



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**“Diseño de un Sistema de Riego Combinado por
Aspersión y por Goteo con un Area de 8 Há en el Centro
Politécnico Daule”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Xavier Fabricio Moncayo Calderero

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2004





AGRADECIMIENTO

A toda las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente en el Ing. Marcelo Espinosa Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA



A DIOS

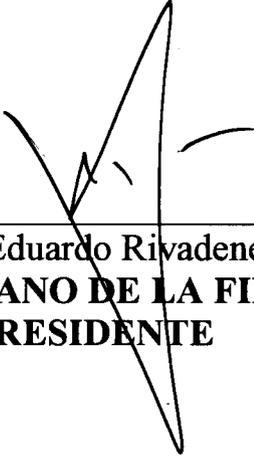
MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ENAMORADA

A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Marcelo Espinosa L.
DIRECTOR DE TESIS



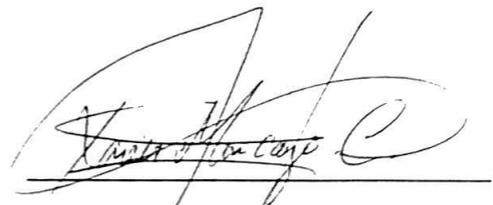
Ing. Hayde Torres C.
VOCAL



DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Xavier Moncayo C.



RESUMEN



El objetivo de esta Tesis de Grado es realizar el diseño combinado de riego por aspersión y por goteo para la aplicación dentro de la agricultura, siendo una alternativa de solución con respecto a los costos y eficiencia, ya que sabemos que los diseños de riego por goteo son más eficientes, pero más costosos, mientras los diseños de riego por aspersión son más económicos, pero menos eficientes.

Esta Tesis contiene en su estructura el diseño de dos sistemas de riego: aspersión y goteo, diseño hidráulico y análisis económico total del sistema combinado incluyendo los costos por concepto de instalación.

En el Capítulo Uno se dan conceptos básicos y cálculos acerca de la topografía y edafología del suelo, los cuales son fundamentales para el desarrollo de los diseños (aspersión y goteo).

El Capítulo Dos nos habla de los diferentes cultivos que se podrían tomar en consideración como alternativas de diseño, tomando en cuenta su clasificación agronómica.

En el Capítulo Tres se dan conceptos y consideraciones que se deben tomar inicialmente en la siembra de cultivos, así como también nos explica

diferentes formas de mejorar el rendimiento mediante técnicas de siembra por transplante, como son los acolchados, microtúneles e invernaderos.

El Capítulo Cuatro trata acerca de los requerimientos hídricos de los cultivos, debido a la evapotranspiración de los mismos, datos que son necesarios para el cálculo y diseño de los sistemas de riego.

En el Capítulo Cinco podemos ver los cálculos y el diseño hidráulico del sistema, la selección de filtros, cálculo de la carga dinámica total y caudal para la selección de la bomba del sistema, así como también se analiza el sistema de regulación (válvulas reguladoras de presión).

En el Capítulo Seis se realiza en detalle el costo de los diferentes rubros que se necesitarían para la implementación de este diseño, así como también nos muestra el costo de instalación por hectárea, y el costo del montaje del motor y bomba.

Para finalizar, en el Capítulo Siete he dado unas conclusiones y recomendaciones que considero muy importantes y útiles, en las cuales se concluye el equilibrio económico con respecto a costos y eficiencia que dio como resultado hacer este diseño combinado.



INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
INDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGIA	VIII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE PLANOS	XII



CAPÍTULO 1

1.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y EDAFOLOGÍA DEL SUELO	3
1.1 Estudio Topográfico	3
1.1.1 Planimetría	3
1.1.2 Altimetría	4
1.2 Propiedades del suelo	9

CAPÍTULO 2

2.- CULTIVOS AGRONÓMICOS	18
--------------------------------	----

2.1	Ciclo perenne	18
2.2	Ciclo corto	21
2.2.1	Cereales	21
2.2.2	Hortalizas	23

CAPÍTULO 3

3.-	TIPOS DE SIEMBRAS	26
3.1	Siembra directa	26
3.2	Siembra por transplante	27
3.2.1	Siembra con acolchados	28
3.2.2	Siembra en microtúneles	32
3.2.3	Siembra en invernaderos	32



CAPÍTULO 4

4.-	REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS..	34
4.1	Estimación de la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o)	35
4.2	Estimación del coeficiente de cultivo (K _c)	37
4.3	Estimación de la Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	46

CAPÍTULO 5

5.- DISEÑO DE LOS SISTEMAS	49
5.1 Por aspersión	49
5.1.1 Pérdidas de carga por fricción	56
5.2 Por goteo	62
5.2.1 Pérdidas de carga por fricción	68
5.3 Selección de equipos	76
5.3.1 Sistema de filtración	76
5.3.2 Sistema de bombeo	84
5.3.3 Sistema de regulación	86



CAPÍTULO 6

6.- ANÁLISIS DE COSTOS	89
------------------------------	----

CAPÍTULO 7

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
--	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

drx	Distancia relativa al eje de las x (m)
dry	Distancia relativa al eje de las y (m)
di	Distancia inclinada (m)
d	Desnivel (m)
Ln	Lámina neta (mm)
Lb	Lámina bruta (mm)
D	profundidad de raíz (m)
Tr	Tiempo de riego (h)
Tk	Tiempo de cambio (h)
T_T	Tiempo total (h)
j	Jornales
lr	Intervalo de riego (días)
Ta	Tasa del aspersor (mm/h)
Sa	Espaciamiento aspersores (m)
Sl	Ancho de lote – Espaciamiento lateral (m)
qa	Caudal del aspersor (gpm)
na	Número de aspersores
Qt	Caudal total (gpm)
dg	Distancia entre goteros (m)
dl	Distancia entre laterales (m)
K	Coefficiente de resistencia para válvulas y accesorios
V	Velocidad del fluido (m/s)
g	Aceleración de la gravedad (9.78 m/s ²)
f_T	Factor de fricción
n	Revoluciones por minuto del motor (rpm)
η	Eficiencia de la bomba (%)
ρ	Densidad del fluido (Kg/m ³)



SIMBOLOGIA



ϕ_h	Angulo horizontal (grados)
ϕ_{eh}	Angulo horizontal recalculado (grados)
ϕ_v	Angulo vertical (grados)
Etc	Evapotranspiración de un cultivo (mm/mes)
Eto	Evapotranspiración del cultivo de referencia (pasto) (mm/mes)
Etp	Evapotranspiración del cultivo de referencia (alfalfa) (mm/mes)
Kc	Coefficiente de cultivo
Sa	Capacidad de retención del suelo (cm/m)
p	Agotamiento permisible
e_{ra}	Eficiencia de riego por aspersión (%)
ϕ_H	Diámetro húmedo (m)
R_H	Radio húmedo (m)
Hf	Pérdidas de carga por fricción (m)
C	Coefficiente de Hanzen Williams para el material y diámetro de la tubería
Irc	Intervalo de riego corregido (días)
Lnc	Lamina neta corregida (mm)
Lbc	Lamina bruta corregida (mm)
Ib	Infiltración básica (cm/h)
e_{rg}	Eficiencia de riego por goteo (%)
Lnr	Lámina neta real (m)
Ar	Área real (%)
Cr	Ciclo de riego (días)
Phf	Precipitación horaria física (mm/h)
Phd	Precipitación horaria de diseño (mm/h)
Qg	Caudal de gotero (lt/h)
Ntd	Número de turnos diarios
Trd	Tiempo de riego diario (h)
Trc	Tiempo de riego por ciclo (h)
Ntc	Número de turnos por ciclo
Srt	Superficie de riego por turno (Há/turno)
Vrt	Volumen total de agua por turno (m ³ /turno)

h_m	Pérdidas menores (m)
NPSHa	Cabezal neto de succión disponible (m)
NPSHr	Cabezal neto de succión requerido (m)
Ps	Presión sobre la superficie del líquido (psi)
Pv	Presión de vapor de acuerdo a la temp (psi)
Z	Altura de la bomba al nivel de agua (pies)
P	Potencia del motor (HP)



INDICE DE FIGURAS



		Pág.
FIGURA 1.1	Triángulo de Texturas	14
FIGURA 4.1	Gráfica del valor de Kc en las 4 fases de su período vegetativo	43
FIGURA 5.1	Esquema del sistema de filtración	78
FIGURA 5.2	Esquema del sistema de bombeo	87

INDICE DE TABLAS



	Pág
Tabla I	Clasificación de los suelos 10
Tabla II	Coeficiente de cultivo Kc mensual 46
Tabla III	Evapotranspiración mensual (ETc) del tomate ... 47
Tabla IV	Evapotranspiración total (ETc) del tomate 48
Tabla V	Pérdidas por fricción máxima en la tubería principal y en la lateral (Diseño 1) 58
Tabla VI	Pérdidas por fricción máxima en la tubería principal y en la lateral (Diseño 2) 61
Tabla VII	Porcentaje del área de riego recomendado para los diferentes sistemas de riego 66
Tabla VIII	Coeficiente de resistencia K (válido para válvulas y accesorios) 71
Tabla IX	Diferentes diseños combinados 73
Tabla X	Granulometría de distintos materiales filtrantes ... 78
Tabla XI	Mallas de acero recomendadas 81

INDICE DE PLANOS

PLANO I	Levantamiento planimétrico y altimétrico
PLANO II	Diseño 1 – Aspersión
PLANO III	Diseño 2 – Aspersión
PLANO IV	Diseño Riego Combinado (aspersión - goteo)



INTRODUCCIÓN



La agricultura bajo riego alrededor del mundo se enfrenta a un tremendo reto. Debido a que las poblaciones y economías se desarrollan y crecen, la competencia se intensifica por los limitados recursos de agua y por conflictos entre los diferentes sectores que usan este recurso. Tal competencia conlleva a un inevitable incremento en los costos del agua por consiguiente a la necesidad de producir más alimentos con menos agua.

Durante los últimos 15 años, se ha llevado a cabo un considerable esfuerzo a nivel mundial en términos de diagnóstico de sistemas de riego, el cual ha arrojado la siguiente conclusión: para poder aliviar la crisis del sector en la mayoría de los países, es necesario mejorar la eficiencia del uso de agua a través de un esquema lógico de soluciones. Resolviendo los problemas de la agricultura bajo riego, muchos de los problemas de las sociedades rurales de los países podrían ser resueltos.

Unos de los sistemas más utilizados actualmente en nuestro país, especialmente en cultivos hortícolas, son los sistemas de riego por aspersión y por goteo. En la presente tesis, se analizarán precisamente cada sistema de riego (aspersión y goteo), así como la combinación de los mismos.

Se tomará en consideración todos los parámetros técnicos necesarios para la realización de los cálculos y el diseño del sistema combinado así como también se considerará las situaciones más desfavorables con el fin de ser más eficientes y que se cubran todas las expectativas, sean estas teóricas ó prácticas.



CAPÍTULO 1

1.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y EDAFOLOGÍA DEL SUELO

1.1 Estudio Topográfico



La topografía es la medida tridimensional de los detalles naturales y artificiales de la superficie terrestre para representarlos en mapas y planos. En otras palabras podríamos decir que el objeto de la topografía es el estudio de los métodos necesarios para llegar a representar un terreno con todos sus detalles naturales o creados por la mano del hombre, así como el conocimiento y manejo de los instrumentos que se precisan para tal fin.

1.1.1 Planimetría

Consiste en el conjunto de operaciones necesarias para llegar a obtener la proyección horizontal. La planimetría y altimetría se

la realiza en dos etapas. En la primera se toman **sobre el terreno** los datos necesarios, constituyendo los trabajos de **campo**; en ellos se sitúan los instrumentos en los puntos elegidos, lo que se denomina **hacer estación**, y se anotan las observaciones en registros o libretas. En la segunda etapa o trabajo de gabinete, se hacen los cálculos y operaciones necesarias hasta dejar dibujado el plano.

1.1.2 Altimetría

Consiste en determinar la cota de los puntos necesarios o las curvas de nivel. Se denomina curva de nivel la línea que une en el plano los puntos de igual cota.

Frecuentemente el levantamiento planimétrico y el altimétrico se hacen por separado, utilizando a veces, instrumentos del todo diferentes, pero también suelen hacerse simultáneamente, empleando un mismo instrumento, valiéndose de métodos abreviados llamados de taquimetría. El método se fundamenta en determinar la posición de un punto en el espacio por tres coordenadas, x , y , z . Por lo tanto con las coordenadas x , y se haría el levantamiento planimétrico con lo cual determinaríamos la superficie del terreno; con la coordenada z , se haría el



levantamiento altimétrico con lo cual determinaríamos las curvas de nivel.

El método aplicado para la realización de esta tesis fue mediante la taquimetría. Cabe señalar que para la ejecución de este método se realizan también las dos etapas señaladas anteriormente, las cuales son los trabajos de campo y los trabajos de gabinete.

Para este específico levantamiento topográfico y ejecutando la primera etapa se utilizó un teodolito y con el cual se realizaron siete estaciones y se tomaron sesenta y nueve puntos meticulosamente distribuidos a fin de determinar y establecer las cotas del terreno en su totalidad. Cada punto tomado era determinado de acuerdo a su respectiva estación mediante tres datos, los cuales son: distancia inclinada, que es la distancia desde la estación a cada punto, ángulo horizontal necesario para situar el punto en el plano x, y , y ángulo vertical necesario para realizar las curvas de nivel.

Para la segunda etapa o etapa de gabinete se procedieron a hacer los cálculos necesarios para obtener los puntos con sus coordenadas x, y . Primero se procedió a situar las estaciones.



Para la estación 1 la cual es mi estación de partida se asumió un valor arbitrario (1000,1000); para la estación 2 se aplica la siguiente fórmula según estudios de topografía de Álvaro Torres y Eduardo Villate:

$$d_{rx} = d_i \text{ Sen } \phi_h$$

donde d_{rx} es la distancia relativa a la estación 1 en el eje de las

X, d_i es la distancia inclinada

, ϕ_h es el ángulo horizontal

y,
$$d_{ry} = d_i \text{ Cos } \phi_h$$

donde d_{ry} es la distancia relativa a la estación 1 en el eje de las

Y, d_i es la distancia inclinada

, ϕ_h es el ángulo horizontal

y así al sumar algebraicamente esos valores a la estación 1 me darían la coordenada de la estación 2 (942.18 , 925). Para el cálculo de la estación 3, el ángulo horizontal ϕ_h de la misma debía estar en función de la estación 1, y por cálculos trigonométricos se determina que si,

$\phi_{h2} > 180^\circ$, entonces a $\phi_{eh2} = \phi_{h2} - 180^\circ$, ó si,

$\phi_{h2} < 180^\circ$, entonces a $\phi_{eh2} = \phi_{h2} + 180^\circ$

donde ϕ_{h2} es el ángulo horizontal de la estación 2,

ϕ_{eh2} es el nuevo ángulo horizontal que tendría la estación 2



En nuestro caso el ángulo de la estación 2 es de $217^{\circ}38'$ por lo tanto se le resta 180° y luego se le suma $169^{\circ}24'10''$ para darme como resultado un nuevo ángulo con 207.036° .

Multiplicando la distancia inclinada de la estación 3 con el seno y el coseno de este nuevo ángulo ϕ_{eh2} obtendría las distancias relativas con respecto a la estación anterior (2). Si sumamos algebraicamente estas distancias me darían como resultado las coordenadas de la estación 3 (918.54 , 878.69). Este sería el procedimiento a seguir para el cálculo de las coordenadas de las siguientes estaciones.

Las coordenadas de las estaciones en el plano (x,y) están tabuladas en el APÉNDICE A. Para calcular las coordenadas (x,y) de los puntos se utiliza el mismo procedimiento explicado anteriormente, sumando las nuevas distancias relativas dadas debido al nuevo ángulo, con respecto a la estación que posea dicho punto. Las coordenadas de los puntos de cada estación están tabuladas en el APÉNDICE B.

De esta forma tendríamos las coordenadas (x,y) de todas las estaciones con sus respectivos puntos.

Para calcular la coordenada de todos los puntos en el eje z, primero asumimos una altura arbitraria para la primera estación

(1) en este caso de 10.00, luego para calcular el desnivel en cada punto se aplica la siguiente fórmula:

$$d = (d_i/2) \times \sin(2\phi_v),$$

donde d es el desnivel,

d_i es la distancia inclinada

ϕ_v es el ángulo vertical.



Cabe señalar que cuando el ángulo ϕ_v es menor que 90° , el desnivel es positivo, y cuando el ángulo ϕ_v es mayor que 90° , el desnivel es negativo.

Para calcular el desnivel en las estaciones, hay que hacer un promedio en los desniveles, ya que tenemos dos lecturas de ángulos verticales ϕ_v .

Los desniveles de las distintas estaciones son relativos respecto a la estación anterior, así la estación 2 es relativa con la estación 1, la estación 3 es relativa a la estación 2, etc. Estos desniveles de las estaciones están tabulados en el APÉNDICE C

Los desniveles de los puntos son relativos a la estación que posea dichos puntos. Así los puntos del 1 al 30 son relativos a la estación 1, los puntos 31 a 35 son relativos a la estación 2, etc.

Los datos de las coordenadas de los puntos en el eje de las z , están tabulados en el APÉNDICE D

Una vez establecidos las coordenadas (x,y,z) de cada punto y estación, se procede a dibujarlos en un plano cartesiano. En este caso a fines de facilitar el trabajo las coordenadas (x,y) se las pasó a Autocad (software), y las curvas de nivel coordenada (z) se las generó mediante un programa llamado Surfer V 6.0. Las curvas de nivel se las dibujó de tal forma que se generaran cada 0.20 metros, siendo la mínima de 9.0 metros y la máxima de 10.4 metros, dándonos una diferencia máxima de altura a lo largo de toda la superficie de 1.4 metros. Este levantamiento planimétrico y altimétrico lo encontramos en el plano I



1.2 Propiedades del Suelo

El progreso esencial en la concepción del suelo proviene de considerarle como si fuese un sistema disperso constituido por tres diferentes fases: sólida, líquida y gaseosa.

La fase sólida del suelo está compuesta por dos partes: una inorgánica y otra orgánica. Su parte inorgánica está formada por los productos de desintegración de las rocas y por nuevos minerales formados por síntesis a partir de aquellos, esto es, partículas primarias de arena, limo y arcilla; y por las sales del suelo (cloruros, sulfatos, bicarbonatos y

carbonatos de sodio, calcio y magnesio) con amplia gama de solubilidad. La fracción inorgánica es en cantidad mayor que la orgánica.

Las partículas primarias se separan de acuerdo a su tamaño en fracciones, las que, conforme a la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, corresponden a los siguientes límites y están tabuladas en la TABLA I:

<u>FRACCIÓN</u>	<u>DIÁMETRO (mm)</u>
Arena gruesa	2.00 - 0.20
Arena fina	0.20 - 0.02
Limo	0.02 - 0.002
Arcilla	0.002 - menores

TABLA I
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS



Su parte orgánica está compuesta por residuos vegetales, ramas, hojas, la totalidad de la planta al morir; restos y deyecciones de animales, en menor proporción, que se encuentran en distintas etapas de descomposición.

Por medio de la acción de los microorganismos y de las reacciones químicas, esta descomposición es un proceso continuo que da como resultado un material orgánico amorfo, de color oscuro, denominado humus. Aunque su composición no está bien determinada, es bastante resistente a nuevas descomposiciones, pero en última instancia se separa liberando dióxido de carbono, agua y diferentes componentes minerales.

La fase líquida del suelo está constituida principalmente por agua, que puede llevar disueltas sustancias dando lugar a la solución del suelo, y que es el medio dispersivo por excelencia. La importancia que el agua tiene en el desarrollo y aprovechamiento del suelo resalta por sí misma. Sin agua no hay vida.

Es importante tener en cuenta que el agua que se encuentra en el suelo no es agua pura, sino que es una solución que contiene una gran variedad de sustancias disueltas, muchas de las cuales son los nutrientes necesarios para las plantas. La composición de la solución del suelo es continuamente modificada por la adición y extracción de



agua y componentes químicos; por lo tanto, la solución del suelo es un componente siempre variable del suelo.

La fase gaseosa que es la atmósfera o el aire del suelo. Suelos con aireación adecuada tienen una importancia fundamental para mantener el crecimiento y una producción óptima. Las raíces deben tener suficiente oxígeno para respirar y cumplir con sus funciones normalmente. Los suelos arenosos con intersticios porosos más grandes permiten un fluido intercambio entre el aire que se encuentra en el suelo y la atmósfera. En cambio cuando se trata de suelos arcillosos, la aireación es pobre y suele ser el resultado de la combinación de poros muy pequeños y con los espacios de mayor tamaño ocupados por el agua.

La fase sólida no cambia volumétricamente, mientras que la líquida y gaseosa son cuantitativamente dinámicas e inversamente proporcionales.; es decir, que a medida que aumenta el contenido de agua, disminuye el aire y viceversa. Esta característica tiene gran importancia agrícola, desde que, mediante el riego y el drenaje lo que se hace es variar en el suelo que exploran las raíces, la proporción relativa de aire y agua, a fin de asegurar un ambiente adecuado para el desarrollo de los cultivos.



Textura del Suelo

En el suelo se presentan generalmente combinaciones de arena, limo y arcilla y la proporción relativa de cada una define la textura del mismo.

La textura del suelo es una propiedad física, de importancia fundamental en drenaje, ya que condiciona la capacidad de transmisión de agua al afectar la permeabilidad de los estratos y se refiere a la proporción de las distintas partículas tanto de arena, limo como de arcilla.

