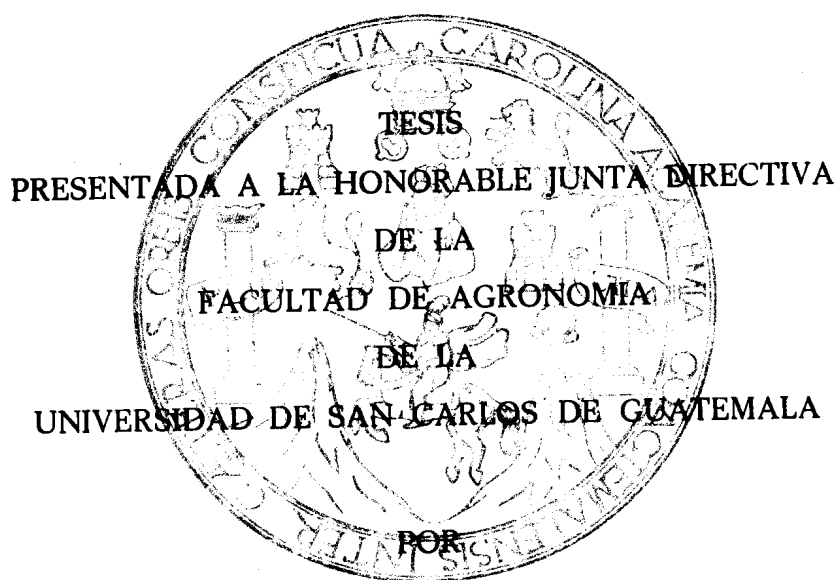


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**DISEÑO DE DOS SISTEMAS DE RIEGO (ASPERSION Y GOTEO)
PARA EL CAMPO EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**



JORGE ENRIQUE SANDOVAL ILLESCAS

EN EL ACTO DE SU INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO
En el Grado Académico de
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, DICIEMBRE DE 1977

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. Roberto Valdeavellano Pinot

JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE AGRONOMIA

Decano en Funciones:	Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
Vocal 1o.:	
Vocal 2o.:	Dr. Antonio Sandoval S.
Vocal 3o.:	Ing. Agr. Sergio Mollinedo
Vocal 4o.:	P.A. Laureano Figueroa
Vocal 5o.:	P.A. Carlos H. Leonardo L.
Secretario:	Ing. Agr. Leonel Coronado C.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Agr. Rodolfo Estrada
Examinador:	Ing. Agr. Oscar González
Examinador:	Ing. Agr. Ernesto González
Examinador:	Ing. Agr. Sergio Mollinedo
Secretario:	Ing. Agr. Leonel Coronado C.

GUATEMALA,
28 de noviembre de 1977.

Ing. Agr. Rodolfo Estrada González,
Decano en funciones de la
Facultad de Agronomía
Presente.

Señor Decano:

En atención al nombramiento recibido de esa Decanatura, me permito informar a usted que he asesorado y revisado el trabajo de Tesis titulado: "DISEÑO DE DOS SISTEMAS DE RIEGO (ASPERSION Y GOTEO) PARA EL CAMPO EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA", desarrollado por el Perito Agrónomo Jorge Enrique Sandoval Illescas.

Dicho trabajo, a mi juicio, llena todos los requisitos necesarios para ser presentado como Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo, y constituye además un aporte para la Facultad de Agronomía, para hacer más eficiente y objetiva la docencia en el campo de la Ingeniería Agrícola.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Oscar A. González H.
Asesor

GUATEMALA, Diciembre de 1977

Honorable Junta Directiva.
Honorable Tribunal Examinador.

De acuerdo con las nórmas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, someto a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

"DISEÑO DE DOS SISTEMAS DE
RIEGO (ASPERSION Y GOTEIO)
PARA EL CAMPO EXPERIMENTAL
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA"

Con el propósito de llenar el último requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Respetuosamente,

Jorge Enrique Sandoval Illescas

TESIS QUE DEDICO

- A Dios
- A mi patria GUATEMALA
- A la Facultad de Agronomía de la
Universidad de San Carlos de Guatemala
- Al Instituto Técnico de Agricultura
- Al Ing. Agr. Oscar González

ACTO QUE DEDICO

A mis Padres: Julio Sandoval Cruz
Guillermina Illescas de Sandoval

A mi Esposa: Blanca Margoth

A mi hija: Elisa Margarita

A mis hermanos: Alicia (Q.E.P.D.)

