aspersión es un método que en cuanto a cultivos es muy bueno y útil. Se lo utiliza en diversos tipos de cultivo, como por ejemplo los de hilera, cultivos arbóreos y pastizales. Estos sistemas son muy útiles ya que su agua puede regarse por encima o por debajo de la cubierta de suelo.

En cuanto a los cultivos, estos sistemas de riego ayudan a proporcionar el agua requerida por las plantas con mayor exactitud y eficiencia que los métodos por gravedad. Sin embargo, existen otros cultivos que son muy delicados, como el de lechugas.

Cuando se trata de este tipo de cultivos es preferible no utilizar este sistema de riego ya que las gotas pulverizadas del aspersor tienden a dañar a los cultivos, especialmente las gotas muy grandes que al caer, golpean con bastante fuerza. En otras ocasiones, la presión que tiene el agua al llegar a los aspersores no es siempre constante, por lo que existen cambios en las gotas que caen al cultivo, lo que también daña cultivos sensibles.

7.2.2. Pendientes Adecuadas

En cuanto a las pendientes que debe tener el terreno, pues no existe una limitación muy grande ni definida, que este tipo de método es manejado a través de presión artificial. Esta característica ayuda a que el sistema se adapte a la mayoría se adapte a cualquier pendiente que sea arable. Incluso se adapta a terrenos ondulados.

Las tuberías de la red secundaria, eso sí, deben estar sobre la misma curva de nivel, dentro de lo posible. Esta característica existe ya que se desea no tener cambios de presión dentro de las tuberías, ya que la mantener una presión uniforme se obtiene también un riego uniforme.

7.2.3. *Suelos Adecuados*

Este tipo de riego se adapta de mejor manera a suelos arenosos con elevadas velocidades de infiltración, aunque su utilización puede darse sin mayores complicaciones con la mayor parte de los suelos.

El rango que en promedio de aplicación del agua desde los aspersores, medida en mm /hora, debe ser siempre inferior a la velocidad de infiltración del suelo, para de esta manera evitar los fenómenos de encharcamiento y de escorrentía, que no son deseados ya que producen enfermedades, desperdicios de agua y reducciones de la producción.

El método del riego por aspersión no se lo recomienda para suelos en los que la formación de una costra se produce fácilmente y con cierta frecuencia. Sin embargo, cuando el único método del que se dispone, por cualquier razón que sea, es el de aspersión, se deben utilizar aspersores que pulvericen al agua en gotas ligeras y finas. Por lo que evitar aspersores grandes, que producen gotas de mayor tamaño, se vuelve un necesidad.

7.2.4. *Agua de Riego Apropriada*

En este tipo de sistemas de riego se trabaja con presiones producidas por bombas. Por lo que el diámetro de las tuberías no puede ser muy grande, y se limita al máximo que exista en diseño. Muchas veces se prefiere incrementar la potencia de la bomba en lugar de la tubería, para así garantizar presión, aún cuando existan caudales menores.

Por este motivo, el agua que se utiliza en este tipo de riego debe ser agua limpia, que esté libre de sedimentos en suspensión, ya que éstos van a producir problemas de taponamiento de las tuberías, o taponamientos de las puntas de los aspersores, lo que produce cambios en la presión de salida del agua, en el tamaño de las gotitas del agua que caerán sobre el cultivo. Adicionalmente, estos sedimentos pueden caer y dañar los cultivos al cubrirlos.

7.2.5. *Ventajas*

Este sistema de riego tiene varias ventajas. Una de ellas es que se adapta a todo tipo de terreno, desde ondulados a muy ondulados, como ya se explicó, solo hay que tener en cuenta de colocar la red secundaria sobre una misma curva de nivel para evitar variación de presiones dentro de la tubería.

Por otro lado, el tipo de suelo en el que se lo utiliza no impone restricciones, si se controla bien la pluviometría. De esta manera, si el suelo tiene una alta velocidad de infiltración, o por el contrario baja, no afecta al sistema de riego.

En cultivos jóvenes o de germinación, la lámina de agua aplicada por el riego debe ser ligera, lo que se puede controlar con este método por aspersión.

En comparación con otros sistemas de riego, especialmente con el riego superficial, la eficiencia se incrementa, ya que la cantidad de agua es controlada y no se producen pérdidas.