La gráfica que se muestra en la Fig. 1.1 muestra la clasificación de los suelos y ésta permite ubicar un tipo en una de las doce categorías. Las tres escalas se dividen en unidades porcentuales de 0 a 100; las intersecciones de las líneas representan la proporción de cada uno de los tres componentes. Por ejemplo 40% de arena, 40% de limo, 20% de arcilla, se clasifica como franco, ó 60% de arena, 10% de limo, 30% de arcilla se clasifica como franco arcillo arenoso.

Un especialista en suelos puede determinar las propiedades de éste utilizando el "tacto". Al evaluar la plasticidad y contextura arenosa de una muestra de suelo, una persona experimentada podría clasificarla en forma bastante precisa ubicándola en una de las categorías que se definen en la Fig. 1.1

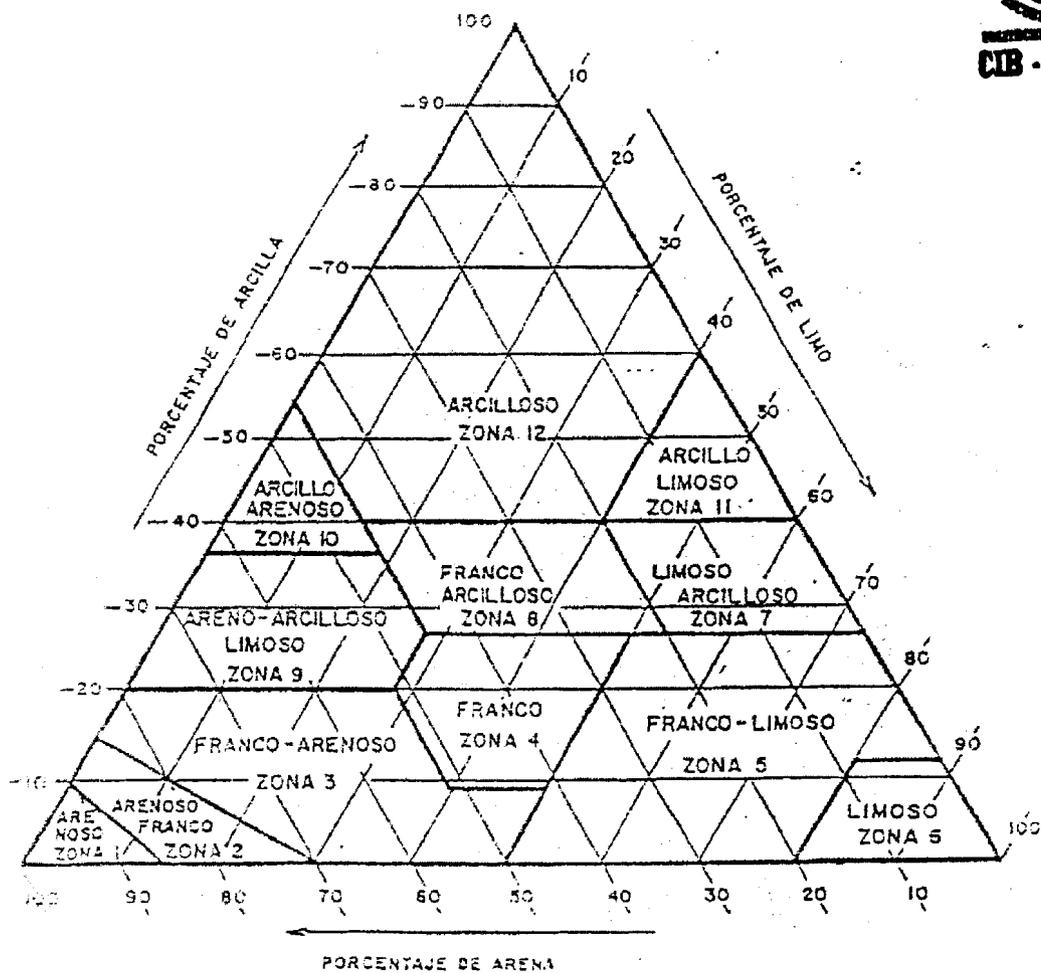


Fig.1.1 Diagrama triangular de la textura del suelo

Para nuestro caso particular la textura del suelo en la zona en estudio, resulto ser de suelo franco con un porcentaje de arcilla de aproximadamente 20% a 25%.

Los suelos francos consisten de una mezcla relativamente igual de diversos grados de arena, limo y arcilla. Es blando al tacto, aunque se distingue la consistencia arenosa y es ligeramente plástico. Si se aprieta estando seco, se forma un molde que puede manejarse con cuidado y cuando se oprime al estar húmedo, se maneja sin que se quiebre.



Contenido de Humedad en el Suelo

Cuando el suelo recibe una cantidad de agua por lluvia o por riego, ésta ocupa todos los espacios y comienza a descender primero por gravedad hacia las capas subterráneas a través de los macroporos constituyendo el drenaje; a su vez esto depende de la mayor o menor *permeabilidad*, es decir de la capacidad de penetración del agua en el suelo. También se la define como la velocidad de infiltración del agua, la cual es mayor en los suelos arenosos y menor en los suelos arcillosos.

En los microporos se encuentra el agua capilar, que es retenida por el suelo, pudiendo ascender por capilaridad por medio de estos poros.

En la variación de la humedad del suelo es posible establecer las siguientes fases:

- 1.- *Suelo saturado;*
- 2.- *Capacidad de campo;*
- 3.- *Suelo semi-húmedo, y*
- 4.- *Punto de marchitez.*



1.- *El suelo saturado.*- El agua ocupa todos los espacios libres, microporos y macroporos. Si el suelo no posee una buena capacidad aquélla puede perderse por escurrimiento y si la pendiente es pronunciada se produce erosión por arrastre de partículas. En caso de poca pendiente se producen encharcamientos con la consiguiente pérdida de aireación, de vital importancia en el desenvolvimiento radicular.

2.- *La capacidad de campo.*- El suelo posee la máxima cantidad de agua retenida por los microporos después del drenaje por gravedad del exceso. Lo importante es la cantidad útil para las plantas determinada por las características físicas del suelo. Los suelos pesados, arcillosos, tienen una gran capacidad de almacenaje que oscila entre un 15% y un 20%, mientras que los arenosos sólo llegan al 5% u 8%.

3.- *El suelo semi-húmedo.*- Es la pérdida de la capacidad de campo por la evapotranspiración. Cada vez son más delgadas las películas de agua de los microporos.

4.- *El punto de marchitez.*- En un suelo, a menos que reciba agua mediante el riego o la lluvia, la evapotranspiración reduce el contenido de humedad del suelo hasta que las raíces de la planta no puedan absorber más agua en forma más rápida de la que ellas la pierden. Las hojas se marchitan, la transpiración se reduce y eventualmente cesa.

Las propiedades físicas del suelo están tabuladas en el Apéndice E, de acuerdo a la textura del suelo. En esta tabla se pueden observar rangos y promedios de las distintas propiedades físicas del suelo.



CAPÍTULO 2



2.- CULTIVOS AGRONÓMICOS

Los cultivos agronómicos comprenden todos los tipos de cultivos, sean estos hortícolas, frutales, gramíneas, cereales, etc.

La clasificación se la hace de acuerdo al tiempo de duración del periodo vegetativo o de cosecha del cultivo. De esta manera, su clasificación sería: cultivos de ciclo corto y cultivos de ciclo perenne.

2.1 Ciclo Perenne

Son aquellos cultivos que tienen un período de duración igual o mayor a un año. Requieren de una buena infraestructura agrícola. Dentro de los cultivos perennes podemos mencionar los cultivos frutales, maderas.

Pensando en los cultivos perennes que tendrían más aplicación de acuerdo a la zona en estudio, en este caso Daule, se ha decidido hacer el análisis de tres cultivos de los cuales obtendríamos los datos

necesarios para su posterior aplicación en el diseño. Estos son: el mango, el limón y la guayaba.

MANGO

Su nombre científico es de *Mangifera Indica*, es originario de la India y existen diversos tipos de variedades de mango entre los cuales podemos nombrar: Haden, Kent, Tommy, Atkins, Criollo de Chulucanas, Carne de Ica, Subtanjalla, Chato de Ica, Rosado de Ica, Guadalupe N°1 y N° 2, Cambodiano.

El período vegetativo del mango es de alrededor de cinco años después del injerto para obtener la primera producción y su vida útil es aproximadamente de 30 a 40 años. La frecuencia de riego es de 20-30 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 8 a 10 mts. y el distanciamiento entre plantas de 8 mts. y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 14.000 m³/Ha.



LIMÓN

Su nombre científico es el de *Citrus uarantifolia*, pertenece a la familia Rutaceae; una variedad muy importante es la sutil.

El período vegetativo del limón es de 3 a 4 años dependiendo de la variedad, para obtener la primera producción o cosecha. Su vida útil

es aproximadamente de 10 a 20 años y la temperatura óptima de este cultivo oscila entre los 18° y 30° C. . La frecuencia de riego es de 15-20 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 5 a 6 mts. y el distanciamiento entre plantas de 5 a 6 mts. (5x5 ó 6x6) y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 14.000 m³/Ha.



GUAYABA

Su nombre científico es de *Psidium guajava*, es originario de Perú, Brasil y existen diversos tipos de variedades de guayaba entre los cuales podemos nombrar: variedades Klom sali, Klom toon.

El período vegetativo de la guayaba es de alrededor de cuatro años para obtener la primera producción y declina a los 15 años. Su vida útil es aproximadamente de 30 a 40 años. La frecuencia de riego es de 20-30 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 5 a 10 mts. y el distanciamiento entre plantas de 5 a 10 mts; óptima (10x10). y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 14.000 - 20000 m³/Ha.

2.2 Ciclo Corto

Son aquellos cultivos que tienen un período de duración menor a un año. Requieren de una preparación de suelos en cada ciclo. Dentro de los cultivos de ciclo corto podemos mencionar los cultivos de cereales, hortícolas.



2.2.1 Cereales

Los cereales son la denominación genérica de las plantas herbáceas, casi todas de la familia de las gramíneas, cultivados por su fruto o grano (cariópside) destinado a la alimentación.

Pensando en los cultivos cereales que tendrían más aplicación de acuerdo a la zona en estudio, en este caso Daule, se ha decidido hacer el análisis de tres cultivos de los cuales obtendríamos los datos necesarios para su posterior aplicación en el diseño. Estos son: el arroz, el maíz y la sorjo.

ARROZ

Su nombre científico es de *Oryza Sativa* L, es originario de la India y existen diversos tipos de variedades de arroz entre los cuales podemos nombrar: Tallán, Inti, Viflor, Amazonas, Kapirona, NIR I, Costa Norte, Santa Ana, Oro, Sican.

El período vegetativo del arroz depende de la variedad. Tardío es de alrededor de 120-180 días (Viflor, Tallán); Semi tardío de 155-165 días (NIR I., Inti, Amazonas); Precoz de 110-130 días (Costa Norte, Santa Ana, Oro, Sican). La frecuencia de riego es de 3-5 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 0.25 mts. y el distanciamiento entre plantas de 0.20 mts. y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 16.000 a 18.000 m³/Ha.



MAÍZ

Su nombre científico es *Zea Mays* L., es originario de México, Centro América y existen diversos tipos de variedades de maíz entre los cuales podemos nombrar: Marginal T 28 Cargill, Dekalb, Pionner, Poey.

El período vegetativo del maíz es de 140-150 días dependiendo de la variedad. La frecuencia de riego es de 20 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 0.80 mts. y el distanciamiento entre plantas de 0.40 mts. y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 7.000 m³/Ha.

SORJO

Su nombre científico es *Sorghum Vulgare Pers.*, es originario de La India, Región Central de Africa y existen diversos tipos de variedades de sorjo entre los cuales podemos nombrar: NK 265, Savanna.

El período vegetativo del sorjo es de 80 – 120 días dependiendo de la variedad. La frecuencia de riego es de 20 - 25 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 0.60 mts. y el distanciamiento entre plantas de 0.70 mts. y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 5.000 m³/Ha.



2.2.2 Hortalizas

Lo constituyen las hortalizas, y su nombre viene de las plantas de huerta cuyos frutos o semillas (pepino, berenjena), hojas (lechuga, espinaca), raíces (rábano, zanahoria, remolacha), flores e inflorescencias (coliflor, alcachofa) forman parte de la alimentación.

Pensando en los cultivos hortícolas que tendrían más aplicación de acuerdo a la zona en estudio, en este caso Daule, se ha decidido hacer el análisis de tres cultivos de los cuales

obtendríamos los datos necesarios para su posterior aplicación en el diseño. Estos son: el melón, la sandía y el tomate.

MELÓN

Su nombre científico es *Curcumis melo* sp, y existen diversos tipos de variedades de maíz entre los cuales podemos nombrar: Tendral, Honey Dew, Charentais, Edisto 47.

El período vegetativo del melón es de 100 - 120 días dependiendo de la variedad. La frecuencia de riego es de 15-20 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 2 mts. y el distanciamiento entre plantas de 0.75 mts. y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 7000 - 8.000 m³/Ha.



SANDÍA

Su nombre científico es *Citrullus lanatus*, y existen diversos tipos de variedades de la sandía entre los cuales podemos nombrar: Sugar Baby, Crimson

El período vegetativo de la sandía es de 120 - 150 días dependiendo de la variedad. La frecuencia de riego es de 15-20 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 2 mts. y el distanciamiento entre

plantas de 2 mts. y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 7200 -8000 m³/Ha.

TOMATE

Su nombre científico es *Lycopersicum Esculentum* L., y existen diversos tipos de variedades de tomate entre las cuales podemos nombrar: Marglobe, Río grande, Cheff, Fireball, VEN-8, VF-13L, Red Top V-9, Pearson, San Marzano, etc. El período vegetativo del melón es de 90 - 180 días dependiendo de la variedad; Marglobe (120-150 días). La frecuencia de riego es de 12-15 días. Su densidad de siembra está dada por el distanciamiento entre surcos de aprox. de 1.5-1.8 mts. y el distanciamiento entre plantas de 0.35-0.50 mts. y el requerimiento hídrico o módulo de riego es de aproximadamente 9.000 m³/Ha.



CAPÍTULO 3



3.- TIPOS DE SIEMBRA

Siembra, se denomina así al hecho de poner o esparcir semillas en la tierra o en recipientes preparados para ello, con el fin de que germinen y así obtener plantas.

3.1 Siembra Directa

Cuando la siembra se realiza en el lugar donde se va a desarrollar la planta, se denomina siembra directa.

La Siembra Directa comprende un conjunto de técnicas integradas que objetivan mejorar las condiciones ambientales (agua-suelo-clima) para explotar de la mejor forma posible el potencial genético de producción de los cultivos. Respetando los tres requisitos mínimos - no revolvimiento del suelo, rotación de cultivos y uso de cultivos de cobertura para formación de rastrojos, asociada al manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas. La Siembra Directa no debe ser vista como una receta universal, sino como un sistema que exige

adaptaciones locales. Esas han sido ejecutadas por iniciativa de los propios agricultores, por medio de la integración continua de esfuerzos con investigadores y técnicos, posibilitando avances palpables en el desarrollo y en la transferencia de tecnologías.

La adopción de la Siembra Directa expresa la perfecta armonía del hombre con la naturaleza y proporciona economías significativas para la sociedad en general. Se torna así posible, minimizar costos por unidad producida, al maximizar la productividad de insumos y de mano de obra. Se asocia a esto la disminución significativa de consumo de petróleo (60 a 70 % a menos de aceite diesel), el aumento del secuestro de carbono (aumento de las existencias en el suelo y de la materia orgánica en descomposición en la superficie), la disminución expresiva de la pérdida de suelo por erosión (90 % de disminución en las pérdidas estimadas en 10 t suelo/t de grano producida), que hacen evidente la posibilidad de obtenerse una agricultura sostenible y limpia, produciendo alimentos de calidad, con el menor impacto negativo sobre el medio ambiente y el hombre.

3.2 Siembra por Transplante

Es un sistema muy recomendado por que permite brindar mayores cuidados a la planta al inicio del crecimiento en el vivero. Por otro lado los costos de mantenimiento y supervisión disminuyen permitiendo,



llevar al campo plantas vigorosas, de buena calidad y que estarán listas para ser transplantadas de 1 1/2 a 2 1/2 meses de edad.



3.2.1 Siembra con Acolchados

El acolchado o mulching es una práctica agrícola que consiste en cubrir el suelo con un material, generalmente orgánico, destinado a proteger el suelo y eventualmente a fertilizarlo. Se realiza fundamentalmente en horticultura y fruticultura.

Esta práctica produce grandes efectos beneficiosos en el suelo que se pueden estudiar desde el punto de vista químico, físico y biológico.

a) Efectos químicos

Se deben a la transformación del material orgánico aportado y son:

- Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y del contenido en humus.
- Aporte de elementos fertilizantes, que depende del material utilizado.
- Incremento de los rendimientos de los cultivos verificado por experimentos llevados a cabo en maíz, mijo, algodón, etc., que se citan en el tratado de agricultura ecológica (Antonio Cánovas y otros, 1993).

b) Efectos físicos

Se producen por la actuación del acolchado como cubierta protectora.

- Controla la humedad del suelo, limitando por un lado la tasa de evaporación, cuestión trascendental en zonas áridas y en aquéllas con problemas de abastecimiento de agua, y por otro lado problemas de encharcamientos originados por una humedad excesiva. Por tanto en este punto habría que considerar factores tales como la naturaleza del suelo (textura, etc.), el clima de la zona en cuestión, y otros.
- Protege el suelo de los rigores del clima, tanto en lo referente a los cambios bruscos de temperatura y fuertes insolaciones (por ejemplo en cultivos de maíz y soja), como reduciendo las pérdidas por erosión ocasionadas por el viento y las lluvias torrenciales.
- Limita el desarrollo de las hierbas adventicias durante los primeros estados de crecimiento del cultivo, que generalmente mueren asfixiados bajo éste. En caso de que algunas lleguen a desarrollarse, podrán arrancarse sin dificultad manualmente.
- Mejora la estructura del suelo al favorecer la actividad microbiana, la actividad de las lombrices, etc.



c) *Efectos biológicos*

Se desarrollan como consecuencia de la mejora de las condiciones físicas del suelo, el aumento de la cantidad de nutrientes disponibles y el estímulo de los fenómenos de antibiosis.

Existen numerosos materiales empleados en la práctica del acolchado, los cuales se pueden dividir en dos tipos según su origen sea orgánico o inorgánico.

Al primer grupo pertenecen la paja, los helechos, el heno, las matas y hojas de hortalizas, la hierba joven, los restos de coníferas, el compost, los abonos verdes, etc.

Dentro de los de origen inorgánico se utilizan fundamentalmente: piedras, gravas y arenas, virutas de madera, papeles y plásticos.

El tema del acolchado con materiales plásticos es muy complejo, tanto por su amplitud como por la polémica que surge entre los diversos practicantes de la agricultura ecológica. A pesar de esta controversia habría que reconocer que estos materiales ofrecen la ventaja de poseer mayor durabilidad que los orgánicos, que tarde o temprano se transforman en humus, aunque ya se conoce la existencia de plásticos biodegradables y de diversos orígenes con variadas características.



El polietileno de bajo espesor, que se puede presentar en forma de láminas transparentes, negras y blancas principalmente. Las primeras tienen el inconveniente de no evitar la nascencia de las hierbas bajo ellas, aunque acabarán muriendo por exceso de temperatura. Las negras, por el contrario, impiden el desarrollo de las hierbas adventicias, pero calientan excesivamente el suelo en periodos de alta temperatura, problema que se subsana colocando láminas de color blanco.

Para llevar a cabo la práctica del acolchado o mulching, previamente hay que elegir los materiales que se van a emplear. Según las circunstancias, preparar dichos materiales, definir el espesor de la capa, considerar la época de ejecución y tomar una serie de precauciones.

La elección de los materiales se hace según éstos sean de descomposición rápida, lenta, o se trate de materiales intermedios.

A la hora de preparar los materiales se puede llevar a cabo la trituración de los mismos si lo que se desea es acelerar su descomposición, lo que a su vez facilitaría la colocación sobre el suelo. Pero si la función del acolchado es meramente protectora, este proceso podría resultar incluso perjudicial.

3.2.2 Siembra en Microtúneles

Para realizar este tipo de labor se deposita tierra de cultivo sobre el suelo. Después se colocan plásticos translúcidos sobre las plantas. Los plásticos se sujetan mediante arcos de material más resistente, clavados en la tierra y formando unas galerías estrechas, bajas, pero largas, donde crecen las plantas. La ventaja fundamental reside en que el agua que se evapora del suelo o que transpiran las plantas se condensa en la cubierta y vuelve a caer al suelo. Así, se produce un ahorro de agua muy importante. Además, la temperatura bajo los plásticos es superior, lo que favorece un desarrollo más rápido de los cultivos y permite adelantar la recolección.



3.2.3 Siembra en Invernaderos

Edificio con paredes y cubierta de vidrio o plástico translúcido, empleado para el cultivo y la conservación de plantas delicadas, o para forzar su crecimiento fuera de temporada. Los invernaderos están ideados para transformar la temperatura, humedad y luz exteriores y conseguir así unas condiciones ambientales similares a las de otros climas.

La luz natural es suficiente en la mayoría de las regiones templadas, pero las zonas donde el invierno ofrece pocas horas

de sol se hace necesario el suministro de luz artificial, necesaria para el crecimiento de las plantas. En verano, en cambio, se suelen cubrir algunos paneles transparentes con umbráculos, para reducir la excesiva penetración de sol. El calor interior se aminorra tapando las cristaleras, abriendo los orificios de ventilación o haciendo circular aire fresco mediante cualquier otro sistema. En invierno, casi todo el calor de un invernadero se obtiene de la radiación solar, pero también se puede procurar calor adicional a través de la aspersión de vapor, con agua hirviendo, o mediante un sistema de circulación de aire caliente.