Esperanza

Dora

Irma

Guillermo

Delia

Jethroo

A Don Abelardo Girón

A mis Amigos

AGRADECIMIENTO

- Al Ing. Agr. Oscar González, por sus valiosos consejos, asesoramiento y revisión del presente trabajo.
- Al Ing. Agr. Julio Sandoval, por las sugerencias y ayuda en esta tesis.
- Al Ing. Agr. Cesar Cisneros y Carolina de Cisneros, por su colaboración.
- A todas las personas que en una u otra forma colaboraron.

INDICE GENERAL

	PAGINA
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE GRAFICAS	v
INDICE DE PLANOS	vi
1.- INTRODUCCION	1
2.- GENERALIDADES	2
2.1. Descripción general y partes básicas de un sistema de riego por goteo	2
2.2. Ventajas y desventajas del riego por goteo ...	5
2.3. Descripción general y partes básicas de un sistema de riego por aspersión	9
2.4. Ventajas y desventajas del riego por as- persión	10
3.- ESTUDIOS PREVIOS	12
3.1. Estudio topográfico	12
3.2. Estudio climatológico	12
3.3. Estudios de suelos	14
3.4. Disponibilidad y calidad de agua	21
3.5. Consumo de agua o evapotranspiración	22
3.6. Balance hidrológico para el cálculo de requerimiento de riego	25
4.- DISEÑO DE RIEGO POR ASPERSION	27
4.1. Factores de prediseño	27
4.1.1 Información básica	27
4.1.2 Lámina de humedad aprovechable	27
4.1.3 Lámina de riego neta (Ln)	28
4.1.4 Requerimiento de riego	28
4.1.5 Capacidad del sistema	29
4.1.6 Frecuencia de riego	30
4.1.7 Tipo de rociador	31

4.2. Tubería principal y lateral	31
4.2.1. Selección de la posición más adecuada de la tubería principal y lateral en el terreno	31
4.2.2. Espaciamiento entre laterales y entre rociadores	32
4.2.3. Características del rociador	35
4.2.4. Diámetro de la tubería lateral	36
4.2.5. Diámetro de la tubería principal	36
4.2.6. Presión que se requiere en el lateral	37
4.2.7. Potencia necesaria	37
4.2.8. Estimación de costos	40
4.2.9. Consideraciones sobre operación del sistema de riego por aspersión	41
5.- DISEÑO DE RIEGO POR GOTEO	42
5.1. Factores de prediseño	42
5.1.1. Cultivos y suelos	42
5.1.2. Determinación del porcentaje a humedecer en el área total (P)	42
5.1.3. Lámina de aplicación neta	49
5.1.4. Lámina bruta de riego	49
5.1.5. Intervalo y duración del riego	50
5.1.6. Capacidad del sistema	51
5.2. Diseño de lateral	51
5.2.1. Pérdidas de carga permisibles	52
5.2.2. Pérdidas de carga en el lateral	53
5.2.3. Longitud del lateral	53
5.2.4. Número de goteros por lateral	54
5.2.5. Diámetro del lateral	54

5.3. Diseño de tubo múltiple (manifold)	56
5.3.1 Caudal (Q_m) y longitud (L_m) del tubo múltiple	56
5.3.2 Diámetro del tubo múltiple	57
5.3.3 Determinación del coeficiente de uniformidad UES para la subunidad	59
5.3.4 Diseño de cabeza de control y tubería principal	62
5.3.5 Estimación de costos de riego por goteo	64
5.3.6 Consideraciones sobre operación del sistema de riego por goteo	65
6.- DEPOSITO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA	66
7.- RESUMEN DE COSTOS	68
8.- CONCLUSIONES	69
9.- RECOMENDACIONES	70
10.- BIBLIOGRAFIA	71

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
1.	Datos climatológicos	13
2.	Características físicas y de retención de humedad del suelo	14
3.	Cálculo de la evapotranspiración actual o consumo de agua	24
4.	Balance hidrológico para cálculo de re- querimiento de riego	26
5.	Alternativas para espaciamientos entre laterales y entre rociadores	34
6.	Pérdidas por fricción en ríes por cada 100 pies de tubería lateral portátil de aluminio y sus uniones considerando tubos de 30 pies	38
7.	Factor "F" para calcular pérdidas por fricción en tubería con salidas múlti- ples	39
8.	Pérdida de carga por fricción en tubo semirrígido de plástico utilizado para riego	39
9.	Porcentaje de área a ser mojada "P"	47
10.	Resumen de alternativas para cálculo de "P"	48
11.	Coefficiente de reducción F para tubería de múltiples salidas	57