Si está bien diseñado, se puede llegar a reducciones en la mano de obra, lo que disminuye el costo de este sistema de riego. Igualmente el costo disminuye ya que el agua utilizada es casi la necesaria, puesto que no existen grandes pérdidas.

7.2.6. *Desventajas*

Como en todas las cosas, existen ventajas y desventajas de utilizar este método. Existen algunas desventajas que, dependiendo, del caso, determinaran la factibilidad de utilizar este sistema.

Este sistema presenta problemas en la uniformidad con la que el agua se aplica al cultivo. Como ya se explicó, un buen riego consiste en mantener la uniformidad en la lámina y el área de riego, por lo que al n tener uniformidad, no se permite al suelo que tenga un balance hídrico, y de esta manera algunas plantas del cultivo tendrán a disposición mucho agua, mientras que otras planas del mismo cultivo estarán siendo sometidas a estrés hídrico.

La inversión inicial es elevada, especialmente por los equipos que se tienen que adquirir. También los costos de mantenimiento son elevados, pero si son mecanismos bien diseñados y dispuestos en manera eficiente para el riego, al estar en grandes terrenos, se puede disminuir este incremento del costo.

También presenta limitaciones en cuanto al tema de la calidad de agua, ya que si no se dispone de una fuente con agua limpia, que no contenga sedimentos, entonces este sistema no se puede utilizar. No se puede utilizar porque se producen taponamientos en la red de riego, se acorta la vida útil del equipo que se utiliza y porque puede causar daños como quemaduras en el follaje del cultivo. En pocas palabras, disminuye la productividad.

7.3. Diseño del sistema de riego por Aspersión

7.3.1. Disposición de la red de aspersores

Un sistema de riego típico por aspersión está constituido por: un grupo motobomba, el que se encarga de suministrar el agua con cierta presión específica; Red de distribución, la que se compone por un conjunto de tuberías que conducen el agua hacia los aspersores; y los aspersores, los que se encargan de pulverizar el agua hacia los cultivos.

La red de distribución se compone por la red principal. Esta red es la que parte desde la bomba hasta las tuberías secundarias. Las tuberías secundarias, generalmente, tienen menor diámetro que la principal.

Por otra parte, la red puede ser fija o móvil. Si es fija, las tuberías deben cubrir la totalidad del terreno; aunque si son móviles, las tuberías se pueden trasladar para ir regando a todo el terreno.

Es muy común tener sistemas mixtos en los que ciertas partes estén fijas y otras estén móviles.

Las bombas, generalmente en nuestro medio, suele ser centrífuga. Toma el agua de la fuente y la arroja por la tubería principal con cierta presión predeterminada. El agua pasa de la tubería principal a los ramales secundarios, los que son de menor diámetro. Estos ramales secundarios están, generalmente, fabricados de plástico o de aleaciones de aluminio, ya que estos materiales son de fácil movilidad.

Los aspersores, por ejemplo, suelen estar separados a unas distancias de entre 9 y 24 metros a lo largo del ramal lateral que, normalmente, tiene un diámetro de entre 5 y 12.5 cm. con el objeto de que se pueda trasladar fácilmente.

La tubería lateral está colocada hasta que se realice el riego. Se suspende la bomba, se traslada la tubería, y se conecta a la red principal en otro lugar, y se repite el riego. Generalmente, al ramal lateral se lo puede trasladar hasta cuatro veces al día. Se lo lleva por todo el terreno hasta que se haya realizado todo el riego.

Sin embargo, esto representa un problema en el sentido de la cantidad de la mano de obra que se requiere, que puede llegar a impactar económicamente el proyecto de producción. Aunque ante este problema, se han ideado sistemas con mayor mecanización, o móviles, con

los que se reduce este costo de la mano de obra, pero se incrementa el costo inicial de equipamientos.

El sistema de riego de aspersores con manguera y arrastre también tienen costos bajos de mano de obra. El canal principal, y las tuberías laterales son tuberías de PVC enteradas. Cada ramal abarca tres posiciones. Los aspersores son colocados sobre los porta aspersores arrastrados por deslizadores o trineos se conectan a los ramales laterales por medio de mangueras. En este sistema solo basta con trasladar de una posición a otra el trineo con el aspersor, lo que no es una tarea difícil.