CAPÍTULO 4



4.- REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS

El agua se pierde en principio por el drenaje y luego por evaporación de la superficie del suelo (debido a las temperaturas ambientales), y por la transpiración que realizan las plantas; esta evapotranspiración varía dependiendo de la temperatura, de la luz y del tipo de cultivo, y constituye un dato de gran importancia para el conocimiento de las necesidades hídricas.

La evaporación es la dispersión del agua en forma de vapor de la superficie del suelo a la atmósfera. Especialmente en zonas áridas o durante épocas secas los principales elementos meteorológicos que influyen sobre la evaporación son el calor, la tensión de vapor del agua, del aire, y la velocidad del viento, entre otros. La cantidad de evaporación varía según la hora del día y la época del año.

La transpiración es el proceso por medio del cual la planta toma el agua del suelo, la cual circula a través de la planta hacia las hojas y se pierde en la atmósfera en forma de vapor.

La evapotranspiración es el fenómeno en virtud del cual se devuelve agua a la atmósfera en forma de vapor, obedeciendo a dos causas diferentes; la evaporación del suelo y la transpiración de la vegetación que lo cubre.



4.1 Estimación de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o)

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) puede ser medida por los llamados métodos directos y también puede ser estimada por los métodos indirectos.

Los métodos directos miden físicamente la cantidad de agua que se evapotranspira, y los métodos indirectos estiman la cantidad de agua que se evapotranspira por medio de variables climáticas.

En los métodos directos, las medidas directas de evapotranspiración son sumamente caras, difíciles y requieren de mucho tiempo. Entre los métodos directos más conocidos, tenemos:

Los lisímetros, que son tanques enterrados en el suelo, por medio de los cuales medimos la evapotranspiración del cultivo; las parcelas experimentales de campo, que se lo lleva a cabo mediante un estricto control de la humedad del suelo y de los componentes del balance hídrico; método de grandes áreas, en el cual se lleva un



control sobre los factores que componen el balance hídrico de grandes áreas.

Los métodos indirectos para el cálculo de la evapotranspiración son varios y primero calculan la evapotranspiración de un cultivo de antemano conocido (Eto y Etp), la cual es multiplicada por un coeficiente de cultivo K_c que analizaremos mas adelante, y está en función del tipo de cultivo, variedad y periodo vegetativo. Eto es la evapotranspiración que corresponde al cultivo de referencia del pasto perenne (Ryegrass), mientras que Etp es la evapotranspiración potencial que corresponde al cultivo de referencia de la alfalfa. En nuestro caso analizaremos los coeficientes de cultivo relacionados con pasto perenne (Ryegrass) porque es el que esta contemplado y propuesto por la FAO-24.

La FAO , nos proporciona información muy detallada y completa acerca de la evapotranspiración y diversos datos climatológicos durante todos los meses del año en diferentes zonas de cada país en América Latina y el Caribe, en publicaciones dadas en sus páginas oficiales de internet denominadas "Datos agroclimatológicos de América Latina y el Caribe".

Estos datos están tabulados en el APÉNDICE F y se refieren específicamente a la zona en estudio, es decir Daule para nuestro caso en particular.



4.2 Estimación del Coeficiente de Cultivo (Kc)

La relación entre la evapotranspiración de un cultivo determinado y la evapotranspiración de un cultivo de referencia que podría ser pasto (Eto) o Alfalfa (Etp), es conocida bajo el nombre de coeficiente de cultivo (Kc) y los factores que más influyen sobre este son principalmente las características del cultivo en sí, las fechas tanto de plantación como de siembra, y la duración del período vegetativo, las condiciones climáticas de la zona y la frecuencia de dotación de agua principalmente en la fase inicial debido a la alta tasa de evaporación existente.

$$Kc = ET / Eto$$

donde Kc es un número adimensional y se encuentra tabulado para una variedad de cultivos en el APÉNDICE G y en nuestro caso es calculado con respecto a la evapotranspiración del pasto perenne (Ryegrass), como lo habíamos mencionado anteriormente, debido a que es el que la FAO utiliza para desarrollar sus publicaciones.

Durante la germinación y desarrollo inicial del cultivo, la tasa de transpiración es pequeña, pero la tasa de evaporación del suelo puede ser considerable. Si la superficie del suelo se mantiene permanentemente húmeda por riego o lluvia, la tasa de

evapotranspiración E_t , puede llegar a ser igual a la tasa de evapotranspiración del cultivo de referencia E_{to} . Cuando el cultivo ha desarrollado su sistema foliar y se obtiene una cubierta sombreada efectiva, las pérdidas de agua por evaporación directa del suelo son pequeñas, pero las pérdidas por transpiración de la planta son considerables.

La FAO-24 ha considerado cuatro fases de desarrollo de cultivo para la estimación de los coeficientes de cultivo K_c . Donde se deberá:

- Precisar la fecha de plantación o siembra a partir de la información local o de las prácticas que se sigan en zonas climáticas similares.
- Determinar el periodo vegetativo total y la duración de las fases de desarrollo del cultivo a partir de la información local.

La descripción de la FAO-24 de las cuatro fases de desarrollo es la siguiente:

1.- FASE INICIAL.

Germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo esta cubierta apenas o nada por el cultivo (hasta alcanzar una cubierta sombreada del orden de un 10%).



Predecir la frecuencia de riego y/o las lluvias, para valores de Eto previamente determinados, se obtendrá Kc a partir del APÉNDICE H.

II .- FASE DE DESARROLLO DEL CULTIVO

Desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa.

El comienzo de la fase media o final de la fase de desarrollo, se reconoce sobre el terreno cuando el cultivo alcanza el 70% al 80% de la cubierta completa, lo cual no significa que el cultivo haya llegado a la altura de maduración.

Se supondrá una línea recta (inclinada hacia arriba) entre el valor de Kc al final de la fase inicial y el principio de la fase de mediados del periodo.

III.- FASE DE MEDIADOS DEL PERIODO.-

Desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración, tal como se pone de manifiesto por la decoloración de las hojas (frijoles), o su caída (algodón).



Para un clima dado (humedad y viento), escoger el valor de Kc del APÉNDICE G y representarlo como una línea recta horizontal.

IV.- FASE DE FINALES DEL PERIODO

Desde el final de la fase anterior hasta que se llega a plena maduración o recolección.

Con respecto al momento de la plena maduración o de la recolección, escoger el valor de Kc del APÉNDICE G para un clima dado (humedad y viento) y representarlo gráficamente al finalizar el periodo vegetativo o la plena maduración. Se supondrá una línea recta (inclinada hacia abajo) entre los valores de Kc al final de la fase de mediados del periodo y al final del periodo vegetativo.

En nuestro caso en particular se ha decidido tomar para el diseño un cultivo de ciclo corto, que sea de mayor demanda hídrica. Para esto hemos seleccionado el tomate.

De acuerdo a la variedad de tomate y a la zona en estudio, la duración del período vegetativo es de 135 días, desde su fase inicial (I), hasta su fase final (IV), es decir desde la siembra hasta la recolección.



Específicamente la fase inicial (I) duraría 30 días, la fase de desarrollo del cultivo (II) 40 días, la fase de mediados del período (III) 40 días, y las fases de finales del período (IV) 25 días.

Para este diseño se han considerado las condiciones más adversas. Para esto la época de siembra o primer día de la fase inicial será el 25 de junio, y de esta manera la tercera y cuarta fase de desarrollo del cultivo, que son las fases de mayor requerimiento hídrico, coincidan con los meses más secos, de mayor radiación y de mayor evapotranspiración de los cultivos, es decir los meses de septiembre, octubre y noviembre.

De esta forma la fase inicial (I) empezaría el 25 de junio y terminaría el 24 de julio; la fase de desarrollo del cultivo (II) empezaría el 25 de julio y terminaría el 2 de septiembre; la fase de mediados de período (III) empezaría el 3 de septiembre y terminaría el 12 de octubre; y, finalmente la fase de finales de período (IV) empezaría el 13 de octubre y terminaría el 6 de noviembre.

Teniendo estas consideraciones presentes se procede a calcular el coeficiente del cultivo K_c .





CÁLCULO DEL COEFICIENTE DEL CULTIVO K_c

FASE INICIAL (I).- Consideramos el valor de la evapotranspiración E_{To} para el mes de junio del APENDICE F, que es de 92 mm/mes.

Luego, procedemos a obtener el valor de E_{To} diario. Como junio es un mes de 30 días, tendríamos un $E_{To} = 3.07$ mm/día.

El E_{To} de julio es 100 mm/mes, como julio es de 31 días, $E_{To} = 3.23$ mm/día.

Asumiendo que la frecuencia o dotación de riego es de cada 7 días, del APÉNDICE H, obtenemos el valor de K_c , que en este caso es de $K_c = 0.57$ para junio, y $K_c = 0.55$ para el mes de julio. Obtenemos un $K_c = 0.56$ que sería un promedio de los dos anteriores, y es graficado en la figura 4.1 y es representado mediante una línea recta horizontal en el periodo inicial.

FASE DE DESARROLLO (II).- Se obtiene de unir la fase inicial (I), con la fase de mediados de periodo (III), por medio de una línea recta inclinada, la cual tiene pendiente positiva.

Esta pendiente representa el valor de K_c y comprende los 40 días de esta fase.

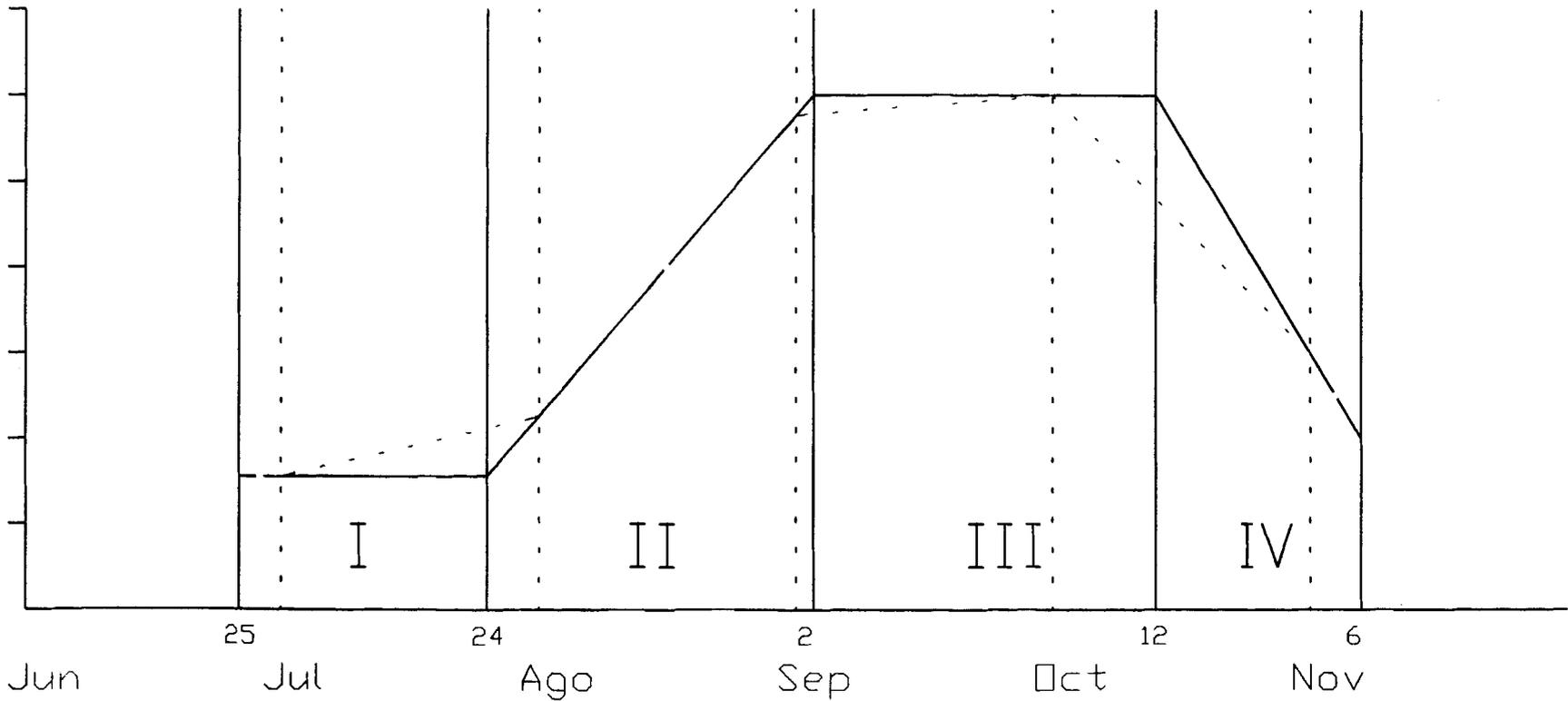


Fig. 4.1

GRÁFICA DEL VALOR DE KC EN LAS 4 FASES
DE SU PERÍODO VEGETATIVO



FASE DE MEDIADOS DEL PERIODO (III).- La humedad relativa de la zona en estudio la podemos determinar mediante el APÉNDICE I, en el cual tenemos la presión de vapor de agua en los meses de septiembre y octubre, que en promedio da como resultado 24.1 g/cm^2 y también tenemos la temperatura promedio de esos mismos meses la cual es de 25.4° C del APÉNDICE F.

Con estos datos ingresados me dan como resultado que la humedad relativa es de 75%. Así también mediante el APÉNDICE F tendríamos la velocidad del viento promedio para estos meses, la cual sería de 2.35 m/s.

Ya con la humedad relativa y la velocidad del viento mediante el APÉNDICE G, podríamos determinar que el valor del coeficiente de cultivo K_c , deberá ser $K_c = 1.05$ y fue graficado en la figura 4.1 mediante una línea recta horizontal y comprende los 40 días de duración de esta fase .

FASE DE FINALES DE PERIODO (IV).- Mediante el mismo procedimiento que en la fase III, tendríamos que calcular la presión de vapor para los meses de octubre y noviembre, en este caso 23.75 g/cm^2 , y la temperatura promedio 25.55° C .



De acuerdo a esta información la humedad relativa sería alrededor del 71 %. La velocidad del viento para estos meses sería 2.2 m/s. Con estos datos nos iríamos al APÉNDICE G de donde determinamos que el valor del coeficiente de cultivo K_c , deberá ser $K_c = 0.6$. Es graficado en la figura 4.1 , localizado el 6 de noviembre y unido con el final de la fase III mediante una línea recta inclinada con pendiente negativa.

CALCULO MENSUAL DEL COEFICIENTE DE CULTIVO K_c

Los valores de los coeficientes de cultivo obtenido en la sección anterior, están expresados para cada una de las fases del cultivo pero la información climatológica, como es la temperatura, precipitación, etc. están dados en datos ya sean diarios o mensuales, por lo cual resulta conveniente convertir los valores de K_c de cada fase de cultivo a valores mensuales. Por lo cual de acuerdo a la gráfica 4.1 obtendríamos esos valores de K_c , tomando la media del K_c con respecto al inicio y final de cada mes. Estos valores se encuentran tabulados a continuación mediante la tabla II.



$K_{C_{jun}}$	0.56
$K_{C_{jul}}$	0.58
$K_{C_{ago}}$	0.8
$K_{C_{sep}}$	0.99
$K_{C_{oct}}$	0.9
$K_{C_{nov}}$	0.65



TABLA II

COEFICIENTE DE CULTIVO K_c MENSUAL

4.3 Estimación de la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c)

Para esto necesitamos la evapotranspiración del cultivo referencia ET_o , el cual lo tenemos tabulado por meses en el APÉNDICE F. Luego necesitamos el valor del coeficiente del cultivo mensual, el cual lo tenemos tabulado en la Tabla II, luego se procede a calcular la evapotranspiración del tomate ET_c mediante la ecuación 4.1

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Los resultados están tabulados en la tabla III

MES	Kc	ET _o (mm/mes)	ET _c (mm/mes)
Junio	0.56	92	51.52
Julio	0.58	100	58.0
Agosto	0.8	112	89.6
Septiembre	0.99	119	113.05
Octubre	0.9	121	108.9
Noviembre	0.65	116	75.4

TABLA III

EVAPOTRANSPIRACION MENSUAL (ET_c) DEL TOMATE

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL DEL TOMATE

Dado que el cultivo empezaría el 25 de junio, el cultivo durante este mes sería de solo 6 días. Igual caso sucede con la cosecha la cual se la realizaría el 6 de noviembre, por lo que este mes también tendría 6 días. En tal caso tanto en el mes de junio como de noviembre se debe multiplicar el ET_c por seis (6) y se lo divide entre los días que tiene dicho mes, en este caso los dos meses son de 30 días. Luego de esto calcularíamos el valor de la evapotranspiración total del cultivo mediante la suma de las



evapotranspiraciones de todos los meses. Estos datos que a continuación se muestran están tabulados en la tabla IV

MES	DÍAS	ETc (mm/mes)
Junio	6	10.3
Julio	31	58.0
Agosto	31	89.6
Septiembre	30	113.05
Octubre	31	108.9
Noviembre	6	15.08
TOTAL	135	394.93 (mm/ciclo)



TABLA IV

EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL (ETc) DEL TOMATE

CAPÍTULO 5



5.- DISEÑO DE LOS SISTEMAS

5.1.- Diseño por Aspersión

Este método de riego presurizado consiste en aplicar gotas de agua -en forma de lluvia más o menos intensa y uniforme sobre el suelo, con el objeto de que infiltre en el mismo punto donde cae. El riego por aspersión hace uso de emisores, donde la descarga de agua es inducida por la presión disponible en los laterales de riego (tuberías donde van insertados los aspersores) .

Cuando el riego superficial es inaplicable, este método es ventajoso ya que permite superar problemas de topografía, profundidad, erodabilidad y disponibilidad de agua en bajos caudales.

El riego por aspersión se emplea en gran diversidad de cultivos y, por tratarse de un método que tiene un porcentaje de cobertura total,

se presta especialmente para cultivos de alta densidad, como forrajeras o cereales, y para cultivos hortícolas

COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema está compuesto de un equipo de bombeo, tuberías, accesorios (manómetros, medidores de caudal, filtros, amortiguadores de golpe de ariete, válvulas de retención, de compuerta, de aire y fittings en general) y aspersores encargados de generar gotas de distinto tamaño producto del paso del agua a través de boquillas.

La cantidad de agua aplicada puede ser muy pequeña o grande, lo que incide en el tiempo de riego empleado. Se debe tener en consideración que la lámina de agua sea menor que la capacidad de infiltración básica del suelo, de manera de evitar la formación de pozas.

VENTAJAS DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

- Se adapta muy bien a suelos muy permeables (arenosos) o muy impermeables (arcillosos).
- No requiere nivelación, permitiendo mantener la fertilidad natural del suelo.



- Se puede conseguir un alto grado de automatización, con el consiguiente ahorro en mano de obra a costa de una mayor inversión inicial.
- Permite realizar riegos de urgencia.
- Algunos permiten aplicación de fertilizantes, tratamientos fitosanitarios y control de heladas.
- Alta superficie útil ya que no hay acequias ni canales.
- Es muy eficaz en el lavado de sales puesto que el agua se mueve en el suelo en un estado de sub saturación, circulando por los poros más pequeños en mayor contacto con la solución del suelo.
- Si es bien aplicado, no producen gran daño erosivo.

DESVENTAJAS DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

- Alta inversión inicial y costo de operación.
- Mala uniformidad cuando hay vientos fuertes.
- Mayor consumo de agua y de presión con respecto a otros sistemas de riego.



Como analizamos en el capítulo anterior el mes de mayor evapotranspiración (Etc), es el mes de septiembre con un Etc=113.05 mm/mes ó un Etc=3.77 mm/día.

Para proceder con el diseño, necesitamos obtener la lámina neta del cultivo (L_n), y la lámina bruta del cultivo (L_b), para lo cual necesitamos los siguientes datos:

- Profundidad de raíz del tomate(D): 0.6 m
- Tipo de suelo : Franco
- Capacidad de retención del suelo (S_a): 17 cm/m
- Agotamiento permisible (p) : 20%
- Eficiencia de riego aspersión (er_a) : 70%



Entonces:

$$L_n = p \times S_a \times D = 0.2 \times 17 \times 0.6 = 2.04 \text{ cm} = 20.4 \text{ mm}$$

$$I_r = L_n / E_{tc} = 20.4 / 3.77 = 5.41 \text{ días}$$

$$I_{rc} = 5 \text{ días}$$

$$L_{nc} = L_n \times I_r / I_{rc} = 20.4 \times 5.41 / 5 = 22.07 \text{ mm}$$

$$L_{bc} = L_{nc} / er_a = 22.07 / 0.7 = 31.53 \text{ mm}$$

Del APÉNDICE E $I_b = 1.3 \text{ cm/h} = 13 \text{ mm/h}$

$T_a \leq I_b$ (Tasa del aspersor menor que la infiltración básica)

Ta tiene que ser menor que la Ib para que no se produzca empozamiento, por lo que por seguridad a Ta le damos un rango de seguridad del 90% del valor de Ib.

$$Ta = 90 \% Ib = 0.9 \times 13 = 11.7 \text{ mm/h}$$

$$Tr = Ibc / Ta = 31.53 / 11.70 = 2.69 \text{ h}$$

$$Tk = 1.31 \text{ hr}$$

$$Tt = 2.69 + 1.31 = 4 \text{ h}$$



j : jornales de 8 horas diarias

$$\# \text{ mov} = j / Tt = 8 / 4 = 2$$

Procedo a dividir convenientemente mi área en donde se va a realizar la aspersion en 5 partes. Por lo cual el ancho de cada lote resultante sería de 63 metros.

$$Sl = \text{ancho lote} / \# \text{ mov} = 63 / 2 = 31.5$$

La velocidad máxima del viento en los meses de riego es de 2.5 m/s, por lo que :

$$Sl = 0.7 \phi_H$$

$$Sa = 0.5 \phi_H$$

$$\phi_H = SI / 0.7 = 31.5 / 0.7 = 45 \text{ m } \acute{o} \text{ 147.6 ft}; R_H = \phi_H / 2 = 22.5 \text{ m } \acute{o} \text{ 73.8 ft}$$

$$Sa = 0.5 \times 45 = 22.5$$

$$A = SI \times Sa / 10000 = 31.5 \times 22.5 / 10000 = 0.070875 \text{ H}\acute{a}$$



Para calcular el caudal del aspersor q_a en lt/s, necesitamos los siguientes datos Tr en horas, A (área) dada en Há, Lbc en mm de H_2O , para lo cual aplicamos la siguiente fórmula:

$$q_a = 2.78 \times A \times Lbc / Tr = 2.78 \times 0.070875 \times 31.53 / 2.69$$

$$q_a = 2.31 \text{ lt/s } \acute{o} \text{ 36.61 gpm}$$

Con estos valores de caudal (q_a) y radio o diámetro del aspersor (R_H ó ϕ_H) y por catálogo escojo el modelo, marca y tipo de aspersor que necesitaré para mi diseño.