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica No.	Página
1. Curvas de retención de humedad para el suelo del terreno destinado a riego por goteo	15
2. Curvas de retención de humedad para el suelo del terreno destinado a riego por aspersión	16
3. Lámina de infiltración acumulada	19
4. Gráfica para determinar la infiltración <u>básica</u> en función de K y n ...	20
5. Nomograma para el diseño de laterales.	55
6. Pérdidas de carga en tubería rígida de polietileno o poliducto, para varios diámetros, para diseñar tuberías <u>múltiples</u> (manifold) y línea principal en riego por goteo	58
7. Relación entre los exponentes de <u>descarga</u> y las pérdidas de carga para varios emisores	61

PLANOS

PLANO No. 1	Area disponible para riego
PLANO No. 2	Area para riego por goteo
PLANO No. 3	Area para riego por aspersión

1.- INTRODUCCION

Tomando en cuenta que la docencia y la investigación son dos de las funciones de más importancia que debe desempeñar la facultad de Agronomía y que dentro de los recursos físicos - con que se cuenta, se encuentra un área destinada actualmente para el desarrollo de prácticas de campo donde se ha planificado instaurar el campo experimental, es de vital importancia la implementación de un sistema de riego que permita desarrollar actividades durante todo el año; aprovechando la disponibilidad de agua existente proveniente del pozo situado en la facultad de Ingeniería. El presente trabajo plantea el diseño y la posibilidad de implementar dicha área con dos sistemas de riego, un sistema de riego por aspersión para regar aproximadamente 3.5 Ha y un sistema de riego por goteo para 0.5 Ha a un costo de Q. 10,346.10.-

Ambos sistemas, considerados como los más eficientes en la aplicación del agua, además de servir como un apoyo para los trabajos de investigación podrán ser utilizados para que el estudiante de la facultad de Agronomía estudie en forma práctica la operación de ambos sistemas y se vincule con los problemas que se presentan en dicha operación.

Este trabajo persigue los siguientes objetivos:

1. Diseñar un sistema de riego por goteo y por aspersión, estableciendo el equipo y materiales necesarios, así como las normas de su operación y costos.
2. Plantear un procedimiento de diseño para ambos sistemas, que pueda servir como guía para futuros proyectos.

2.- GENERALIDADES

2.1 Descripción general y partes básicas de un sistema de riego por goteo.

En el sistema de riego por goteo, la aplicación de agua a las plantas se hace a través de emisores llamados goteros, los cuales se encuentran localizados en la tubería y muy cerca de la zona radicular de los cultivos. La descarga de agua es de poca intensidad, goteando el agua lentamente sobre el suelo, lo cual hace que se forme un cono de humedad que se expande lateralmente en el suelo.

Debido a que la descarga es pequeña en el gotero, la frecuencia de riego debe aumentarse para que la humedad se mantenga a niveles adecuados.

Lo que se persigue con este sistema es aplicar a los cultivos el agua que requieren, manteniendo la tensión de humedad del suelo a esfuerzos bajos, para que la planta tenga menos trabajo en extraer el agua; esto ahorra de energía lo usará la planta para otras de sus funciones biológicas, obteniéndose así una mejor producción en las cosechas.

En el sistema de riego por goteo no se mantiene humedecida toda el área del terreno, sino solo un porcentaje de la misma.

Las principales partes que componen el sistema son:

a) Fuente de abastecimiento de agua:

La fuente puede ser río, lago, canal, pozo, etc., de donde se va a tomar el agua a ser utilizada.

b) Estructura de control:

El objeto de la estructura de control es dar al sistema la presión conveniente de

trabajo y la cantidad de agua adecuada. La estructura de control puede ser una bomba - hidráulica o un depósito elevado.

c) Filtros:

Es muy importante filtrar el agua, ya que - casi siempre va sucia y como los orificios de los goteros son muy pequeños, entonces - pueden obstruirse, causando retrasos e ineficiencia en el riego.

d) Tanque fertilizador:

Es donde se mezcla el fertilizante que se - encuentra en una solución concentrada, con el agua en las dosis ya establecidas. Otros autores (2) le llaman cabezal al conjunto de filtro, fertilizador y estructura de control.

e) Tubería principal o secundaria (o sub-principal):

La tubería principal es la que conduce el agua desde el filtro y el fertilizador por el perímetro del área a regar; a esta tubería - principal va conectada la tubería secundaria que son tubos de menor diámetro y más ramificados. Generalmente esas tuberías son de - plástico (PVC o poliducto) aunque pueden ser de asbesto cemento, acero y aluminio.

f) Laterales:

También llamadas tuberías regantes o líneas de goteros, su diámetro es menor que el de la tubería principal y la secundaria. Generalmente va de 12 a 32 mm; van colocados los laterales a lo largo de las hileras de los cultivos. El material usado para estas tuberías es PVC o polietileno negro.

g) Goteros:

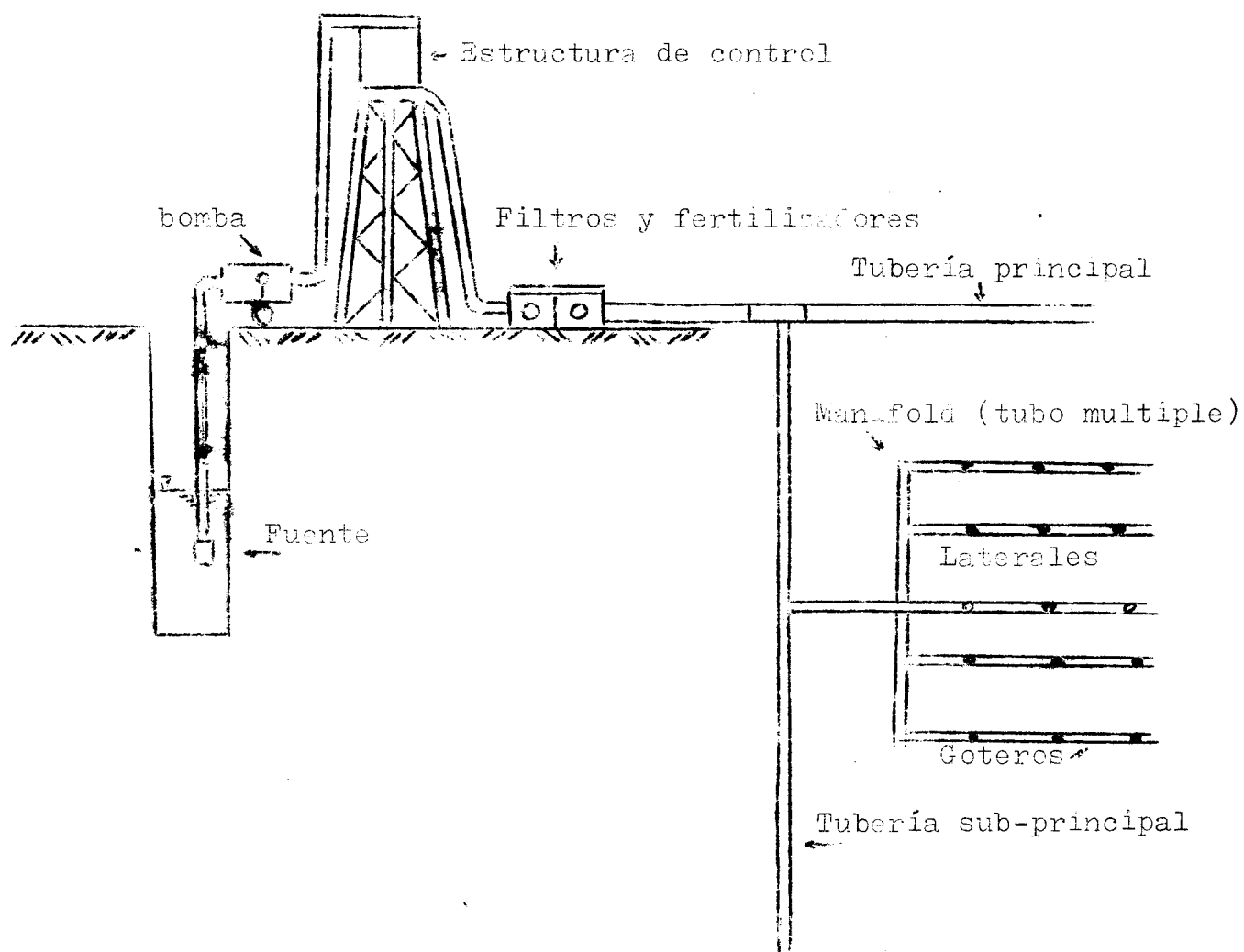
Los goteros o emisores van insertados en la tubería lateral, su objeto es disminuir la ve