7.4. Diseño y ejemplo Práctico de un diseño de riego por aspersión

DATOS DEL TERRENO

Característica	Símbolo	Fórmula	Unid	EJM	Observación
Superficie a Regar	S =	L x La	m ²	3750,00	
	L =		m	75,00	
	La =		m	50,00	
Dosis de Riego	dr		mm	58,40	
Velocidad media del viento	V		Km/h		
Turnado de riego	TR =		días	6,00	
Eficiencia de la bomba	Eb =				
Altura de aspiración	h1 =		m		
Disposición de aspersores	cuadrada				
Evapotranspiración	Eto =		mm/día		
Tipo de abastecimiento	Bomba				
Dif. Nivel: bomba y aspersor + elevado					

PROYECTO HIDRAÚLICO

1) Dosis Bruta	$db = \frac{dr}{(Ef \cdot Ea)}$		99,15	
Pérdidas por distribución	$Ef =$	%	0,95	
Pérdidas por aplicación	$Ea =$	%	0,62	Tabla 1
2) Precipitación máxima	$Pmax =$	mm/h	15,00	Vel infiltración
3) Duración de cada posición	$Ttot = Tmin + Tcam$	h	8,11	
	$Tmin = \frac{db}{Pmax}$	h	6,61	h
	$Pmax$		15,00	Adoptado
	$Tcam = 1,5$	h	1,50	

4) Número de Ramales laterales	$N_{ram} = N_{tot} / N_{max}$	#	12,67
	$N_{max} = TR / T_{tot}$		0,74
	$e =$	m	8,00
	$l =$	m	8,00
	$N_{tot} = L / l$	#	9,38
	$N_{asp} = \frac{1 + (L_a - X_1 - X_2)}{3}$	#	6,50
	$X_1 =$	m	3,00
	$X_2 =$	m	3,00
5) Caudal de cada aspersor y total			
Caudal de aspersor	$q = P_{max} * e * l$	m ³ /h	960,00
Caudal total	$Q = q * N_{asp}$	m ³ /h	6240,00

7.5. Funcionamiento de los Sistemas de Riego por Aspersión

Como ya se mencionó previamente, el principal objetivo en una red de riego de aspersores es el de humedecer el suelo de la manera más uniforme posible para que la parte reticular del cultivo esté húmeda.

7.5.1. Modalidad de humedecimiento (Distancia entre aspersores)

Un aspersor giratorio no provee la uniformidad de riego que se requiere, como se puede ver en la figura. Como se puede ver en la vista en plata del riego del aspersor, la zona bañada es circular. Esta zona presenta características de tener mayor concentración de humedad en la zona centra mientras que menor en los límites exteriores del círculo de humedecimiento.

Para evitar este fenómeno y lograr un riego más uniforme, se deben utilizar varios aspersores, lo suficientemente cerca uno del otro para producir superposición de las zonas bañadas y de esta manera, mejorar la uniformidad del riego.

Para que la uniformidad sea buena, se deben colocar los aspersores de tal manera que la superposición de humedad represente por lo menos un 65% del diámetro de la zona bañada. De esta manera se determina la distancia entre los aspersores.

Hay que tomar en cuenta, que la uniformidad del humedecimiento está relacionada con las condiciones del viento y de la presión del agua. Por ejemplo, las gotitas pulverizadas por los aspersores pueden ser desviadas, inclusive, por un viento leve, lo que impacta de manera importante en la uniformidad. Esto se evita con aspersores más pequeños y que estén más cerca el uno del otro.

Cada aspersor tiene sus propias características, una de ellas es la presión ideal a la que deben trabajar, o el rango de presiones en el que el aspersor trabajará eficientemente. Estas características las dice el fabricante del artefacto, y hay que cumplirlas, si se quieren buenos resultados. Si se trabaja con presiones superiores o inferiores al rango ideal dado por el fabricante, la distribución del agua será diferente, y aumentará la no uniformidad de riego, evento indeseable.

Si la presión es inferior a la ideal, esto generalmente se da porque la bomba está desgastada al igual que las tuberías, se produce un chorro de agua que caerá fuera del círculo de baño, mojando exclusivamente esta parte.

En cambio, si la presión es muy elevada, también hay resultados indeseables. Las gotas se pulverizan con mayor fuerza produciendo gotitas aún más pequeña de las normales, lo que producirá que las gotas caigan muy cerca del aspersor.

En cualquiera de los dos casos, la uniformidad en el riego no se cumple.