En este caso, he obtenido que escoger un aspersor de entre varios que a continuación los menciono:

Modelo	Presión	Caudal	Radio
	(psi)	(gpm)	(ft)
Nelson F70P Nozzle 13/32"	60	36	72
Nelson F70P Nozzle 13/32"	70	39.1	75
Nelson F70PV Nozzle 13/32"	70	36.5	83
Nelson F80AP Nozzle 13/32"	60	37.6	71
Nelson F80APV Nozzle 7/16"	50	38.5	79
Nelson F80APV Nozzle 7/16"	40	34.4	73



He decidido escoger el aspersor Nelson F80 APV (female connection 1 1/4") que con una presión de 50 psi me da un caudal de 38.5 gpm y 79 ft porque con menor presión que los otros cumple y satisface mis requerimientos básicos.

Procedo a determinar el máximo número de aspersores en la tubería lateral, para lo cual me baso en la siguiente fórmula:

$na = \text{longitud máx. terreno} / Sa = 200 / 22.5 = 8.88$ aspersores ó 9 aspersores

$Qt = qa \times na = 38.5 \times 9 = 346.5$ gpm.



5.1.1 Pérdidas de Carga por Fricción

Cuando un fluido circula por una tubería, sufre pérdidas en su energía por diferentes causas. Normalmente las pérdidas más importantes son las debidas al rozamiento y se denominan "pérdidas mayores". Las pérdidas puntuales debidas a cambios de diámetro o secciones, cambios de dirección de flujo, válvulas, etc., se denominan "pérdidas menores".

Las paredes de la tubería ejercen una resistencia continua al flujo de los fluidos. En flujo permanente en una tubería uniforme, el esfuerzo constante en la zona de contacto del fluido con la tubería, es uniforme a lo largo de la misma y ésta resistencia produce una pérdida de energía uniforme a lo largo de la tubería. Las pérdidas de energía a lo largo de una tubería se denominan comúnmente "pérdidas por fricción".

Cuando la tubería es de gran longitud, las pérdidas por fricción llegan a ser tan grandes que a veces pueden desprejarse las demás pérdidas por ser muy pequeñas comparadas con ella. Las pérdidas por fricción dependen de:

- a) El material de que está construido el tubo (hierro, concreto, PVC, cobre, galvanizado..)
- b) El estado de la tubería (Nueva, vieja, con incrustaciones,.. etc.)



- c) La longitud de la tubería
- d) El diámetro de la tubería
- e) Velocidad de circulación del fluido en la tubería.

Mediante tablas se puede hallar las pérdidas de carga por fricción para tuberías de PVC de acuerdo a la fórmula de Hazen-Williams, la cuales están tabuladas en el APÉNDICE J, o mediante su fórmula:

$$H_f = 10.62 (Q/C)^{1.85} D^{-4.87} L$$

donde C = 150 para tuberías plásticas PVC y D es el diámetro interior de las tuberías.

En un primer diseño el cual está diseñado para regar todo el sector (aspersores) en dos y medio días y considerando un tiempo de cambio T_k necesito transportar hasta el lote o área 1 del terreno 308 gpm debido a las dos alas de aspersores (8 en total) del lado izquierdo y hasta el lote o área 5 del terreno 308 gpm debido a las dos alas de aspersores (8 en total) del lado derecho. En total tendría que transportar 646 gpm. Las pérdidas por fricción máximas que tendría serían cuando los laterales del lado izquierdo estén en el área o lote 1 y el lateral derecho estén en el área o lote 5. Para calcular las pérdidas por fricción me puedo basar en la fórmula de

Hazen Williams directamente, o por medio de tablas. Hay que considerar que $C=150$ para tuberías PVC y D es el diámetro interior de la tubería. A continuación se describe mediante la tabla V las pérdidas de carga por fricción máxima por las tuberías para este caso en particular.

	gpm	longitud (m)	ϕ tubería (mm)	P_c (m/c100m)	P (m)
Principal	616	15.75	200	0.747	0.117
Principal	462	31.5	200	0.439	0.138
Principal	308	110.25	200	0.207	0.22
Principal	308	94.5	125	2.05	1.94
Principal	308	15.75	110	3.829	0.6
Principal	154	31.5	110	1.06	0.334
Lateral	154	12	75	7.13	0.85
Lateral	115.5	21	75	4.189	0.879
Lateral	77	21	75	1.977	0.415
Lateral	38.5	21	75	0.547	0.115



TABLA V

**PÉRDIDAS POR FRICCIÓN MÁXIMA EN LA TUBERÍA
PRINCIPAL Y EN LA LATERAL (Diseño 1)**

El total de pérdidas por tubería principal sería de 3.349 m de columna de agua (4.92 psi); el total de pérdidas en laterales es de 2.259m (3.32 psi), con lo que me da un total de pérdidas por tuberías de 5.60 metros de columna de agua o 8.24psi de presión.

Como regla de diseño el total de pérdidas por fricción en la tubería principal no debe ser mayor al 10% de la presión del sistema (50 psi).

Es decir $4.92 < 50 \times 10\%$, ó $4.92 < 5$ psi.

Así mismo, como regla de diseño las pérdidas por fricción en la tubería lateral no debe ser mayor al 10% de la presión del sistema (50 psi).

Es decir $3.32 < 50 \times 10\%$, ó $3.32 < 5$ psi.

En el Plano II se puede observar gráficamente cómo estarían dispuestas las tuberías y aspersores para este primer diseño en particular (1). Para este estudio en particular nos parece mas conveniente la aplicación de este diseño por lo que se ahorraría dinero por concepto de jornales a mediano y largo plazo, además se complementa mucho mejor con el riego por goteo el cual se analizará más adelante



Se ha considerado también otro diseño (2), el cual está diseñado para regar todo el sector (aspersores) en cinco días. Con este diseño se ahorraría dinero por concepto de inversión en tuberías, ya que en muchos tramos se utilizarían tuberías de menor diámetro, pero se aumentarían los costos de operación, debido a que se incrementan las horas de los jornales. Para este caso en particular (2) necesitaría dos alas de laterales, una en el lado inferior izquierdo y la otra en el lado superior derecho. Cabe señalar que sería más fácil para el operador o jornalero el trabajo ya que sólo mueve dos líneas de aspersores (1 izquierdo y 1 derecho) por cada movimiento, a diferencia del primer diseño en el que mueve cuatro líneas de aspersores.

A continuación se describe mediante la tabla VI las pérdidas de carga por fricción máxima por las tuberías en este caso particular para el diseño No. 2

	gpm	longitud (m)	ϕ tubería (mm)	Pc (m/c100m)	P (m)
Principal	308	15.75	125	2.05	0.32
Principal	154	126	125	0.57	0.72



Principal	154	157.5	110	1.04	1.63
Lateral	154	12	75	7.13	0.85
Lateral	115	21	75	4.15	0.88
Lateral	77	21	75	1.97	0.42
Lateral	38	21	75	0.24	0.12



TABLA VI

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN MÁXIMA EN LA TUBERÍA

PRINCIPAL Y EN LA LATERAL (Diseño 2)

El total de pérdidas por tubería principal sería de 2.67 m de columna de agua (3.92 psi) ; el total de pérdidas en laterales es de 2.259 m de columna de agua (3.32 psi), con lo que me da un total de pérdidas por tuberías de 4.929 metros de columna de agua ó 7.24 psi de presión.

Como regla de diseño el total de pérdidas por fricción en la tubería principal no debe ser mayor al 10% de la presión del sistema (50 psi).

Es decir $3.92 < 50 \times 10\%$, ó $3.92 < 5$ psi.

Así mismo, como regla de diseño las pérdidas por fricción en la tubería lateral no debe ser mayor al 10% de la presión del sistema (50 psi).

Es decir $3.32 < 50 \times 10\%$, ó $3.32 < 5$ psi.

En el PLANO III se puede apreciar gráficamente la disposición y diámetros de las tuberías en este nuevo diseño (2)



5.2.- Diseño por Goteo

Con este sistema de riego sólo se humedece una parte del suelo, de donde la planta podrá obtener el agua y los nutrientes que necesita e implica una alta frecuencia de aplicación. Estas características de localización y alta frecuencia suponen una serie de ventajas tanto agronómicas como económicas, así como algunos inconvenientes.

COMPONENTES DEL SISTEMA

Un sistema de riego por goteo está formado por una unidad central denominada cabezal y por una red de distribución de agua.

Los elementos fundamentales que componen el cabezal son: un grupo motobomba, un equipo de filtrado, y un equipo de

fertirrigación. La red de distribución está compuesta por una tubería principal, tuberías secundarias y líneas portagotos con los emisores intercalados o adosados. Cada tubería secundaria y las líneas portagotos asociadas a ella forman un subsector de riego y el conjunto de subsectores que riegan simultáneamente componen un sector de riego.

VENTAJAS DEL RIEGO POR GOTEO

- Supone un ahorro de agua, debido a la reducción de la evapotranspiración y, de las pérdidas de agua en las conducciones y durante la aplicación, a la alta uniformidad de riego, siempre que el sistema esté bien diseñado y mantenido, y a la posibilidad de medir y controlar la cantidad de agua aportada.
- Es posible mantener el nivel de humedad en el suelo más o menos constante y elevado, sin que lleguen a producirse encharcamientos que provoquen la asfixia radicular o faciliten el desarrollo de enfermedades.
- Posibilita la utilización de aguas de menor calidad, debido a la alta frecuencia de riego, que hace que las sales estén más diluidas, disminuyendo su efecto osmótico y lavando de forma continua el bulbo húmedo que se forma alrededor del gotero.



- Hace posible la fertirrigación, lo que conlleva un ahorro de fertilizantes y de mano de obra, una mejor distribución de estos en el tiempo y en el espacio y una mejora en la asimilación de fertilizantes y permite actuar rápidamente ante deficiencias.
- Permite la aplicación de otros productos, a parte de los fertilizantes, a través del agua de riego.
- Facilita el control de malas hierbas, ya que éstas se localizan tan sólo en el área húmeda.
- El gasto energético es menor, debido a la reducción de los consumos de agua y a las menores necesidades de presión.
- Se reduce la mano de obra necesaria para el manejo del riego.
- Se presta a una fácil automatización.

DESVENTAJAS DEL RIEGO POR GOTEO

- Facilidad de obturación de los emisores.
- Aumento del coste de las instalaciones respecto a otros sistemas de riego.
- Necesidad de presión para su funcionamiento.
- Requiere de nivelación.



Como analizamos en el capítulo anterior el mes de mayor evapotranspiración (Etc), es el mes de septiembre con un Etc=113.05 mm/mes ó un Etc=3.77 mm/día.

Para proceder con el diseño, necesitamos obtener la lámina neta del cultivo (L_n), y la lámina bruta del cultivo (L_b), para lo cual necesitamos los siguientes datos:

- Profundidad de raíz del tomate(D): 0.6 m
- Tipo de suelo : Franco
- Capacidad de retención del suelo (S_a): 17 cm/m
- Agotamiento permisible (p) : 20%
- Eficiencia de riego goteo (e_{rg}) : 85%



Entonces:

$$L_n = p \times S_a \times D = 0.2 \times 17 \times 0.6 = 2.04 \text{ cm} = 20.4 \text{ mm}$$

$$L_{nr} = L_n \times A_r$$

Donde A_r es el área real y lo calculamos de la tabla VII , que se la cita a continuación:

Sistema de riego	% área bajo riego
Aspersión	100
Goteo	70
Microaspersión	75

TABLA VII

**PORCENTAJE DEL ÁREA DE RIEGO RECOMENDADO
PARA LOS DIFERENTES SISTEMAS DE RIEGO**

$$Lnr = 20.4 \times 0.7 = 14.28 \text{ mm}$$

$$Ir = Lnr/Etc = 14.28/3.77 = 3.79 \text{ días}$$

$$Irc = 3 \text{ días}$$

CICLO DE RIEGO (Cr)

$$\text{Si } Irc \leq 3 \text{ días, } Cr = Irc$$

$$\text{Si } Irc > 3 \text{ días, } Cr = Irc - 1$$

$$\text{entonces, } Cr = 3 \text{ días}$$

$$Lncr = Lnr \times Irc/Ir = 14.28 \times 3/3.79 = 11.30 \text{ mm}$$



$$L_{brc} = L_{nrc} / e_{r_g} = 11.30 / 0.85 = 13.29 \text{ mm}$$

Para seleccionar un gotero, partimos con los siguientes datos: distancia entre goteros (d_g) = 0.5m y distancia entre laterales (d_l) = 1m, que son las distancias recomendadas para este cultivo en particular.

CONDICIÓN DE DISEÑO

$$Ph_f < I_b$$



Ph_f lo obtenemos del APÉNDICE E y tiene que ser menor que la infiltración básica (I_b)

$$6.866 \text{ mm/hr} < 13 \text{ mm/hr} \quad \checkmark$$

$$Ph_d = Ph_f \times \% \text{ área riego} / 100 = 6.86 \times 70 / 100 = 4.8 \text{ mm/hr}$$

$$Q_g = Ph_d \times (d_g \times d_l) = 4.8 \times (0.5 \times 1) = 2.4 \text{ lt/h}$$

Con este caudal del gotero (2.4 lt/h) que sí existe en el mercado, y sería una cinta de riego que trabaja a 15 psi, procedemos a calcular el tiempo de riego

$$Tr = L_{brc} / Ph_d = 13.29 / 4.8 = 2.768 \text{ h}$$

$$N_{td} = 8 \text{ h/día} / Tr = 8 / 2.768 = 2.89 \approx 3 \text{ turnos}$$

$$\text{Trd} = \text{Ntd} \times \text{Tr} = 3 \times 2.768 = 8 \text{ h}$$

$$\text{Trc} = \text{Cr} \times \text{Trd} = 3 \times 8 = 24 \text{ h/ciclo}$$

$$\text{Ntc} = \text{Ntd} \times \text{Cr} = 3 \times 3 = 9 \text{ turnos/ciclo}$$

$$\text{Srt} = \text{St} / \text{Ntc} = 2.5 \text{ Há} / 9 = 0.28 \text{ Há} / \text{turno/ciclo}$$

$$\forall \text{rt} = \text{Srt} \times (\text{Lbrc} \times 10) = 0.28 \times 13.29 \times 10 = 37.21 \text{ m}^3/\text{turno}$$



5.2.1 Pérdidas de Carga por Fricción

De la toma de succión al área de riego por goteo hay aproximadamente 100 m de longitud y se necesitan transportar 270 gpm aproximadamente. Las pérdidas por fricción en este tramo utilizando una tubería de 110 mm de diámetro sería de 2.92 m de columna de agua o 4.08 psi. Luego de esto tendría una tubería principal la cual va a recorrer 358 m aproximadamente hasta el final o sea hasta la última línea de goteo que es en donde por mayor recorrido la pérdida por fricción va a ser mayor. Estos 358 m de tubería me producen una caída de 10.47 m de columna de agua ó 14.6 psi utilizando una tubería de 110 mm de diámetro.

Las cintas de riego que se van a utilizar, tienen un diámetro de 16 mm y trabajan a una presión de 15 psi con un recorrido o largo de cinta de hasta 80 m de longitud de acuerdo a datos proporcionados por los distribuidores o diseñadores de éste tipo de cinta, éste dato es muy importante, ya que de acuerdo a esto tengo que hacer el diseño o la disposición que van a tener las cintas, además de la mínima presión que deben tener las mismas para que funcionen correctamente.

Para este caso en particular la presión en la entrada va a ser de 30 psi y al llegar a la última cinta debo de tener 15 psi para que funcione correctamente. En este caso por pérdidas de presión tengo 10.8 psi en la tubería principal y 3.7 psi hasta la tubería secundaria por lo que la presión en mi última cinta será aprox. de 15.5 psi con lo que consigo que mi sistema funcione sin problemas.



PÉRDIDAS MENORES

Las principales pérdidas menores son debido a la fricción que se producen en codos, tee, válvulas, filtros y de instrumentos de medición como los medidores de flujo y de presión. En la mayor parte de casos ésta pérdidas menores son despreciables, por ser muy pequeñas en comparación con otros tipos de pérdidas.

Para el cálculo de las pérdidas menores tomamos como referencia el Manual Crane, en el Tomo II, el cual utiliza la siguiente fórmula:

$$h_m = k V^2 / (2g)$$

donde:

h_m = pérdidas menores (m)

K = coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios

V = velocidad del fluido (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9.78 m/s²)

El valor de K se lo puede calcular de acuerdo a la Tabla VIII obtenida del Manual de Crane, Tomo II



Accesorio	Fórmula
Codo 90°	$K = 30 f_T$
Codo 45°	$K = 16 f_T$
Tee	$K = 60 f_T$
Válvula de Compuerta	$K = 8 f_T$
Válvula Globo	$K = 3 f_T$
Válvula Mariposa	De (2" a 8") $K = 45 f_T$
	De (10" a 14") $K = 35 f_T$
	De (16" a 24") $K = 25 f_T$
Válvula Cheque	$K = 50 f_T$
Curva de 180° de radio corto	$K = 50 f_T$

COEFICIENTE DE RESISTENCIA K

(válidos para válvulas y accesorios)

TABLA VIII

Los factores de fricción f_T están tabulados en el Apéndice K en mm y en pulgadas de acuerdo a su diámetro nominal



RIEGO COMBINADO

El área total de riego por goteo es 25081 m², existe un gotero cada 0.5 m², luego el total de goteros es 51056.

Caudal total = 51056 goteros x 2.4 lt/h / gotero = 122534.4 lt/h ó

539.56 gpm

Si se divide en 2 partes el área tendría 539.56 / 2 = 269.78 gpm

Si se divide en 3 partes el área tendría 539.56 / 3 = 179.85 gpm

De acuerdo a estos valores de caudal para riego por goteo y a los valores de caudal para riego por aspersion procedo a diseñar mi riego combinado.

En este caso se han considerado tres opciones, que a continuación las cito en la tabla IX:



ETAPA	<u>DISEÑO 1</u>		<u>DISEÑO 2</u>		<u>DISEÑO 3</u>	
	got. $Q_1=Q_2$ 269.78 gpm		got. $Q =$ 539.56 gpm		got. $Q_1=179.85_{(1/3)}$ gpm $Q_2=359.7_{(2/3)}$ gpm	
	Total	Desglose	Total	Desglose	Total	Desglose
	LUNES		LUNES		LUNES	
	1°	1008.98 gpm	739.2 asp 269.8 got.	539.56 gpm	539.5 got.	919.05 gpm
2°	916.58 gpm	646.8 asp 269.8 got.	—	—	359.7 gpm	359.7 got
	Martes		Martes		Martes	
1°	785.4 gpm	785.4 asp	739.2 gpm	739.2 asp.	785.4 gpm	785.4 asp.
2°	—	—	646.8 gpm	646.8 asp.	646.8 gpm	646.8 asp.
	Miércoles		Miércoles		Miércoles	
1°	—	—	785.4 gpm	785.4 asp.	739.2 gpm	739.2 asp.
2°	—	—	739.2 gpm	739.2 asp.	—	—
	Jueves		Jueves		Jueves	
1°	1008.98 gpm	739.2 asp 269.8 got.	600.6 gpm	600.6 asp.	780.45 gpm	600.6 asp. 179.8 got.
2°	870.38 gpm	600.6 asp 269.8 got.	539.56 gpm	539.56 got.	359.7 gpm	359.7 got.

TABLA IX





Se ha escogido el primer diseño por ser el más conveniente de acuerdo a diversas razones como son: período de riego más corto (dos y medio días), lo que implica menos dinero que pagar por concepto de jornales, poca variación del caudal máximo con respecto al caudal mínimo, muy práctico a la hora de hacer los cambios de aspersores y a la apertura y cierre de válvulas (goteo), y perfecto funcionamiento combinando los dos sistemas (aspersión y goteo). Se tendrá que hacer una desviación de caudal en los momentos que haya un exceso, lejos de la toma de succión de agua por parte de la bomba a fin de evitar el removimiento de sedimentos; también habrá que regular la presión en la entrada del sistema de riego por goteo mediante válvulas o reguladores de presión. Esto se lo analizará más adelante, específicamente en el capítulo 5.3.3 en sistemas de regulación. Este gráfico lo encontramos en el Plano IV

El segundo diseño es muy bueno también, pero no cumple una condición que tiene este tema de tesis, el cual es de realizar el sistema combinado, si no que lo realiza por separado. Sin embargo este diseño tiene una ventaja muy particular, la cual me permite bajar las revoluciones por minuto (rpm) del motor, con lo que consigo disminuir la presión considerablemente, a la hora de hacer el riego por goteo así como también disminuir el consumo de combustible. Esto se lo hace por medio de las **leyes de afinidad**.

A continuación voy a citar estas fórmulas por propósitos de aprendizaje:

$$n_1 / n_2 = Q_1 / Q_2$$

$$(n_1 / n_2)^2 = H_1 / H_2$$

$$(n_1 / n_2)^3 = P_1 / P_2,$$



donde n está dado en rpm, H está dado en m, y P está dado en Hp.

Para el caso en particular del diseño No. 2 :

$Q_1 = 785.4$ gpm , $Q_2 = 539.56$, $H_1 = 49$ m, $n_1 = 1750$ rpm,
con lo que me resulta: $n_2 = 1202$ y, $H_2 = 23$ mts.

Con lo que consigo reducir considerablemente la presión a 23 metros de columna de agua (33.81 psi), pero como se necesitan sólo 15 psi de presión en las cintas de riego, se tendrá que regular mediante válvulas o reguladores de presión.

El tercer diseño resulta muy poco práctico ya que tiene partes en las que sólo funciona por aspersión, otras en los que sólo funciona por goteo y otras utiliza el riego combinado (aspersión y goteo). Además de ello hay cambios bruscos de caudal máximo y mínimos, por lo que la desviación de caudales sería demasiado grande.

En los tres diseños se ha considerado un aumento del 20% en el caudal Q como porcentaje de seguridad por concepto de fugas, etc..



5.3.- Selección de Equipos

5.3.1.- Sistema de Filtración

La necesidad de una filtración preliminar para eliminar las partículas del agua es reconocida por todos los proyectistas, pero se ha definido de una manera precisa el tamaño máximo que se puede dejar en función del diámetro de paso de los distribuidores. El grado de filtración requerido depende de la calidad del agua y del tipo de distribuidor escogido.

La técnica más antigua y menos complicada se basa en la decantación o sedimentación. Se ha demostrado que las partículas superiores a 40 micras se depositan en alrededor de una hora. Los depósitos más utilizados en agricultura son las albercas, pero en la mayor parte de los casos estos depósitos no pueden por si solos suministrar la cantidad de agua deseada y sólo se usan como prefiltros en combinación con otros equipos de filtración.

Para cálculos posteriores, se tendrá que tomar en cuenta que el diámetro del gotero que vamos a utilizar tiene un diámetro de 1.1

mm. El esquema del sistema de filtración se lo tiene en

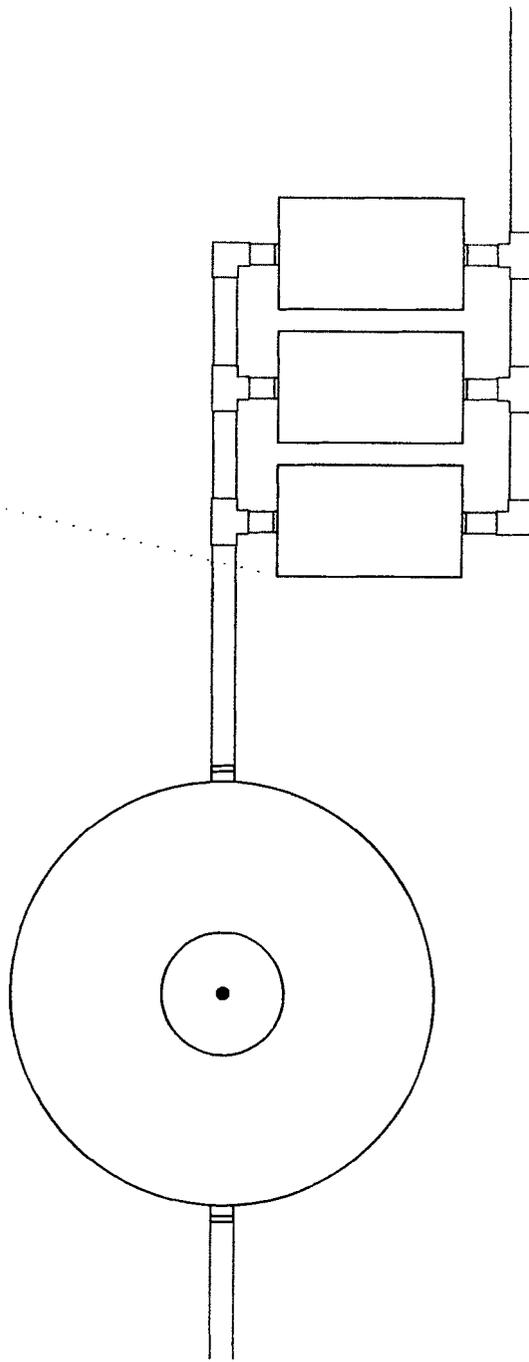
Figura 5.1

Filtros de Grava

Los filtros de arena y/o grava están pensados para retener las partículas finas que pasan a través de los filtros de tamiz o malla. Los filtros de grava están formados por varias capas de arena y grava de diferentes granulometrías, a través de las cuales pasa el agua. Durante una percolación, las partículas son absorbidas por los granos de arena, y se aglomeran en partículas más gruesas y se depositan de una forma análoga a la de los recipientes de decantación. Estos filtros tienen resultados superiores a todas las técnicas de tamizado. También han sido adoptados como componentes de base en el sistema de filtración de numerosas zonas, independientemente de la calidad del agua o del diámetro de los distribuidores. Estos filtros de arena también tienen sus límites, son eficaces para partículas de hasta 20 micras. Por debajo de este límite hay que disponer de un equipo más costoso. Su eficacia se determina por la granulometría de arena utilizada y hasta un cierto punto por el espesor de la capa filtrante, el caudal y la presión que el agua ejerce sobre la superficie filtrante.

FILTRO DE GRAVA
61 m³/h - Nominal size 48 "

FILTRO DE MALLA
20 m³/h (150 mesh)



Cuando en un proyecto se prevé un filtro de arena se debe especificar la granulometría de la arena que se usa. La Tabla X da algunas indicaciones sobre las diversas granulometrías en función del material.

Aunque se pueden emplear otras muchas materias, la arena de sílice es la que más frecuentemente se escoge.

Se recomienda que la profundidad de filtrado no sea menos de 0.5 m y no exceda de 1 m; si no la capa filtrante no se puede quitar fácilmente después del lavado a contracorriente y se pueden formar recorridos con agregados más gruesos, lo que reducirá la eficiencia del filtro.

DESIGNACIÓN NUMÉRICA	MATERIALES	TAMAÑO MEDIO DE GRANOS EN MICRAS
8	Granito machacado	1840
11	Granito machacado	952
16	Arena de sílice	806
20	Arena de sílice	524
30	Arena de sílice	335

TABLA X

**GRANULOMETRÍA DE DISTINTOS
MATERIALES FILTRANTES**



Cuanto más pequeño es el caudal por unidad de superficie mejor es la filtración. Como indicación diremos que no debería sobrepasar 1800 l/min/m^2 cuando se prevé un proyecto con filtro de arena. La limpieza se hace a contracorriente, el agua remonta de abajo a arriba de la capa filtrante y va hacia el desagüe. La frecuencia de las limpiezas puede variar desde algunas horas a varios días, según el material utilizado y la cantidad de materias en suspensión que lleve el agua.

El Apéndice L muestra el detalle de un filtro de arena mas grava que funciona correctamente. Este filtro completo, a saber, muestran las tomas de presión que permiten controlar la eficiencia o el grado de relleno del filtro y las llaves o grifería necesarias para limpiar fácilmente a contracorriente sin tener que desmontarlo. La capacidad varía entre 6 y $50 \text{ m}^3/\text{h}$ según el diámetro del filtro (16" a 48").

Los filtros de arena mas grava están generalmente seguidos de un filtro de malla para mayor seguridad, así como para retener la arena o las materias en suspensión que pueden pasar durante la filtración o que provienen del lavado contra corriente.



Filtros de Malla

Un método clásico para eliminar los elementos en suspensión consiste en el uso de superficies filtrantes formadas por hilos entrecruzados. El espacio libre entre los hilos se llama apertura de malla, y se mide por el “número de mesh”.

En la elección de un filtro de malla hay que determinar la superficie de la malla y el tamaño de los orificios, es decir su número de mesh. Para esto último un criterio usado comúnmente es que el tamaño del orificio sea aproximadamente $1/10$ del menor diámetro de paso del gotero, valor que se puede elevar a un $1/5$ en el caso de microaspersión. Ello es debido, además de la posible entrada de una partícula por su dimensión menor, a que se pueden aglutinar partículas una vez que hayan superado el paso a través de las mallas. El empleo de mallas mas finas no es recomendable porque aumenta la frecuencia de las limpiezas y los problemas potenciales que acompañan a la colmatación de las mallas.

En la siguiente tabla se muestran las mallas de acero recomendadas según criterio 1/10.

TABLA XI

MALLAS DE ACERO RECOMENDADAS (Criterio 1/10)

MALLA		
DIÁMETRO DEL GOTERO (mm).	ORIFICIO MENOR QUE (micras) Abertura de mallas	Nº DE MESH (*)
2,10	214	65
1,70	170	80
1,40	143	115
1,20	128	125
1,10	114	150
1,00	100	170
0,80	78	200
0,70	70	250



(*) Correspondiente al número de hilos por pulgada

Este tipo de filtros, debido a su naturaleza, sólo puede detener partículas sólidas gruesas. La malla de 250 mesh, que es la más fina, es la que se usa comúnmente en el riego y detiene partículas de hasta 0.070 mm.

Las mallas de los filtros se hacen con numerosos materiales y modelos para la trama de los hilos. A menudo se usan dos tamices de abertura distinta, el primero para retener las



partículas más gruesas y el segundo para retener las más finas.

Esta medida presenta la ventaja de que la tela más delicada del tamiz no se estropea por las partículas gruesas, que a veces circulan a gran velocidad. La mayor parte de las mallas se hacen con materiales inoxidables, tales como el acero y plástico.

Los filtros de malla deben limpiarse periódicamente. Existen en el mercado algunos filtros autolimpiables, que pueden ser una solución a los problemas de mantenimiento. En uno de estos modelos por ejemplo, cuando la pérdida de carga alcanza cierto valor, un cepillo eléctrico o hidráulico acciona el limpia tamiz y las impurezas se lavan y eliminan por una válvula de desagüe.

Los proyectistas y usuarios que por diversas razones no son partidarios de los filtros automáticos, deben asegurarse que los filtros que instalan son fáciles de desmontar para limpiarlos.

De acuerdo a nuestro diámetro del gotero (1,1 mm) el No. de Mesh recomendado sería de 150 en adelante.

Filtros de Anillas

El elemento filtrante es un conjunto de discos o anillas con las caras asurcadas, que van montadas sobre un soporte central



cilíndrico con orificios en la superficie. Las anillas se colocan entre sí al roscar la carcasa.

El filtro de anillas tiene la misma aplicación que el filtro de malla, utilizándose uno u otro indistintamente.

Últimamente se utiliza mucho el primero, debido a su gran efectividad y facilidad de limpieza. Para hacer la limpieza manual se abre la carcasa, se separan las anillas y se limpian al chorro de agua.

Conviene limpiar el filtro cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida del mismo sea igual o superior a 2 mca con respecto a la caída de presión característica del filtro limpio.

Filtro Hidrociclón

Es muy recomendado en el caso de que el contenido de partículas sólidas en suspensión de naturaleza inorgánica sea muy elevada, es decir arenas, limos y arcillas.

Para este diseño en particular, se necesitará de un filtro hidrociclón, debido a la gran cantidad de sólidos en suspensión que contiene el río Daule, el cual va a servir de fuente para la irrigación de los terrenos en cuestión.

En el Apéndice M, se muestra una tabla con varios diámetros de hidrociclones; se seleccionará el adecuado de acuerdo al caudal que vaya a pasar por dicho filtro.

5.3.2.- Sistema de Bombeo

Para la selección de la bomba se tendrán que considerar diversos factores, como son presión de descarga (incluye pérdidas por fricción de tuberías, pérdidas menores, altura del elevador del aspersor, etc.), altura de succión, los cuales son necesarios para calcular la carga dinámica total de la bomba, que junto con el caudal necesario nos servirá para escoger la bomba existente en el mercado más eficiente para este diseño.

El Manual Crane, en el Tomo II, nos indica la siguiente fórmula que nos servirá para el cálculo de la Potencia de la Bomba a utilizarse:

$$Pot_{necesaria} = (\rho QH) / (6116 \times 10^3 \eta)$$

donde:

ρ = densidad del fluido (Kg/m^3)

Q = Caudal máximo necesario (lt/min)

H = Carga total de bombeo necesaria (m)

η = eficiencia



$Pot_{necesaria}$ = potencia de la bomba (kw)

Para este caso en particular $\rho = 998.2 \text{ Kg/m}^3$; $Q_{\text{máx}} = 1008.98 \text{ gpm}$ ó 3818.98 lt/min , $H = 48.85 \text{ m}$ (incluye presión necesaria para aspersores, pérdidas por fricción, altura del elevador y altura de succión); $\eta = 66 \%$

Con lo que $Pot_{necesaria} = 46.13 \text{ Kw}$ ó 61.84 Hp

Del Apéndice N se obtiene la eficiencia η y el diámetro del impeler ($\phi 350 \text{ mm}$), de acuerdo a una entrada Q y H requerido.

Hay que tomar en cuenta también que el cabezal neto de succión disponible NPSHa debe de ser siempre mayor al cabezal neto de succión requerido NPSHr.

El NPSHr es aproximadamente 4 m para un caudal de 1008 gpm y un diámetro de impeler $\phi=425\text{mm}$ y lo obtenemos del Apéndice N

El NPSHa lo calculo de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{NPSHa} = 2.31 (P_s - P_v) \pm Z - h_f - 2'$$

donde,

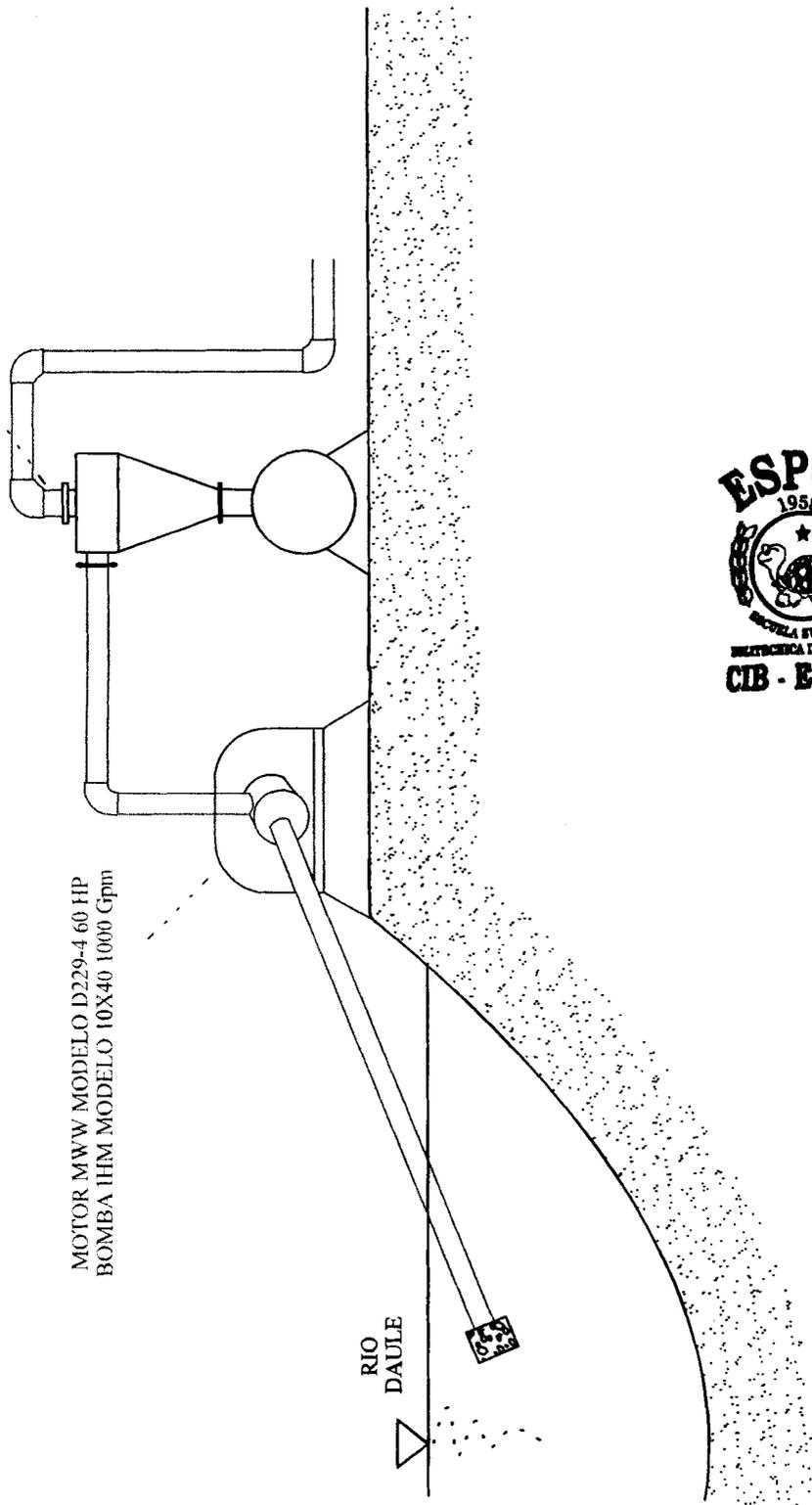
P_s = es la presión sobre la superficie del líquido (psi) = 14.7 psi

SISTEMA DE BOMBEO

FILTRO HIDROCICLON
250 m³/h - diá. ext 8"

MOTOR M/W MODELO D229-4 60 HP
BOMBA IHM MODELO 10X40 1000 Gpm

RIO
DAULE



P_v = es la presión de vapor de acuerdo a la temp = 0.3631 psi

Z = altura de la bomba al nivel de agua (pies) = 15'

h_f = pérdidas por fricción en el tramo de tubería (pies) = 2.5'

El factor de seguridad es de dos pies (2')

Con lo que $NPSH_a = 13.62'$ ó 4.15 m

$$4.15 \text{ m} > 4 \text{ m}$$

$$NPSH_a > NPSH_r \checkmark$$



El esquema de este sistema lo tenemos en la Figura 5.2, junto con un filtro (hidrociclón)

5.3.3.- Sistema de Regulación

El sistema llevará una presión de 43 metros de columna de agua (60 psi) aproximadamente necesarios para que funcionen correctamente los aspersores, pero como las cintas de riego trabajan a una presión de 20 psi (incluidos las pérdidas por fricción y menores) aproximadamente, necesitaremos una válvula reguladora de presión.

Para esto existen en el mercado varios tipos de válvulas reguladoras de presión como las de compuerta, bola ó globo, mariposa, etc.

Para este caso se usará una válvula de compuerta por ser muy efectiva, además de ser la más económica de las anteriormente citadas.

Este fenómeno de reducción de presión mediante el cierre parcial de la válvula se produce por:

La Ley de la continuidad $m_1 = m_2$, ó $Q_1 = Q_2$, ó $A_1V_1 = A_2V_2$;

por lo que en el momento en que se produce el cierre de la válvula disminuye el área (A_2) y aumenta la velocidad (V_2) con lo que se mantiene el equilibrio en la ecuación.

Luego por el Teorema de Bernoulli calculamos la presión P_2 mediante su ecuación:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2$$

donde:

P_1 es la presión de entrada, P_2 es la presión de salida,

ρ_1 , ρ_2 es la densidad del fluido,

V_1 es la velocidad de entrada, V_2 es la velocidad de salida

Como la velocidad V_2 aumenta, necesariamente la presión P_2 tiene que disminuir para que se produzca la igualdad en la ecuación.



En la práctica se deberá colocar un manómetro a la salida de la válvula de compuerta y se procederá a la apertura o cierre de la misma hasta que marque en el indicador 20 psi.