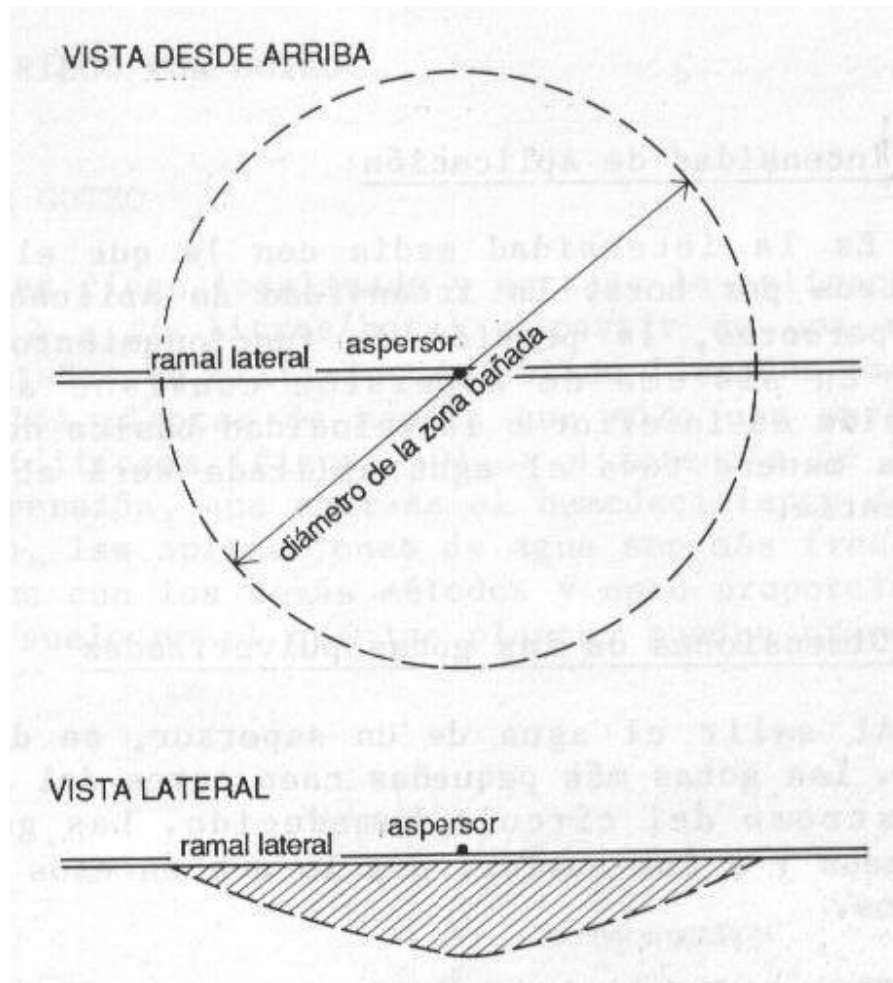


Figura 7.1. Vista superior y lateral del riego por aspersor.

7.5.2. Intensidad de aplicación

La intensidad de aplicación se refiere a la medida de la velocidad media con la que el agua cae sobre los cultivos. Esta intensidad de aplicación, al ser velocidad de riego, se mide en milímetros por hora.

Esta intensidad depende de varios factores. Depende del diámetro de las tuberías de la red de riego, especialmente de las tuberías que llegan al aspersor. También depende, de la presión de funcionamiento a la que se encuentran trabajando los aspersores. Esto depende de la red en general, de la presión que emita la bomba, hasta la presión que a la que el fabricante

recomienda hacerle trabajar al aspersor. Y también depende de la distancia que exista entre aspersores, pues esto determinará cuanta agua cae sobre el cultivo.

Por otro lado, es importante que cuando se diseña la red de riego se tome en cuenta la velocidad de infiltración del suelo en el que se va a trabajar, ya que siempre se va a preferir sistemas de riego con velocidades menores de la velocidad de infiltración del suelo. Así se asegura que toda el agua aplicada será utilizada y también se evita la escorrentía.

7.5.3. Dimensiones de las gotas pulverizadas

Después de que el agua ha recorrido la red principal y secundaria, se dispone a ser pulverizada por los aspersores para salir al exterior y regar el cultivo. Como existen varios tipos de aspersores, cada uno de estos producirá gotitas pulverizadas de diferentes tamaños. Las gotitas que salen del aspersor pueden ser pulverizadas a tamaños de entre 0.5 y 4.0 milímetros.