CAPÍTULO 6



6.- ANÁLISIS DE COSTOS

DESCRIPCIÓN		PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Riego	TUB EC 200 mmx6m 0.50 Mpa (73 psi)	76.7	27	2070.9
Aspersión	TUB EC 125 mmx6m 0.50 Mpa (73 psi)	41.2	16	659.2
	TUB EC 110 mmx6m 0.50 Mpa (73 psi)	27.3	8	218.4
	TAPON H EC 110 mm	6.6	1	6.6
	POLIPEGA GALÓN	31.42	2	62.84
	POLI-LIMPIA GALÓN	15.82	1	15.82
Hidrantes	RED BUJE EC 200 A 160 mm	20.46	1	20.46
	RED BUJE EC 160 A 125 mm	10.2	1	10.2
	RED BUJE EC 125 A 110 mm	7.4	1	7.4
	RED BUJE EC 160 A 110 mm	14.5	5	72.5
	RED BUJE EC 110 A 90 mm	5.3	5	26.5
	RED BUJE EC 90 A 75 mm	3.9	10	39
	TEE RED EC 200 A 160 mm	106.77	5	533.85
	TEE RED EC 125 A 90 mm	18.5	3	55.5
	TEE RED EC 110 A 90 mm	11.5	2	23
	TUB P EC 75 mmX6m 0.50 Mpa (73 psi)	16.8	3	50.4
	VALVULA PVC BOLA EC 75mm UNIV	31.5	10	315
	ACOPLE H R/MOVIL EC 75 mm	6.36	10	63.6

Cuello de Ganzo	ACOPLE M R/MOVIL EC 75 mm	6.36	4	25.44
	ACOPLE H R/MOVIL EC 75 mm	6.36	4	25.44
	CODO EC 75 mmx90°	5.15	4	20.6
	CODO EC 75 mmx45°	2.64	8	21.12
Tubería R/Móvil	TUB. R MOVIL 75mmx6mx0.8MPa (116 psi) Izq.	22	25	550
	TUB. R MOVIL 75mmx6mx0.8MPa (116 psi) Der.	22	29	638
	TAPON ACOPLE H. PRESION R/MOVIL 75 mm	7.18	4	28.72
Aspersores	COLLARIN DERIV. 75mmx3/4"	3	17	51
	ACOPLE RAPIDO 1 VALV 3/4" RM PP	6.99	17	118.83
	BAYONETA 1 LLAVE VALV 3/4" RM PP	3.44	17	58.48
	REDUCTOR 1 ROSCABLE CED 40 1 1/4 A 3/4"	1.82	17	30.94
	ASPERSORES NELSON F80 APV-NOZZLE 7/16"	38	17	646
Riego por goteo	TUB P EC 110mmx6m 0.50 Mpa (73 psi)	27.3	97	2648.1
	TUB P EC 75mmx6m 0.63 Mpa (91 psi)	16.8	12	201.6
	TEE 1 EC 110mm	14.85	3	44.85
	Cinta 16 mm x metro 2.4 lt/h (e=0.25mm s=0.5 m)	0.081	25528	2067.7
	CONECTOR CON CAUCHO PVC-FLEX 16 mm	0.35	470	164.5
	TUB. FLEX B/D 16 mmx0.32 Mpa (46 psi)xm	0.15	470	70.5
	UNION FLEX 16 mm D.E. C.RIEGO	0.36	470	169.2
	RED BUJE EC 110 A 90 mm	5.3	1	5.3
	RED BUJE EC 90 A 75 mm	3.9	1	3.9
	CODO 1 EC 110 mmx45°	12.24	18	220.32
	CODO 1 EC 110 mmx90°	9.8	2	19.6
	VALV PVC BOLA 1 EC 110 mm 1 UNIV	46.5	3	139.5
	VALV PVC BOLA 1 EC 75 mm 1 UNIV	24.02	1	24.02
	VALV. COMP CAST BRASS 110 mm@100 psi	35	6	210
	MANOMETRO DE GLICERINA @ 100 psi	27.3	4	109.2
	VALV. MARIPOSA - RETROLAVADO	34	2	68
Filtros	FILTRO HIDROCICLON 250 m3/h 8"	300	1	300
	FILTRO DE GRAVA D.48" (50-90 m3/h)	500	1	500
	FILTROS DE MALLA 20 m3/h (150 MESH)	40	3	120

Grupo de bombeo	MOTOR M.W.W Modelo D229-4 60 HP	8400	1	8400
	BOMBA I.H.M. Modelo 10 x 40, 1000gpm	1680	1	1680
	MONTAJE (Chasis y Matrimonio)	800	1	800
Instalación	Mano de obra en riego por goteo/Há	200	2.5	500
	Mano de obra en riego por aspersión / Há	250	5	1250

ASPERSIÓN	
(5 Hás)	6465.74
GOTEO	
(2.5 Há)	6166.29
FILTROS, G. BOMBEO INSTALACIÓN	
(7.5 Há)	13550
TOTAL USD\$	26182.0

Estos precios incluyen el 12% IVA



CAPÍTULO 7



7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Para cualquier tipo de diseño de riego que se vaya a realizar, es muy importante tener en cuenta un equilibrio de diversos factores, entre los más importantes están, programación eficiente del riego, lograr un equilibrio en el uso de los sistemas a implantar.
2. Para poder realizar el diseño de riego combinado (aspersión y goteo), se tuvo que empezar a diseñar primeramente como si fuese solamente riego por aspersión, debido al mayor consumo de agua y a la mayor cantidad de presión necesaria para que funcionen los aspersores; luego de esto, acoplar mi diseño de riego por goteo a los requerimientos del cultivo.

3. En mi caso en particular he decidido seleccionar goteros no autocompensados o cintas de riego los cuales poseen una corta vida útil (1 año), lo cual se me disminuye los costos.
4. En un diseño de riego por aspersión, la mayor cantidad de dinero involucra la compra de los diferentes elementos del sistema como son las tuberías. Para bajar costos se tendrán que variar los diámetros de las mismas, pero siempre tomando en cuenta como regla de diseño que las pérdidas de carga por fricción en la tubería principal no debe ser mayor al 10%, y las pérdidas de carga por fricción en las tuberías secundarias no debe ser mayor al 10%.
5. Este diseño en particular (combinado) es una alternativa con respecto a eficiencia y costos, ya que sabemos que los diseños de riego por goteo son más eficientes, pero más costosos; y los diseños de riego por aspersión son más económicos pero menos eficientes.
6. Para efectos de reducción de costos se recomienda bajar el paquete a nivel de distribuidores lo que significaría un ahorro entre 20% a 30%



SE-L - ESPOL



7. Hay que tomar en cuenta para la selección de la bomba, que el cabezal neto de succión disponible (NPSHa) debe ser mayor al cabezal neto de succión requerido (NPSHr) con un factor mínimo de seguridad de 2 pies.

8. Para efectos prácticos, se tendrán que hacer los tiempos de riego iguales para los dos sistemas (goteo y aspersión), de esta manera le facilitamos el trabajo al operador para la apertura y cierre de válvulas.

9. Cuando se quiera trabajar por separado el sistema de riego por goteo, se deberá bajar las RPM del motor, a fin de bajar costos por concepto de combustible, reducir la presión de salida por aplicación de la Ley de Afinidad, la cual está explicada en más detalle en el Capítulo 5 como parte de un diseño opcional (Diseño 2).

10. Sería muy recomendable que este diseño se lleve a la realidad, es decir a su ejecución ó instalación, como enseñanza y muestra para

los estudiantes de dicho Centro Educativo acerca de los dos sistemas de riego más utilizados en la actualidad.

11. Para obtener una producción con un mejor rendimiento se tendrá que hacer una buena preparación del terreno, adecuada fertilización, controles fitosanitarios preventivos, etc.

12. Hacer un estudio económico con respecto al retorno de la inversión utilizando diversos tipos de cultivos, para luego del cual escoger el de mayor conveniencia.





APÉNDICES

APÉNDICE B
COORDENADAS DE LOS PUNTOS

	Ángulo horizontal		Distancia Inclinada	PROYECCIONES				COORDENADAS	
	° Grados	Radianes		N+	S-	E+	W-	N	E
E1								1000	1000
1	347,40	6,06	217	211,77			-47,34	1211,77	952,66
2	350,07	6,11	198	195,03			-34,14	1195,03	965,86
3	353,79	6,17	174,2	173,18			-18,84	1173,18	981,16
4	1,15	0,02	147,8	147,77		2,97		1147,77	1002,97
5	11,31	0,20	125,2	122,77		24,55		1122,77	1024,55
6	22,15	0,39	109,8	101,70		41,40		1101,70	1041,40
7	34,00	0,59	98	81,25		54,80		1081,25	1054,80
8	40,33	0,70	96	73,18		62,13		1073,18	1062,13
9	54,45	0,95	95,2	55,35		77,46		1055,35	1077,46
10	68,63	1,20	99,5	36,26		92,66		1036,26	1092,66
11	82,05	1,43	111	15,35		109,93		1015,35	1109,93
12	93,20	1,63	130		-7,26	129,80		992,74	1129,80
13	101,48	1,77	150		-29,85	147,00		970,15	1147,00
14	106,22	1,85	175		-48,88	168,03		951,12	1168,03
15	109,00	1,90	190		-61,86	179,65		938,14	1179,65
16	121,53	2,12	185		-96,74	157,69		903,26	1157,69
17	121,95	2,13	111		-58,74	94,18		941,26	1094,18
18	122,28	2,13	48,5		-25,90	41,00		974,10	1041,00

	Ángulo horizontal		Distancia Inclinada	PROYECCIONES				COORDENADAS	
	° Grados	Radianes		N+	S-	E+	W-	N	E
19	120,93	2,11	3,4		-1,75	2,92		998,25	1002,92
20	305,77	5,34	6,5	3,80			-5,27	1003,80	994,73
21	307,98	5,38	26	16,00			-20,49	1016,00	979,51
22	312,78	5,46	61	41,43			-44,77	1041,43	955,23
23	312,65	5,46	114	77,24			-83,85	1077,24	916,15
24	272,05	4,75	102	3,65			-101,93	1003,65	898,07
25	252,85	4,41	65,4		-19,28		-62,49	980,72	937,51
26	227,83	3,98	50,04		-33,59		-37,09	966,41	962,91
27	212,53	3,71	49,3		-41,57		-26,51	958,43	973,49
28	169,27	2,95	70,02		-68,80	13,04		931,20	1013,04
29	150,44	2,63	108,8		-94,64	53,67		905,36	1053,67
30	139,65	2,44	175		-133,37	113,30		866,63	1113,30
E2								925,00	942,18
31	306,21	5,34	75	44,31			-60,51	969,31	881,67
32	307,15	5,36	38,5	23,25			-30,69	948,25	911,49
33	306,61	5,35	8,2	4,89			-6,58	929,89	935,60
34	134,50	2,35	3,8		-2,66	2,71		922,34	944,89
35	122,17	2,13	88		-46,85	74,49		878,15	1016,67

	Ángulo horizontal		Distancia Inclinada	PROYECCIONES				COORDENADAS	
	° Grados	Radianes		N+	S-	E+	W-	N	E
E3									
36	307,40	5,37	52,5	31,89			-41,71	878,69	918,54
37	308,47	5,38	35	21,77			-27,40	910,58	876,83
38	310,26	5,42	12,5	8,08			-9,54	900,46	891,14
39	242,97	4,24	40		-18,18		-35,63	886,77	909,00
40	228,56	3,99	55		-36,40		-41,23	860,51	882,91
41	213,34	3,72	66,5		-55,56		-36,55	842,29	877,31
42	212,21	3,70	33,2		-28,09		-17,70	823,13	881,99
43	50,69	0,88	10,2	6,46		7,89		850,60	900,84
44	108,72	1,90	28,5		-9,15	26,99		885,15	926,43
45	126,97	2,22	24,8		-14,91	19,81		869,54	945,53
46	160,42	2,80	5,2		-4,90	1,74		863,78	938,35
E4								873,79	920,28
47	10,37	0,18	11,5	11,31		2,07		853,10	969,86
48	98,59	1,72	34,4		-5,14	34,01		864,41	971,93
49	116,48	2,03	24,4		-10,88	21,84		847,96	1003,87
50	155,37	2,71	25,2		-22,91	10,50		842,22	991,70
51	220,28	3,84	11,2		-8,54		-7,24	830,19	980,36
52	218,75	3,82	41		-31,98		-25,66	844,56	962,62
53	218,44	3,81	84		-65,79		-52,22	821,12	944,20
								787,31	917,64



	Ángulo horizontal		Distancia Inclinada	PROYECCIONES				COORDENADAS	
	° Grados	Radianes		N+	S-	E+	W-	N	E
E5							830,73	1016,69	
54	219,81	3,84	45,5		-34,95		-29,13	795,78	987,56
55	218,30	3,81	112		-87,89		-69,42	742,84	947,27
E6							824,31	1051,40	
56	51,35	0,90	27,6	17,24		21,55	841,55	1072,95	
57	337,94	5,90	26	24,10			-9,77	848,41	1041,63
58	237,51	4,15	3,7		-1,99		-3,12	822,32	1048,28
59	227,70	3,97	9,5		-6,39		-7,03	817,92	1044,37
E7							795,36	1039,49	
60	14,66	0,26	8,3	8,03		2,10	803,39	1041,59	
61	234,88	4,10	26,8		-15,42		-21,92	779,94	1017,57
62	233,76	4,08	45,3		-26,78		-36,54	768,58	1002,95
63	227,07	3,96	81,2		-55,31		-59,45	740,05	980,04
64	224,76	3,92	55		-39,05		-38,73	756,31	1000,76
65	215,00	3,75	22,8		-18,68		-13,08	776,68	1026,41
66	66,01	1,15	20,4	8,29		18,64		803,65	1058,13
67	111,41	1,94	61,6		-22,49	57,35		772,87	1096,84
68	172,34	3,01	67		-66,40	8,93		728,96	1048,42
69	174,73	3,05	27		-26,89	2,48		768,47	1041,97

APÉNDICE C

COORDENADA DE ESTACIONES (EJE Z)

ESTACION	DESNIVEL		COTAS
	+	-	
E1			10,00
E2		-0,15	9,85
E3	0,10		9,95
E4	0,11		10,06
E5	0,11		10,17
E6	0,07		10,24
E7	0,06		10,30



APÉNDICE D
COORDENADAS DE LOS PUNTOS (EJE Z)

ESTACION	DESNIVEL		COTAS
	+	-	
E1			10,00
1	0,32		10,32
2	0,00		10,00
3		0,03	9,97
4		0,21	9,79
5		0,04	9,96
6		0,03	9,97
7		0,40	9,60
8		0,53	9,47
9		0,74	9,26
10		0,78	9,22
11		0,58	9,42
12		0,64	9,36
13		0,61	9,39
14		0,46	9,54
15		0,39	9,61
16		0,27	9,73
17		0,71	9,29
18		0,81	9,19
19		0,61	9,39
20		0,02	9,98
21		0,15	9,85
22		0,27	9,73
23		0,10	9,90
24		0,50	9,50
25		0,27	9,73
26		0,77	9,23
27		0,20	9,80
28		0,74	9,26
29		0,61	9,39
30		0,41	9,59
E2			9,85
31		0,46	9,39
32		0,04	9,81



ESTACION	DESNIVEL		COTAS
	+	-	
33		0,87	8,98
34		0,61	9,24
35	0,46		9,31
E3			9,95
36		0,03	9,92
37		0,21	9,74
38		0,07	9,88
39	0,16		10,11
40	0,38		10,33
41	0,48		10,43
42		0,15	9,80
43		0,09	9,86
44		0,10	9,85
45		0,17	9,78
46		0,03	9,92
E4			10,06
47	0,04		10,10
48	0,06		10,12
49		0,25	9,81
50		0,78	9,28
51		0,43	9,63
52		0,41	9,65
53	0,72		9,78
E5			10,17
54	0,38		9,55
55	2,05		10,22
E6			10,24
56		0,01	10,23
57	0,06		10,30
58	0,03		10,27
59		0,12	10,12
E7			10,30
60		0,42	9,88
61		0,36	9,94
62		0,20	10,10



ESTACION	DESNIVEL		COTAS
	+	-	
63		0,80	9,50
64		0,57	9,73
65		0,17	10,13
66		0,25	10,05
67	2,79		10,09
68	2,88		10,18
69	1,84		10,14



APÉNDICE F

DATOS AGROCLIMATOLÓGICOS DE DAULE

STATION : DAULE

No. 84205

COUNTRY : ECUADOR

ALTURA : 20 m

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
PRECIPITACION	245	214	203	157	84	24	13	0	0	1	1	47	989
TEMP. PROMEDIO	26,2	26,2	26,4	26,6	26,2	25,0	24,7	24,9	25,3	25,5	25,6	26,5	25,8
TEMP. MAX.	31,4	31,0	31,4	31,7	30,7	29,4	29,7	29,7	30,8	30,8	31,0	32,2	30,8
TEMP. MIN.	17,4	20,3	20,7	20,4	20,2	19,1	18,2	18,4	18,2	19,2	19,1	20,0	19,3
TEMP. MEDIA DIA	26,9	27,6	28,0	28,1	27,3	26,1	26,0	26,1	26,8	27,1	27,2	28,3	27,1
TEMP. MEDIA NOCHE	21,8	23,7	24,1	24,0	23,5	22,4	21,9	22,0	22,2	22,9	22,9	23,9	22,9
PRESION DE VAPOR	26,9	28,1	28,8	28,3	27,1	25,5	24,7	24,6	24,4	23,8	23,7	24,4	25,9
VELOCIDAD VIENTO	1,5	1,3	1,3	1,5	1,6	1,8	2,2	2,5	2,3	2,4	2,0	2,1	1,9
% LUZ SOLAR	22	24	27	33	25	17	19	23	24	15	21	21	23
TOT. RADIACION	336	353	368	374	323	283	294	3255	346	317	334	328	332
EVAPOTRANSPI. (Eto)	113	99	112	112	105	92	100	112	119	121	116	127	1328

DRY DAYS : 204 INTERM. DAYS : 35 WET DAYS : 126

LA TEMPORADA EMPIEZA EL 21 DIC.

TEMPORADA HUMEDA COMIENZA EL 30 DIC

PERIODO HUMEDO (126 DIAS) TERMINA EL 5 MAY

LA TEMPORADA TERMINA EL 31 MAY

DURACION DE LA TEMPORADA 161 DIAS

FUENTE : FAO





APÉNDICE G

COEFICIENTES DE CULTIVO K_c CORRESPONDIENTES A CULTIVOS DE HORTALIZAS EN DIFERENTES FASES DE SU CRECIMIENTO Y SEGÚN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS PREDOMINANTES DE ACUERDO A LA FAO

CULTIVO	Humedad	RH min > 70 %		RH min < 20 %	
	Viento (m/seg)	0 - 5	5 - 8	0 - 5	5 - 8
	<u>Fase de desarrollo</u>				
Alcachofas	3	0,95	0,85	1,00	1,05
	4	0,90	0,90	0,95	1,00
Cebada	3	1,50	1,10	1,15	1,20
	4	0,25	0,25	0,20	0,20
Frijoles verdes	3	0,95	0,95	1,00	1,05
	4	0,85	0,85	0,90	0,90
Frijoles secos leguminosas	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,30	0,30	0,25	0,25
Remolachas	3	1,00	1,00	1,05	1,10
	4	0,90	0,90	0,95	1,00
Zanahorias	3	1,00	1,05	1,10	1,15
	4	0,70	0,75	0,80	0,85
Ricino	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,50	0,50	0,50	0,50
Apio	3	1,00	1,05	1,10	1,15
	4	0,90	0,95	1,00	1,05
Maíz dulce	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,95	1,00	1,05	1,10
Maíz grano	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,55	0,55	0,60	0,60
Algodón	3	1,05	1,15	1,20	1,25
	4	0,65	0,65	0,65	0,70
Crucíferos (coles, coliflores, brécoles)	3	0,95	1,00	1,05	1,10
	4	0,80	0,85	0,90	0,95
Pepino	3	0,90	0,90	0,95	1,00
	4	0,70	0,70	0,75	0,80
Berenjena	3	0,95	1,00	1,05	1,10
	4	0,80	0,85	0,85	0,90
Lino	3	1,00	1,05	1,10	1,15
	4	0,25	0,25	0,20	0,20
Granos	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,30	0,30	0,25	0,25
Lentejas	3	1,05	1,10	1,15	1,05
	4	0,30	0,30	0,25	0,25
Lechuga	3	0,95	0,95	1,00	1,05
	4	0,90	0,90	0,90	1,00

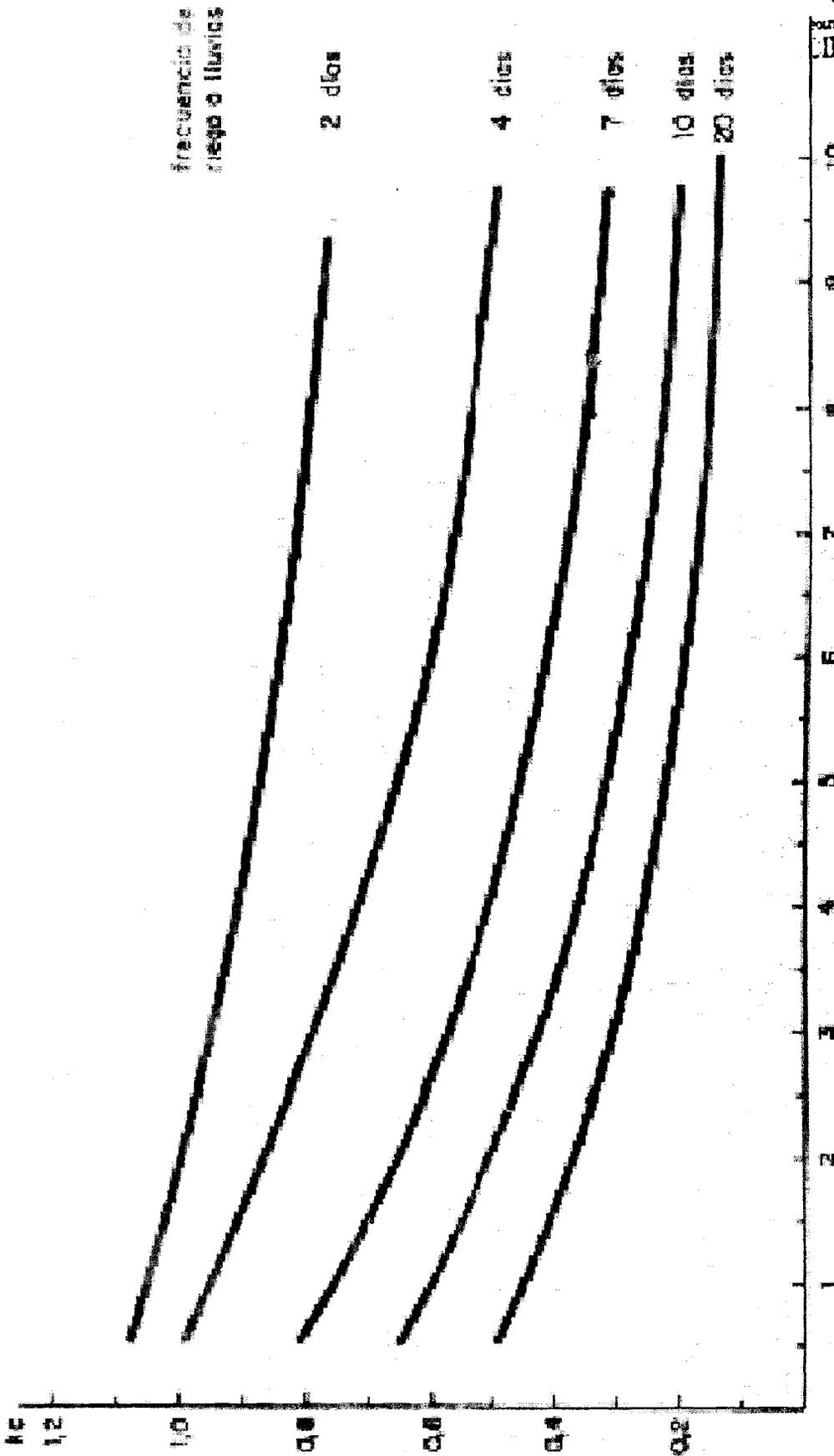
CULTIVO	Humedad	RH min > 70 %		RH min < 20 %	
	Viento (m/seg)	0 - 5	5 - 8	0 - 5	5 - 8
	<u>Fase de desarrollo</u>				
Melones	3	0,95	0,95	1,00	1,50
	4	0,65	0,65	0,75	0,75
Mijo	3	1,00	1,05	1,10	1,15
	4	0,30	0,30	0,25	0,25
Avena	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,25	0,25	0,20	0,20
Cebollas secas	3	0,95	0,95	1,05	1,10
	4	0,75	0,75	0,80	0,85
Cebollas verdes	3	0,95	0,95	1,00	1,05
	4	0,95	0,95	1,00	1,05
Maní (cacahuete)	3	0,95	1,00	1,05	1,10
	4	0,55	0,55	0,60	0,60
Guisantes (arvejas)	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,95	1,00	1,05	1,10
Pimientos	3	0,95	1,00	1,05	1,10
	4	0,80	0,85	0,85	0,90
Patatas	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,70	0,70	0,75	0,75
Rábanos	3	0,80	0,80	0,85	0,90
	4	0,75	0,75	0,80	0,85
Cártamo	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,25	0,25	0,20	0,20
Sorgo	3	1,00	1,05	1,10	1,15
	4	0,50	0,50	0,55	0,55
Soja	3	1,00	1,05	1,10	1,15
	4	0,45	0,45	0,45	0,45
Espinacas	3	0,95	0,95	1,00	1,05
	4	0,90	0,90	0,95	1,00
Calabasas	3	0,90	0,90	0,95	1,00
	4	0,70	0,70	0,75	0,80
Girasol	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,40	0,40	0,35	0,35
Tomates	3	1,05	1,10	1,20	1,25
	4	0,60	0,60	0,65	0,65
Trigo	3	1,05	1,10	1,15	1,20
	4	0,25	0,25	0,20	0,20

APÉNDICE H

FRECUENCIA DE RIEGO



POLITÉCNICA DEL LITORAL
IB - ESPOL



E_a (mm/día) durante la fase inicial

ke medio en la fase inicial, en función del nivel medio de la E_{Ta} [durante la fase inicial] y la frecuencia de riego o de unas lluvias apreciables.