Las gotitas más pequeñas caen cerca de los aspersores, y las gotitas más grandes van hacia la parte exterior del círculo de humedad. Siempre hay que tener en cuenta que cuando el aspersor riega con gotitas grandes, los cultivos delicados corren riesgos. Si este es el caso, se prefiere utilizar aspersores de menor tamaño.

La dimensión de la tubería y la presión a la que se encuentra el agua son factores importantes para determinar el tamaño de las gotitas de agua. Con presiones bajas, el tamaño de las gotitas aumenta, lo que produce daños en los cultivos. Es preferible trabajar con presiones altas que con bajas. Por esta razón es preferible utilizar tubería de diámetros pequeños, así se previene de situaciones en las que la presión disminuye.

8. CONCLUSIONES

- Existen diversos sistemas de riego, los cuales sirven para diferentes tipos de cultivo, diferentes topografías, zonas climáticas y características de cultivo. Depende de cada uno de estos factores para escoger y diseñar el sistema que mejor se adapte y que mayores beneficios brinde para el caso específico. Por ejemplo, no se pueden utilizar sistemas superficiales, con el de gravedad por surcos, para cultivos que no toleran mucha agua y que se pueden ahogar. Por otro lado, para cultivos muy delicados como el de la lechuga, no se recomienda utilizar sistemas por aspersión debido a la delicadez de las hojas de este cultivo.
- Existen varios tipos de cultivo, por ejemplo, hay cultivos de períodos largos, cultivos que no soportan heladas, cultivos que resisten estrés hídrico, cultivos que se siembran en hileras, cultivos que se siembran al voleo. Dependiendo del tipo de cultivo, se escoge el método de riego.
- La geografía y topografía del terreno son factores muy importantes al momento de escoger el método de riego. Por ejemplo, si se tiene un terreno con mucha pendiente, el método de gravedad por surcos no es la mejor opción. Por otro lado, para un terreno demasiado empinado se recomienda hacerlo terrazas y regarlo superficialmente. También se puede hacer el riego por el método de aspersión para este tipo de terreno, ya que este método se adapta a la mayoría de terrenos.
- En el mundo existen diferentes zonas bioclimáticas, por lo que cada cultivo tiene características diferentes. En cada zona hay propiedades propias, como el rango de temperaturas, las corrientes de vientos, la cantidad de lluvias, la nubosidad existente, entre otras. Y cada una de estas condiciones afecta de manera directa al cultivo que se quiere

sembrar, ya que la evapotranspiración depende de estas condiciones entonces la cantidad de riego va a depender también de estas condiciones.

- Dependiendo del cultivo que se pretende sembrar, también se debe escoger el método de riego a utilizar. Por ejemplo, con cultivos muy delicados no se recomienda la utilización del método por aspersión, ya que si las gotas son gruesas van a caer con fuerza sobre las hojas de los cultivos, como el de la lechuga, y los podrían dañar. También hay que tener en cuenta si el cultivo es resistente a grandes cantidades de agua o al estrés hídrico, ya que esto define el tipo de riego.
- El primer paso para tener un cultivo eficiente con una alta producción, es determinar la cantidad de agua que un cultivo necesita, para no enfrentarlo a estrés hídrico.
- El agua que se necesita regar en el cultivo, depende de la cantidad de agua que la lluvia proporciona y de la evapotranspiración que se produce en la zona para ese cultivo.
- En los últimos años, la preocupación sobre la escasez de este recurso se ha incrementado, poniendo al descubierto los problemas que la falta de agua nos traería. Por este motivo, es de mucha importancia que en el diseño de sistemas de riego, se tenga en cuenta este factor. Tanto en sistemas de riego a gravedad como en sistemas por aspersión el desperdicio puede ser moderado al controlar el caudal de agua que ingresa al cultivo. Por gravedad, se debe diseñar la forma, pendiente y longitud del surco, para evitar pérdidas. En el método de riego por aspersión, el control del agua que ingresa al terreno es mucho mejor y tiene mayor precisión, y se lo controla con la presión que se pone en las tuberías de las redes tanto principal como secundaria.
- El programa CROPWAT, creado por la FAO, institución que pertenece a Organización de las Naciones Unidas, es un programa en el que se ingresan los datos de la zona

bioclimática como temperatura, heliofania, cantidad de lluvias; los datos del suelo; y los datos del cultivo que se desea plantar. Con estos datos, el programa calcula la evapotranspiración que sufrirá el cultivo, y con la cantidad de lluvias que se espera exista, el programa nos da la cantidad de riego que se necesita.

- El sistema de riego de gravedad por surcos es un sistema que se puede utilizar en muchos cultivos, como los cultivos de hilera, en los que las pendientes no son muy elevadas.
- Este sistema de riego por surcos es conveniente para cultivos en los que existe carencia de recursos. La construcción de surcos puede ser manual, lo que ayuda a cultivos con bajo presupuesto.
- En el sistema de riego por aspersores, la cantidad de agua que se utiliza para el riego tiene un mejor control y esto evita las pérdidas y desperdicios del recurso, mejorando así la eficiencia en la producción del cultivo.
- El método de riego por surcos es más económico que el método por aspersores. Su utilización en campos en los que el cultivo no es muy débil y tiene pendientes pequeñas, es muy común. Es igual de común en terrenos ondulados, en los que los surcos se los traza a lo largo de la misma curva de nivel.
- El método de riego por aspersión es de mayor precisión que el riego por surcos. En este método las pérdidas son menores, por lo que la eficiencia del riego es mejor.
- Este sistema de riego por surcos puede ser bastante mecanizado, en cuyos casos la mano de obra que se requiere se disminuye considerablemente. La mecanización de este sistema puede regar grandes cantidades de terreno.

Referencias

Capítulo 1

Gomella, C. and H. Guerree. *La distribución del agua en las aglomeraciones urbanas y rurales*. 2da edición. Madrid: Editores técnicos asociados.

Gomella, C. and H. Guerree. *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Madrid: Editores técnicos asociados, 1977.

Kneese, Allen. *The Economics of Regional Water Quality Management*. USA: 1964.

Leliavsky, Serge. *Irrigation Engineering: Canals and Barrages, Vol. I*. London: Chapman and Hall, 1965.

Nielsen, David. *Ground-water Monitoring*. Paris: Lewish Publisher, 1991.

Capítulo 2

“Capítulo 15: La nubosidad”. Los fenómenos meteorológicos. 18 febrero 2003.
<http://www.mailxmail.com/curso-fenomenos-meteorologicos/nubosidad>

Chang Manging, Junin. “Importancia de la heliofania en la agricultura”. Generación.
<http://www.generacion.com/usuarios/actualidad/articulos/?codarticulocliente=543>

“Ciclo Hidrológico”. Miliarium.com: Ingeniería Civil y Medio Ambiente. 2004.
http://www.miliarium.com/Monografias/PHN/Ciclo_hidrologico.asp

“Fenómenos climáticos: Viento”. Elementos del Clima.
<http://www.practiciencia.com.ar/ctierrayesp/tierra/clima/element/viento/index.html>

“Heliofania o duración del brillo solar”. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.
http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_helio.htm

Hermans-Killam, Linda y Doris Daou. Traducción: Amaya Moro-Martin. “¿Qué es la Temperatura?” Spitzer: El Telescopio Espacial. California Institute of Technology. 8 septiembre 2001.
http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/thermal/temperature_sp_06sep01.html

“Humedad atmosférica”. Astronomía Educativa: Tierra, Sistema Solar y Universo.
<http://www.astromia.com/glosario/humedad.htm>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <http://www.inamhi.gov.ec/html/inicio.htm>

Lomelí R., María Guadalupe y Ramón Tamayo O. “El agua en el aire”. Deterioro Ambiental.
http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/10agua.html

Loroño, Desiree, Crisdangel Conde, Juan Carlos Uña, Luis José Pinzón y José Luis Onton. “Esgurrimiento”. Universidad de Oriente, Venezuela. Febrero 2007.
<http://www.slideshare.net/hidrologia/grupo-5-escurrimiento>

“¿Qué es el viento?” Energías Limpias. Olimpiadas Nacionales de Contenido Educativo en Internet. 2004.
http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/eolica_y_molinos/Capitulo_1/cap_1_1.htm

“Los Vientos”. Innovación de la Educación en la Península de Santa Elena.
<http://iepse.cti.espol.edu.ec/peninsula/ecuaclima/images/File/material/vientos.pdf>