APÉNDICE I

GRÁFICO PSICOMÉTRICO

GRAFICO PSICROMETRICO
Presión barométrica = 760 mm Hg

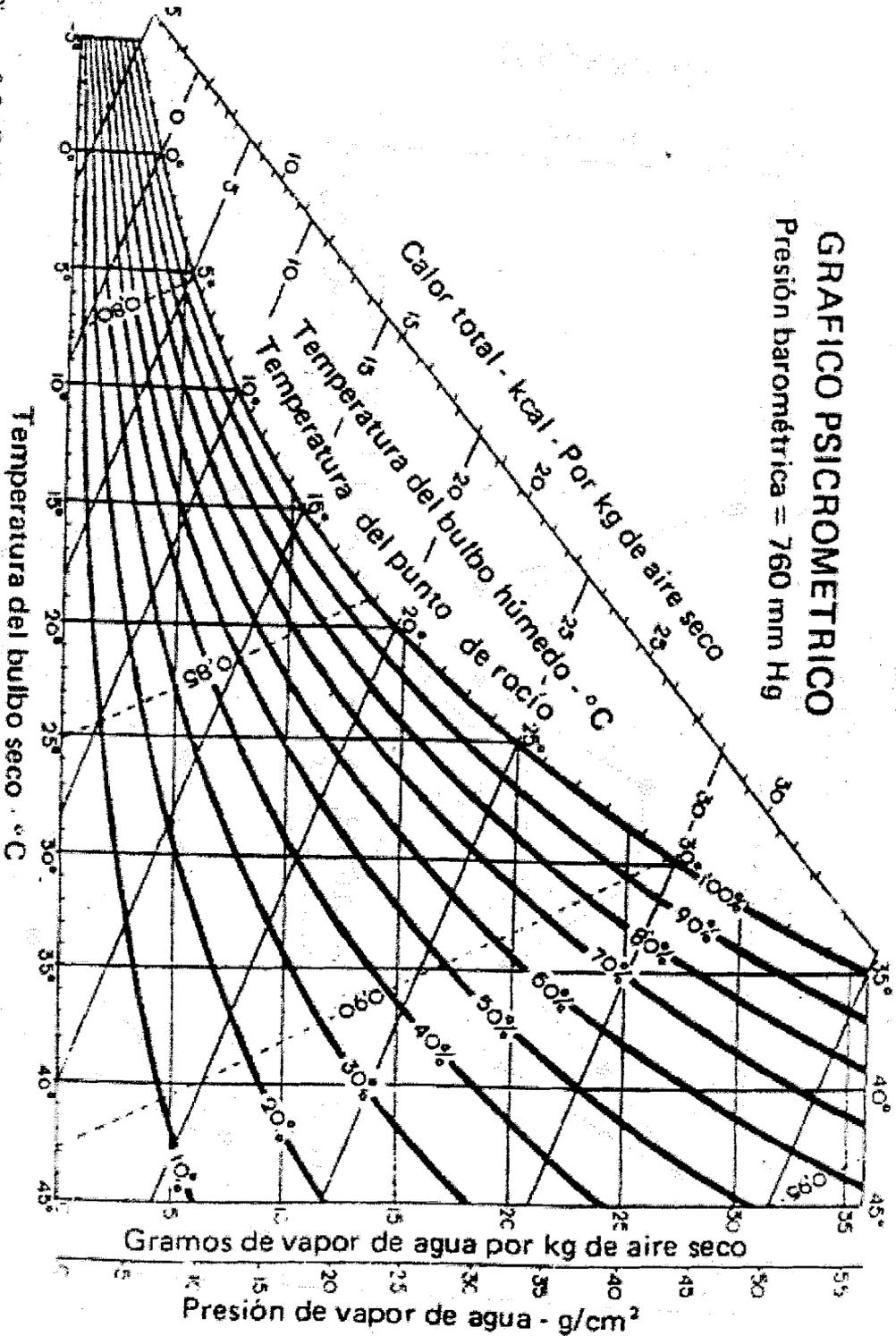


Figura 3.3. Gráfico psicrométrico a la presión al nivel del mar (760 mm de Hg), representando las líneas que determinan las propiedades de la mezcla aire-vapor.

APÉNDICE J

PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN PARA TUBERIAS DE P.V.C
(Formula De Hazen-Williams)
USO AGRICOLA

D. Nominal		20		25		32		40		50		63	
Caudal		Pc	V	Pc	V								
lps	gpm												
0.01	0.16	0.02	0.04										
0.02	0.32	0.08	0.09	0.02	0.05								
0.04	0.63	0.29	0.18	0.08	0.11								
0.06	0.95	0.62	0.26	0.18	0.18								
0.08	1.27	1.06	0.35	0.30	0.21								
0.10	1.59	1.61	0.44	0.46	0.26								
0.20	3.17	5.80	0.88	1.65	0.53	0.43	0.30						
0.30	4.76	12.30	1.32	3.50	0.79	0.91	0.45						
0.40	6.34	20.95	1.76	5.97	1.05	1.55	0.61						
0.50	7.93	31.68	2.20	9.02	1.32	2.35	0.76	0.72	0.47				
0.60	9.51	44.40	2.64	12.65	1.58	3.29	0.91	1.01	0.56				
0.70	11.10			16.83	1.84	4.38	1.06	1.34	0.65				
0.80	12.68			21.55	2.10	5.61	1.21	1.71	0.74				
0.90	14.27			26.80	2.37	6.98	1.36	2.13	0.84	0.66	0.52		
1.00	15.85			32.58	2.63	8.49	1.51	2.59	0.93	0.81	0.58		
1.20	19.02					11.89	1.82	3.63	1.12	1.13	0.69		
1.40	22.19					15.82	2.12	4.83	1.30	1.51	0.81	0.48	0.50
1.60	25.36					20.26	2.42	6.19	1.49	1.93	0.92	0.59	0.57
1.80	28.53					25.20	2.73	7.69	1.67	2.40	1.04	0.73	0.64
2.00	31.70							9.35	1.86	2.82	1.15	0.89	0.71
2.20	34.87							11.16	2.05	3.48	1.27	1.06	0.78
2.40	38.04							13.11	2.23	4.09	1.38	1.24	0.85
2.60	41.21							15.20	2.42	4.74	1.50	1.44	0.92
2.80	44.38							17.44	2.60	5.44	1.61	1.66	0.99
3.00	47.55									6.18	1.73	1.88	1.08
3.25	51.51									7.17	1.87	2.18	1.15
3.50	55.48									8.22	2.02	2.50	1.24
3.75	59.44									9.34	2.16	2.84	1.33
4.00	63.40									10.53	2.31	3.21	1.41
4.25	67.36									11.78	2.45	3.59	1.50
4.50	71.33									13.10	2.59	3.99	1.59
4.75	75.29											4.41	1.68
5.00	79.25											4.85	1.77
5.25	83.21											5.30	1.86
5.50	87.18											5.78	1.95
5.75	91.14											6.28	2.03
6.00	95.10											6.79	2.12
6.25	99.06											7.33	2.21
6.50	103.03											7.88	2.30
6.75	106.99											8.45	2.39
7.00	110.95											9.04	2.48
7.25	114.91											9.64	2.56

Pc = Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100 m de tubería
V = Velocidad en metros por segundo (m/s)
C = 154

CALCULO EN BASE A DIAMETROS INTERNOS DE TUBERIA BAJA PRESION

PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN PARA TUBERÍAS DE P.V.C
(Formúla De Hazen-Williams)
USO AGRÍCOLA

D Nominal		75		90		110		125		140		160	
Caudal		Pc	V										
lps	gpm												
3.0	48	0.81	0.75	0.33	0.52								
3.5	55	1.07	0.87	0.44	0.61								
4.0	63	1.37	1.00	0.57	0.70								
4.5	71	1.71	1.12	0.71	0.78								
5.0	79	2.08	1.25	0.86	0.87								
5.5	87	2.48	1.37	1.02	0.96	0.37	0.63						
6.0	95	2.91	1.50	1.20	1.04	0.43	0.69						
6.5	103	3.38	1.62	1.40	1.13	0.50	0.74						
7.0	111	3.87	1.75	1.60	1.22	0.58	0.80	0.31	0.62				
7.5	119	4.40	1.87	1.82	1.30	0.65	0.86	0.35	0.66				
8.0	127	4.96	2.00	2.05	1.39	0.74	0.91	0.40	0.71				
8.5	135	5.55	2.12	2.29	1.48	0.83	0.97	0.44	0.75				
8.6	136	5.67	2.15	2.34	1.49	0.84	0.98	0.45	0.78	0.26	0.60		
8.7	138	5.79	2.17	2.40	1.51	0.86	0.99	0.46	0.77	0.26	0.61		
8.8	139	5.92	2.20	2.45	1.53	0.88	1.00	0.47	0.78	0.27	0.62		
9.0	143	6.17	2.25	2.55	1.56	0.92	1.03	0.49	0.80	0.28	0.63		
10.0	159			3.10	1.74	1.12	1.14	0.60	0.88	0.34	0.70		
11.0	174			3.70	1.91	1.33	1.26	0.71	0.97	0.41	0.77	0.21	0.59
12.0	190			4.35	2.09	1.56	1.37	0.84	1.06	0.48	0.84	0.25	0.65
13.0	206			5.04	2.26	1.81	1.48	0.97	1.15	0.56	0.91	0.29	0.70
14.0	222			5.78	2.43	2.08	1.60	1.12	1.24	0.64	0.98	0.34	0.76
15.0	238			6.57	2.61	2.36	1.71	1.27	1.33	0.72	1.05	0.38	0.81
16.0	254					2.66	1.83	1.43	1.41	0.82	1.12	0.43	0.86
18.0	285					3.31	2.06	1.78	1.59	1.02	1.27	0.53	0.97
20.0	317					4.03	2.28	2.16	1.77	1.23	1.41	0.65	1.08
22.0	349					4.80	2.51	2.58	1.95	1.47	1.55	0.77	1.19
24.0	380					5.64	2.74	3.03	2.12	1.73	1.69	0.91	1.30
26.0	412							3.51	2.30	2.01	1.83	1.06	1.40
28.0	444							4.03	2.48	2.30	1.97	1.21	1.51
30.0	476							4.58	2.65	2.62	2.11	1.38	1.62
32.0	507									2.95	2.25	1.55	1.73
34.0	539									3.30	2.39	1.73	1.83
36.0	571									3.67	2.53	1.93	1.94
38.0	602									4.05	2.67	2.13	2.05
40.0	634											2.34	2.16
42.0	666											2.56	2.27
44.0	697											2.80	2.37
46.0	729											3.04	2.48
48.0	761											3.28	2.59
50.0	793											3.54	2.70
52.0	824											3.81	2.81
54.0	858											4.09	2.91

Pc = Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100 m de tubería
V = Velocidad en metros por segundo (m/s)
C = 150

CALCULO EN BASE A DIAMETROS INTERNOS DE TUBERIA BAJA PRESION



PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN PARA TUBERIAS DE P.V.C.
(Formula De Hazen-Williams)

POLITÉCNICA DEL LITORAL
CIB - ESPOL

USO AGRICOLA

D Nominal (mm)		200		225		250		315		355		400	
Caudal		Pc	V										
lps	gpm												
20	317	0.22	0.69										
22	349	0.26	0.76										
24	380	0.31	0.83										
26	412	0.35	0.90	0.20	0.71								
28	444	0.41	0.97	0.23	0.76								
30	476	0.46	1.03	0.26	0.82								
35	555	0.61	1.21	0.35	0.95	0.21	0.77						
40	634	0.79	1.38	0.44	1.09	0.27	0.88						
45	713	0.98	1.55	0.55	1.23	0.33	0.99						
50	793	1.19	1.72	0.67	1.36	0.40	1.11	0.13	0.70				
55	872	1.42	1.90	0.80	1.50	0.48	1.22	0.16	0.76				
60	951	1.67	2.07	0.94	1.63	0.56	1.33	0.18	0.83				
65	1,030	1.93	2.24	1.09	1.77	0.66	1.44	0.21	0.90				
70	1,110	2.22	2.41	1.25	1.91	0.75	1.55	0.24	0.97	0.14	0.77		
75	1,189	2.52	2.59	1.42	2.04	0.85	1.66	0.28	1.04	0.15	0.82		
80	1,268	2.84	2.76	1.60	2.18	0.96	1.77	0.31	1.11	0.17	0.88		
85	1,347			1.79	2.32	1.08	1.88	0.35	1.18	0.19	0.93		
87	1,379			1.87	2.37	1.12	1.92	0.36	1.21	0.20	0.95		
89	1,411			1.95	2.42	1.17	1.97	0.38	1.24	0.21	0.97	0.12	0.77
90	1,427			1.99	2.45	1.20	1.99	0.39	1.25	0.22	0.99	0.12	0.78
92	1,458			2.07	2.51	1.25	2.03	0.40	1.28	0.23	1.01	0.13	0.79
94	1,490			2.16	2.56	1.30	2.08	0.42	1.31	0.23	1.03	0.13	0.81
96	1,522			2.24	2.61	1.35	2.12	0.44	1.33	0.24	1.05	0.14	0.83
98	1,553					1.40	2.17	0.45	1.36	0.25	1.07	0.14	0.85
100	1,585					1.46	2.21	0.47	1.39	0.26	1.09	0.15	0.86
102	1,617					1.51	2.25	0.49	1.42	0.27	1.12	0.15	0.88
104	1,648					1.56	2.30	0.51	1.45	0.28	1.14	0.16	0.90
106	1,680					1.62	2.34	0.52	1.47	0.29	1.16	0.16	0.91
108	1,712					1.68	2.39	0.54	1.50	0.30	1.18	0.17	0.93
110	1,744					1.74	2.43	0.56	1.53	0.31	1.20	0.18	0.95
120	1,902					2.04	2.65	0.66	1.67	0.37	1.31	0.21	1.04
130	2,061							0.77	1.81	0.43	1.42	0.24	1.12
140	2,219							0.88	1.95	0.49	1.53	0.27	1.21
160	2,536							1.12	2.22	0.63	1.75	0.35	1.38
180	2,853							1.40	2.50	0.78	1.97	0.44	1.55
200	3,170							1.70	2.78	0.95	2.19	0.53	1.73
220	3,487									1.13	2.41	0.63	1.90
240	3,804									1.33	2.63	0.74	2.07
260	4,121											0.86	2.24
280	4,438											0.99	2.42
300	4,755											1.13	2.59
320	5,072											1.27	2.76

Pc = Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100 m de tubería
V = Velocidad en metros por segundo (m/s)
C = ISO

CALCULO EN BASE A DIAMETROS INTERNOS DE TUBERIA BAJA PRESION

APÉNDICE K

FACTOR DE FRICCIÓN ft

Díámetro nominal	mm	15	20	25	32	40	50	65,80
	pulg	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/4, 3
Factor de fricción (f_T)		0,027	0,025	0,023	0,022	0,021	0,019	0,018

Díámetro nominal	mm	100	125	150	200.250	300.400	450.600
	pulg	4	5	6	8,10	12,16	18,24
Factor de fricción (f_T)		0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,012



APÉNDICE L

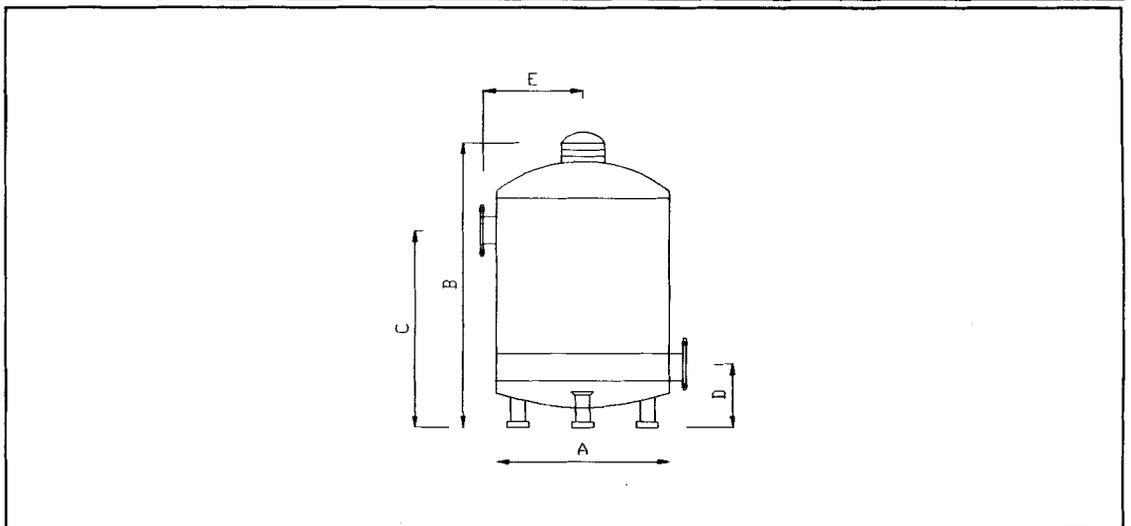
FILTRO DE GRAVA

Medida Nominal	Diámetro tanque (mm)	Entrada & salida (mm)	Rango de flujo (m3/h)	Profundidad de cama (mm)	Volumen de cama (litros)	Volumen del tanque (litros)
2" / 16"	400	40 ó 50	6-10	500	65	90
2" / 20"	500	50	10-18	500	100	150
3" / 30"	750	80	15-35	400	175	350
3" / 36"	900	80	30-50	400	270	493
4" / 48"	1200	100	50-90	400	450	937

Máxima presión de trabajo 10 bar
 Presión de prueba 16 bar
 Máxima temperatura 60° C

DIMENSIONES

	16"	20"	30"	36"	48"
A	406	508	750	900	1200
B	1100	1200	1125	1125	1080
C	840	880	1100	1100	1100
D	150	180	196	196	365
E	230	282	430	507	655



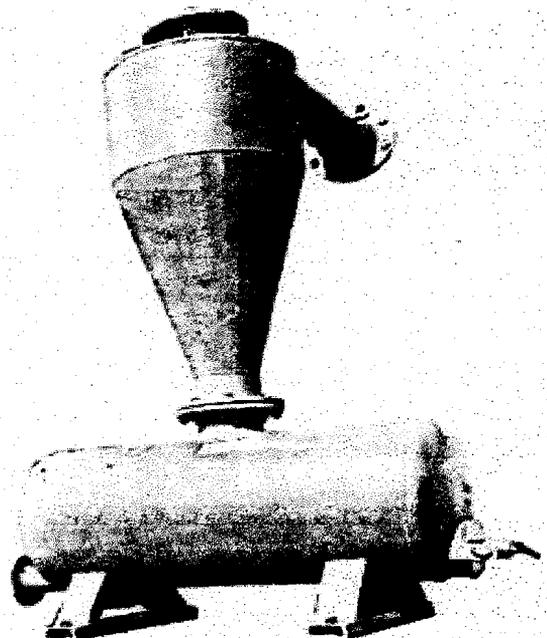
APÉNDICE M
HIDROCICLÓN

Entrada / Salida (pulgadas)	Flujo recomendado (m3/h)	Capacidad standard bajo flujo (litros)	Peso de la cámara (Kg) *	Volumen total aproximado (m3) *
3/4	2 - 3.5	2	8	0.02
1	3.5 - 7.5	2	9	0.02
1,5	7.5 - 12	5**	18	0.06
2	11 - 17	5**	20	0.08
3	18 - 34	5**	27	0.08
4x3	35 - 52	60	66	0.60
4	52 - 82	120	90	1.10
6	98 - 160	220	172	1.35
6	140 - 230	220	205	1.75
8	230 - 360	220	240	2.00