Villasuso Gato, José. “La Temperatura”. Recursos de Física para ESO y Bachillerato. 2003.
<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Calor/Temperatura/Temperatura.htm>

Capítulo 3

FAO: Departamento Económico y Social. “I. Los problemas del agua y la agricultura”. Depósito de Documentos de la FAO. 1993. <http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s09.htm>

Ibáñez, Juan José. “Tipos de Suelos Salinos”. Un universo invisible bajo nuestros pies: Los suelos y la vida. 4 enero 2008.
<http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2008/01/04/81822.aspx>

Ruiz, Víctor M. y Laosheng Wu. “Influencia de la Salinidad Sódica en la Permeabilidad del Agua en el Suelo”. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable.
http://www.oeidrus-zacatecas.gob.mx/oeidrus_zac/zacatecas/revista/VA6/11.html

“Uso del agua en la agricultura”. Enfoques. FAO: Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. Noviembre 2005. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0511sp2.htm>

Capítulo 4

Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes y Martin Smith. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO, 1998. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>

FAO – Water Development and Management Unit. “CROPWAT for Windows; Manual”.

Trezza, Ricardo. “CROPWAT para Windows”. Manual de Usuario CROPWAT. Scribd.
<http://www.scribd.com/doc/7272757/Manual-de-Usuario-CROPWAT>

Capítulo 5

- “Características y principales usos de la papa”. CONPAPA: Confederación Nacional de Productores de Papa de la República Mexicana. <http://www.conpapa.org.mx/usos.html>
- Centro de Investigación y Desarrollo. “Innovando la producción de pastos en Lachaqui, Perú”. [tuPatrociniocom.com](http://www.tupatrociniocom.com).
<http://www.tupatrociniocom.com/patrociniocom/cfm/proyecto/02314100070448566957545248574570.html>
- “Cítrico: Cultivo de las especies de cítricos”. InfoJardín.
<http://articulos.infojardin.com/Frutales/fichas/citricos-cultivo-citrico-2.htm>
- “Col”. COMPO.
<http://www.compo.es/compo/WebApp?Resource=IdealPortal.Page&Node=38600938>
- “Col, Repollo”. FAX México: La Técnica al Servicio de la Agricultura.
<http://www.faxsa.com.mx/semhort1/c60cl001.htm>
- Convenio MAG/IICA: Subprograma de Cooperación Técnica. “Soya”. Identificación de Mercados y Tecnología para Productos Agrícolas Tradicionales de Exportación. Biblioteca Virtual del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Servicio de Información y Censo Agropecuario. Mayo 2001.
http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Convenio%20MAG%20IICA/productos/soya_mag.pdf
- Corpeño, Boris. “Manual Del Cultivo De Tomate”. IDEA: Centro de Inversión, Desarrollo y Exportación de Agronegocios. Fintrac. Agosto 2004.
http://www.fintrac.com/docs/elsalvador/Manual_del_Cutivo_de_Tomate_WEB.pdf
- “El cultivo del pimiento”. Agrobot.
http://www.agrobot.com/Info_tecnica/Alternativos/horticultura/AL_000021ho.htm
- “Cultivo del tomate: Plagas, enfermedades y fisiopatías en cultivo de tomates”. InfoJardín.
<http://articulos.infojardin.com/huerto/cultivo-tomate-tomates.htm>
- “El cultivo del Trigo (*Triticum sativum*)”. Botanical-Online. 1999-2009. <http://www.botanical-online.com/flortrigo.htm>
- “El Cultivo de la Cebada”. InfoAgro.com.
<http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/cebada.htm>
- “El Cultivo de Maíz”. InfoAgro.com. <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>
- “El cultivo de soya”. Ecuaquímica.
http://www.ecuaquimica.com/index.php?option=com_content&task=view&id=31&Itemid=99999999&lang=es

- “Fichas de hortalizas y verduras por nombre científico”. InfoJardín.
<http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/lista-hortalizas-verduras-nombre-cientifico.htm>
- “Fichas Técnicas: Soya”. Piura On-line. CIPCA: Centro de Investigación y Promoción del Campesinado.
http://www.cipca.org.pe/cipca/informacion_y_desarrollo/agraria/fichas/soya.htm
- “Guía para Cultivo de Maíz”. San Luis Hills Farm. <http://www.slhfarm.com/maizguia.html>
- “Habas”. ITA: Investigación de Técnicas Agrarias S.L. Grupo Aragonesa.
<http://www.grupoaragonesa.com/ITA/productos.asp>
- “El impacto de la biotecnología en el cultivo de la papa”. Año Internacional de la Papa. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. FAO.
<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/papa.htm>
- “Pastos Agresivo Adaptado a Suelos Pobres Alta Carga Animal Controla Malezas”. Instituto Pro Mejoramiento de la Ganadería de la Universidad de Panamá y la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). http://www.promega.org.pa/pdf/plegable_2001_2.pdf
- “Pimiento – *Capsicum annuum*”. InfoJardín.
<http://articulos.infojardin.com/huerto/Fichas/pimiento.htm>
- Rizzo Pastor, Pablo, Ing. “El Cultivo de Habas”. Biblioteca Virtual del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Servicio de Información y Censo Agropecuario.
http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles_productos/haba.pdf
- Rizzo Pastor, Pablo, Ing. “El Cultivo de Maíz”. Biblioteca Virtual del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Servicio de Información y Censo Agropecuario.
http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/maiz/cultivo_maiz.htm
- Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, P.A. Calviño, P. Barbieri y M. Redolatti. “Respuesta del cultivo de trigo al agregado de zinc y cobre en el sudeste bonaerense”. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. 2001.
<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/trigo/fert/cultivodetrigo.htm>
- Salvadoria, H., Dr., Ing. Agr. F. Idiart e Ing. Agr. H.O. Lorda. “La Cebada Cervecera en la Pampa”. AgroRadar: Red Agro-económica de Administración de Recursos.
<http://www.inta.gov.ar/pro/radar/info/documentos/estimaciones/115.pdf>
- Sonnino, Andrea y Kakoli Ghosh. “La papa y la biotecnología”. Año Internacional de la Papa 2008. FAO. <http://www.potato2008.org/es/lapapa/biotecnologia.html>

Trujillo, Erika. "Cítricos". Monografías.com: Agricultura y Ganadería.
<http://www.monografias.com/trabajos15/citricos-cultivo/citricos-cultivo.shtml>

Capítulo 6

Brouwer, C., del Instituto Internacional de Recuperación y Mejora Técnica de Tierras y K. Prins, M. Kay, M. Heibloem de la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. 1989. *Manejo del Agua del Riego: Manual de campo No. 5: Métodos de riego*. FAO.

"Riego por surcos". Agrobot.
http://www.agrobot.com/Info_tecnica/agricultura/Riego/AG_000009ri.htm

"El riego por surcos". Euroresidentes. RIDO: tecnología de riego avanzado.
http://www.euroresidentes.com/jardineria/sistemas_de_riego/riego/riego_por_surcos.htm

Sistema de Asistencia al Regante en Andalucía. "Diseño de sistemas de riego". Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera: Consejería de Agricultura y Pesca.
<http://www.juntadeandalucia.es/innovacioncienciayempresa/ifapa/sar/servlet/FrontController?action=Static&url=infoTecnica/disenio/riegosuperficie.html&ec=info#diseno>

van den Bosch, B.E., J. Hoevenaars y C. Brouwer del Instituto Internacional de Recuperación y Mejora Técnica de Tierras y N. Hacho de la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. 1994. *Manejo del Agua de Riego: Manual de campo No. 7: Canales*. FAO.

Capítulo 7

Brouwer, C., del Instituto Internacional de Recuperación y Mejora Técnica de Tierras y K. Prins, M. Kay, M. Heibloem de la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. 1989. *Manejo del Agua del Riego: Manual de campo No. 5: Métodos de riego*. FAO.

"Diseño de un sistema de riego por aspersión". Guía del Trabajo Práctico No. 12. Facultad de Ingeniería. UNNE. <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidro12.pdf>

"Riego por aspersión". Ciencia y tecnología, Agricultura: Riego Artificial (Sistemas). Olimpiadas Nacionales de Contenido Educativo en Internet. 2003.
http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE_RIOS/26/sisriego/rieasp.htm

"Riego por aspersión". elRiego.com.
http://www.elriego.com/informa_te/riego_agricola/fundamentos_riego/riego_aspersion.htm

Rolland, Lionel. 1986. *Mecanización del Riego por aspersión*. Estudio FAO Riego y Drenaje 35.