• Incluye la cámara bajo flujo

** Opción - 10 litros

Hydrocyclone



APÉNDICE N

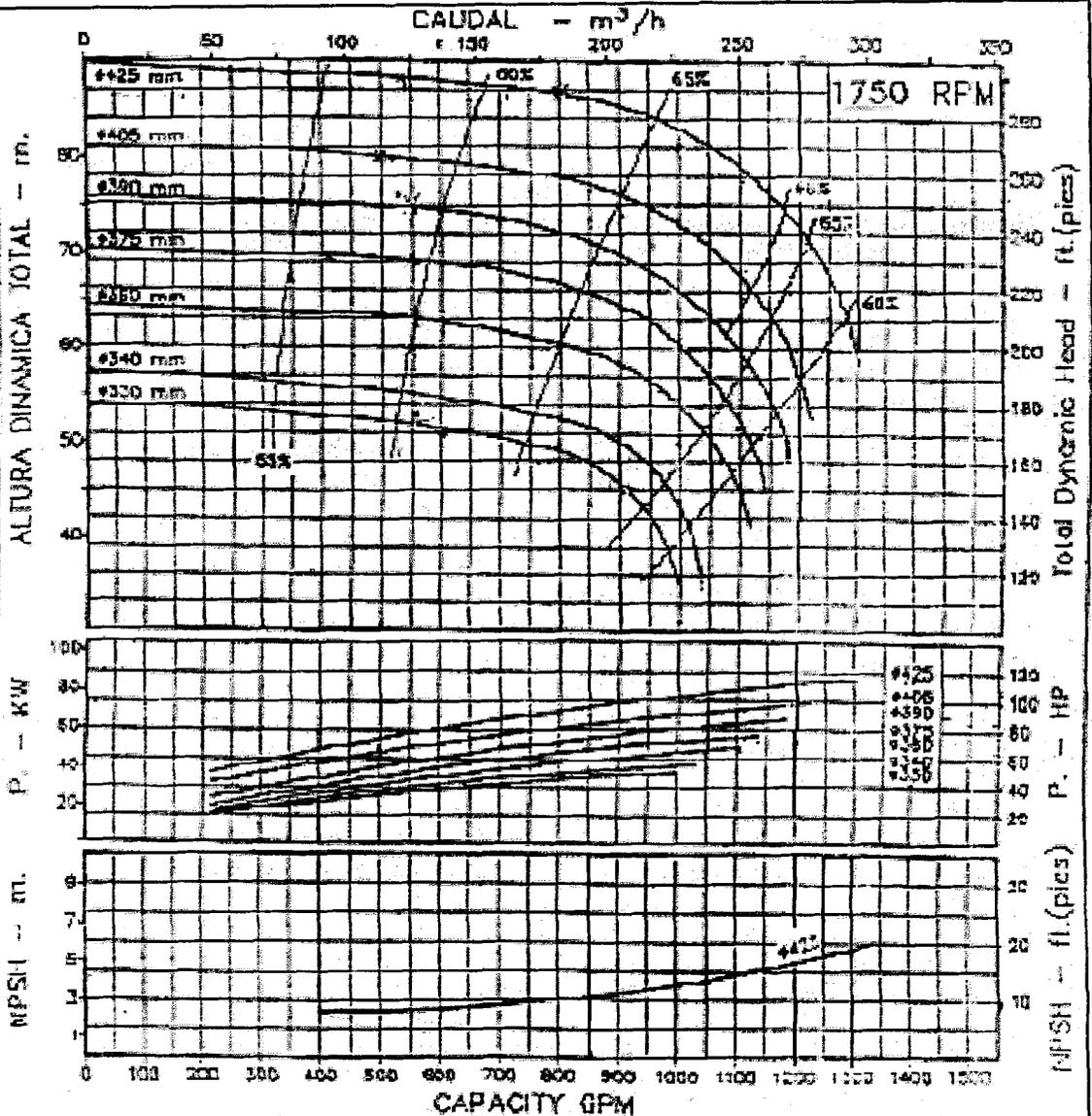
CAUDAL, PRESIÓN, EFICIENCIA, O DEL IMPELER, NPSH



BOMBA CENTRIFUGA USO GENERAL
"EUROLINEA"
EJE LIBRE

Version: PE - 5M
Rotor: Variable
φ Max. Partículas: 16 mm
Potencia: VARIABLE

MODELO: 10x40
CONDICIONES: BRIDAS ASA 118-150
Succión: 5"
Descarga: 4"



Código: 9507100U
Revisión:
Fecha: AGOS-04-95

NOTAS:
1. Densidad del agua a 4°C: 1 gr/cm³
2. Curvas características a nivel del mar

Efficiencia Max.	gpm
Altura Max.	m
Efficiencia Max.	%

BIBLIOGRAFÍA



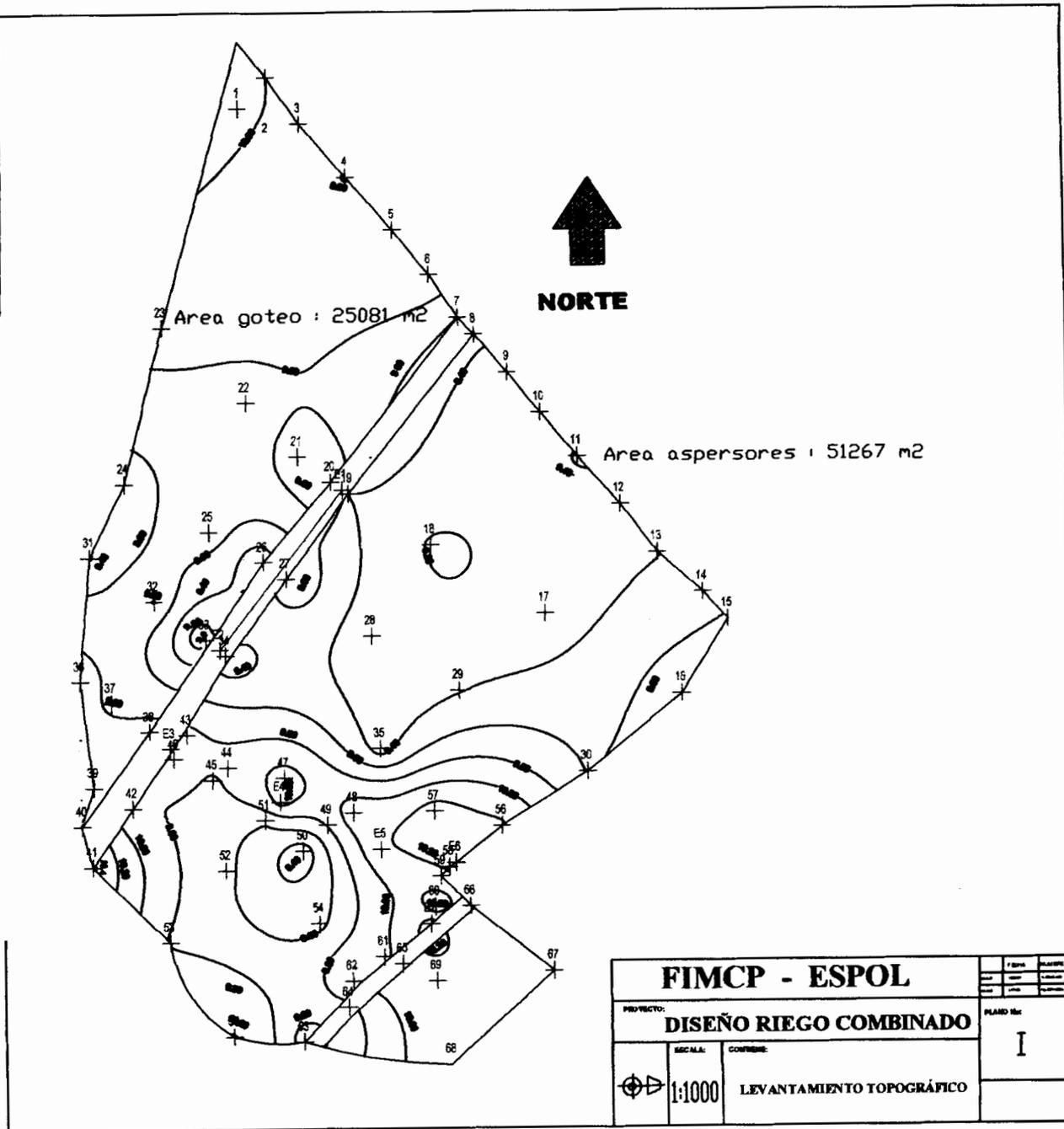
1. TOPOGRAFÍA ABREVIADA. Autor: Francisco Dominguez García-Tejero. 12^ava. edición. Ediciones Mundi- Prensa
2. EDAFOLOGÍA. Autor: José M. Albareda Herrera y Angel Hoyos De Castro. Talleres Gráficos Montaña – Madrid
3. RIEGO POR GOTEO. Autor: Florencio Rodriguez Suppo. Ediciones AGT
4. HORTICULTURA. Autor: R. Gordon Halfacre y John A. Barden. Ediciones AGT
5. TOPOGRAFÍA. Autor: Alvaro Torres y Eduardo Villate
6. EL RIEGO POR GOTEO – Conceptos, Sistemas, Características.
Autor: Ing. Sholmo Armoni

7. NOTAS DE RIEGOS Y DRENAJES – Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Autor: Ing. Marcelo Espinosa L. M.Sc., M.A.E.
8. SISTEMAS DE RIEGO Y DRENAJE – Círculo Alfa – Omega
9. IMPACT SPRINKLER REFERENCE GUIDE – Irridelco
10. AGRICULTURAL IMPACT SPRINKLERS – Nelson
11. NOTAS DIVISIÓN AGRÍCOLA – Plastigama
12. MICROSOFT ENCARTA – Biblioteca de Consulta 2003
13. PAGINA WEB www.compo.es-agricultura-cultivos-hortalizas-index.asp.url





PLANOS



SIMBOLOGÍA

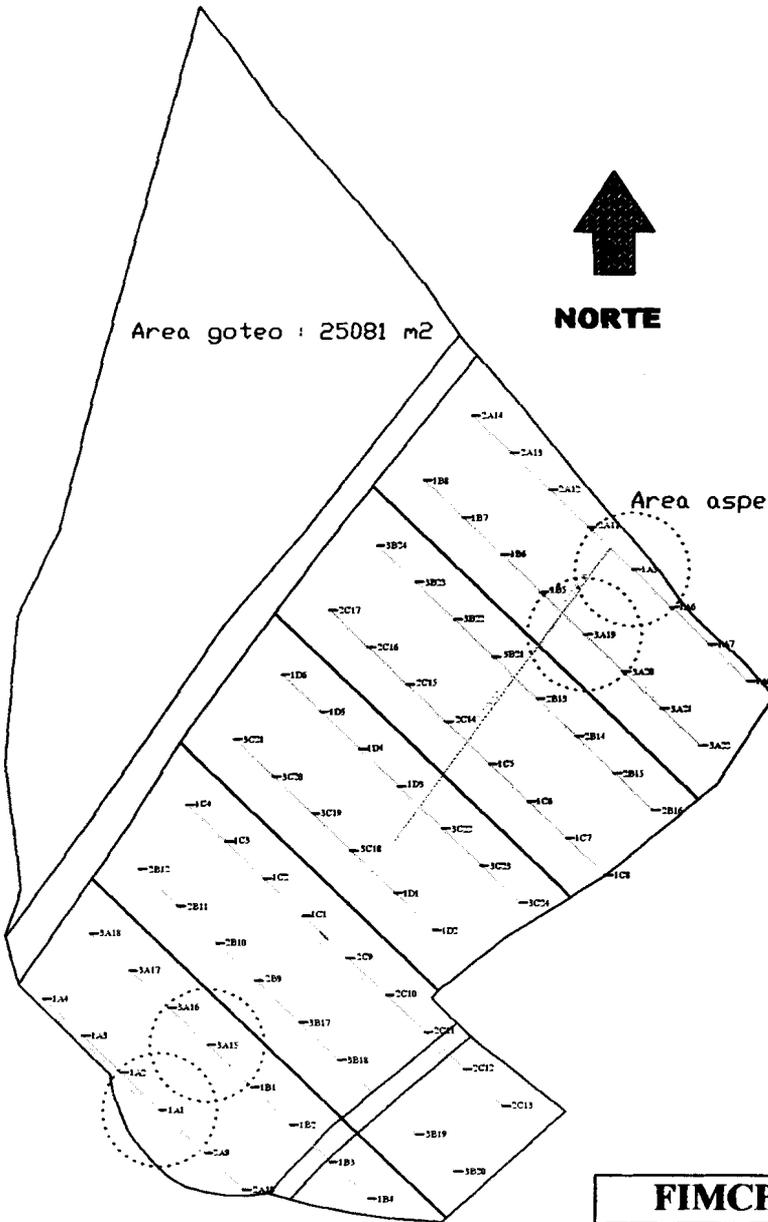
-  Tubería PVC Ø 200 mm
-  Tubería PVC Ø 140 mm
-  Tubería PVC Ø 125 mm
-  Tubería PVC Ø 110 mm
-  Tubería PVC Ø 90 mm
-  Tubería PVC Ø 75 mm
-  Tubería PVC Ø 63 mm



NORTE

Area goteo : 25081 m²

Area aspersores : 51267 m²



FIMCP - ESPOL		FECHA:	ELABORÓ:
PROYECTO:		REVISÓ:	APROBÓ:
DISEÑO RIEGO COMBINADO		PLANO No:	
		II	
ESCALA:	CONTIENE:		
 1:1000	DISEÑO RIEGO POR ASPERSION 1		



SIMBOLOGÍA

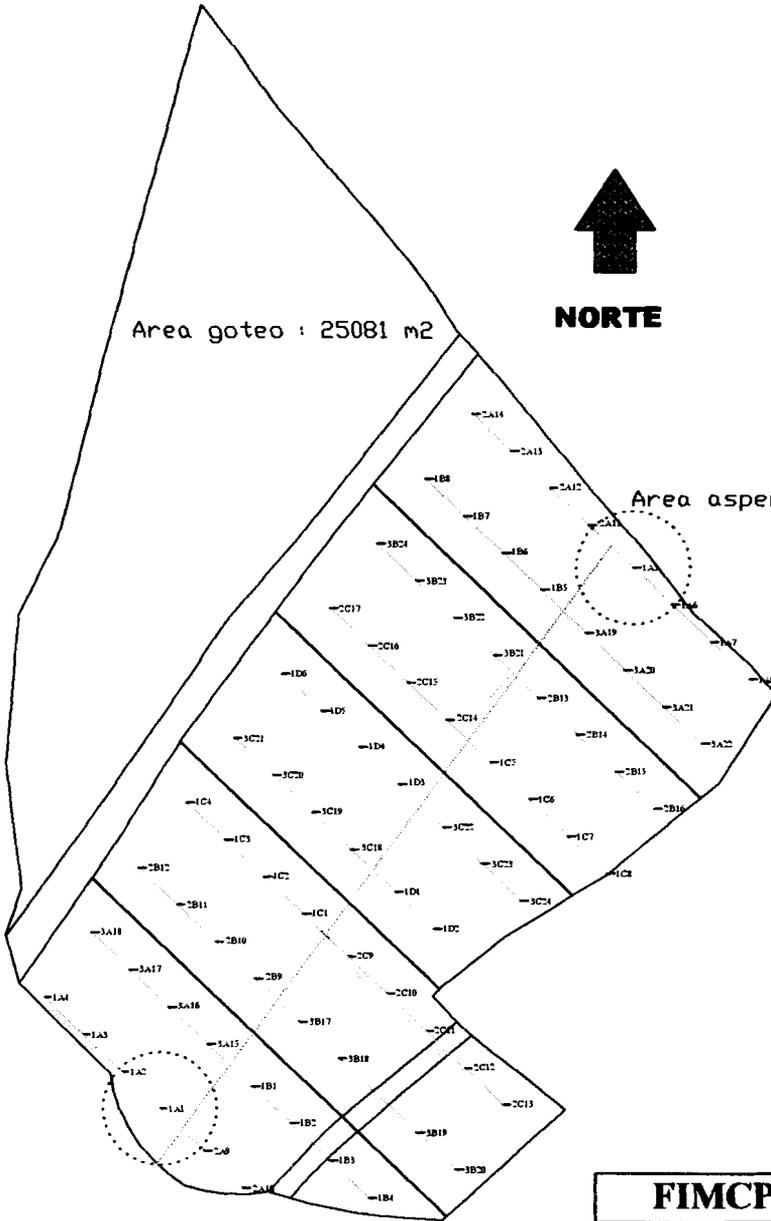
- Tuberia PVC Ø 200 mm
- Tuberia PVC Ø 140 mm
- Tuberia PVC Ø 125 mm
- Tuberia PVC Ø 110 mm
- Tuberia PVC Ø 90 mm
- Tuberia PVC Ø 75 mm
- Tuberia PVC Ø 63 mm



NORTE

Area goteo : 25081 m²

Area aspersores : 51267 m²



FIMCP - ESPOL		F. DISEÑO	F. PLANO
PROYECTO:		PLANO No:	
DISEÑO RIEGO COMBINADO		III	
ESCALA:	CONTIENE:		
1:1000	DISEÑO RIEGO POR ASPERSION 2		



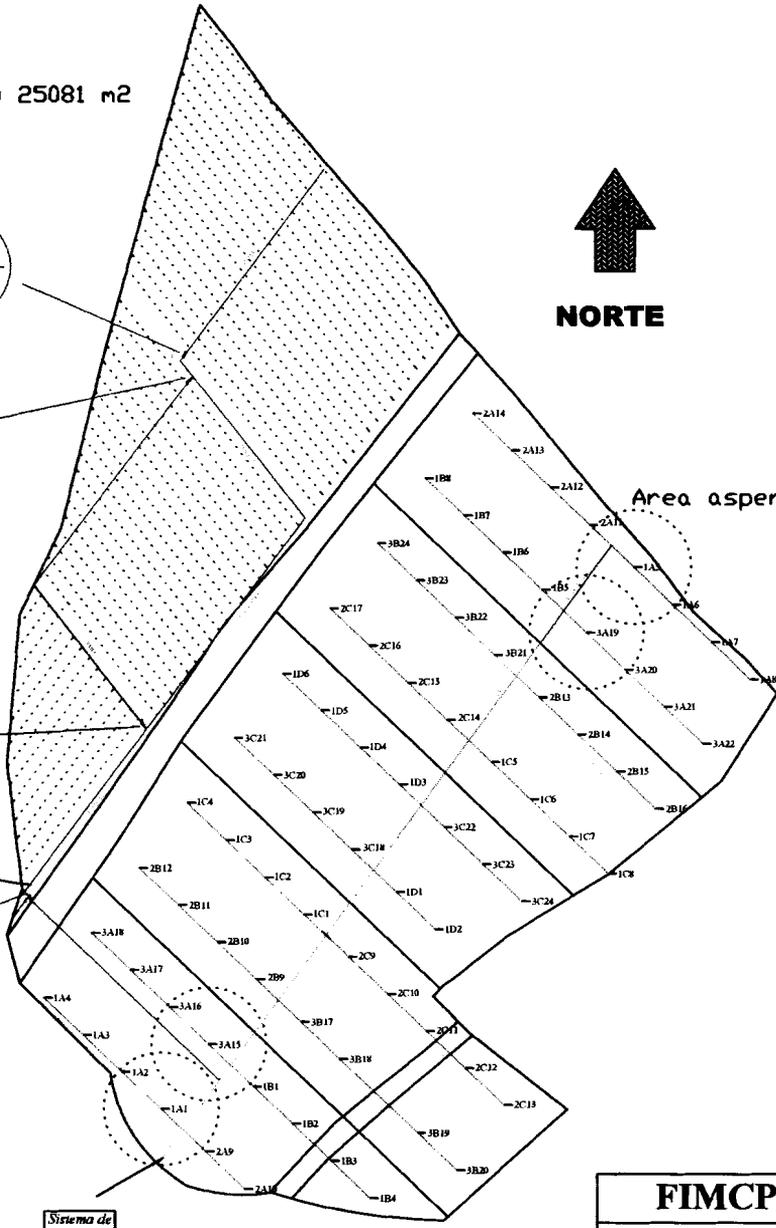
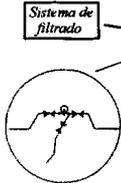
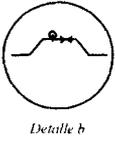
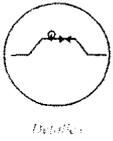
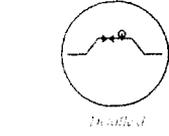
Area goteo : 25081 m²

SIMBOLOGÍA

-  Tubería PVC Ø 200 mm
-  Tubería PVC Ø 140 mm
-  Tubería PVC Ø 125 mm
-  Tubería PVC Ø 110 mm
-  Tubería PVC Ø 90 mm
-  Tubería PVC Ø 75 mm
-  Tubería PVC Ø 63 mm
-  Válvula de compuerta
-  Manómetro



Area aspersores : 51267 m²



Sistema de filtrado

Sistema de bombeo

FIMCP - ESPOL		Escala:	Contiene:
PROYECTO:		PLANO No:	
DISEÑO RIEGO COMBINADO		IV	
ESCALA:	CONTIENE:		
 1:1000	DISEÑO RIEGO COMBINADO (ASPERSION Y GOTEO)		