locidad del agua para darle a la planta en forma de gotas, teniendo así un caudal muy pequeño que se expresa en litros-hora generalmente. El material con que se fabrican generalmente es PVC, - aunque hay de polietileno, ABS y otros menos usados. Existen unos de goteros de fricción y de orificio, los cuales a su vez pueden ser de regulación automática o manual. Las investigaciones tienden a lograr un tipo de gotero que mantenga una descarga constante y que no se obstruya. La presión a la que trabajan los goteros es baja en relación al sistema de riego por aspersión, en forma general es de una atmósfera más o menos.

h) Accesorios:

Entre los complementos del sistema se deben considerar los codos, tees, tapones, reguladores - de presión, valvulas, etc., que deben considerarse en los cálculos y costos del sistema. La red del sistema puede ir en la superficie del suelo, o ser sub-superficial, prefiriéndose el primero por economía y menos problemas de obstrucción.

DIAGRAMA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO



2.2 Ventajas y desventajas del riego por goteo.

Ventajas

a) La eficiencia del uso del agua aumenta.

Este sistema tiene menos pérdida de agua que el resto de los sistemas conocidos. Los métodos de riego de gravedad, por ejemplo, tienen pérdidas por conducción y aplicación, que sumadas pueden llegar a ser de 30 a 60 % (3), lo que da una eficiencia total de riego de 34 a 70 % en proyectos planeados, diseñados y operados correctamente. En el riego por aspersión existen pérdidas por evaporación que pueden ser del 5 al 40 % - del agua aplicada (6); en riego por goteo las pérdidas que existen en los casos mencionados - anteriormente son mínimas, no sobrepasan el 10%, lo que da una eficiencia del sistema mayor del 90%; de allí se deriva su gran utilidad en lugares donde el agua es bastante escasa o su obtención es muy costosa.

b) Solo un porcentaje del área total es humedecida.

Con este sistema no se riega toda el área de cultivo, sino que solo la parte en la cual se encuentra el sistema radicular de las plantas, quedando entonces partes del terreno sin humedecer. Con esto se tiene un ahorro de agua, ya que no se está mojando terreno innecesariamente. Además no se proporciona agua ni fertilizante a las malas hierbas, por lo que se inhibe el desarrollo de éstas en el cultivo evitando así la competencia. Otra ventaja de humedecer parcialmente el área del cultivo es que pueden realizarse labores culturales por no haber encharcamientos como sucede en otros tipos de riego.

c) No hay escurrimiento superficial.

Debido a que las láminas de agua aplicadas son sumamente pequeñas, alrededor de un mm/hora (2), el

agua no escurra superficialmente como ocurre con los otros sistemas, evitando así erosionar el suelo.

- d) Se mantiene la humedad del suelo a tensiones bajas.

El nivel de humedad se mantiene a capacidad de campo o muy cerca de éste nivel, por lo que las plantas tienen que hacer poco esfuerzo para tomar el agua del suelo que se encuentra retenida a tensiones bajas.

El ahorro de energía que tiene la planta, lo usa para otras de sus funciones, obteniéndose rendimientos más altos y de mejor calidad.

- e) El agua no toca el sistema foliar.

Esto tiene la ventaja de no crear medios adecuados para el desarrollo de hongos sobre las hojas; además no se lavan los pesticidas que hayan sido aplicados en las hojas, ni se dañan las flores durante la época de floración, como suele suceder en riego por aspersión.

- f) Fertilización.

El fertilizante se aplica disuelto con el agua directamente en la zona de las raíces, poniéndolo de manera soluble y fácilmente aprovechable por la planta.

- g) El viento no afecta el diseño de este sistema como sucede con el riego por aspersión.

- h) Adaptabilidad a diversos terrenos.

Se puede adaptar el sistema a terrenos de topografía irregular y de diversos tamaños.

- i) Costo de operación.

El sistema opera con presión aproximadamente de una atmósfera, que es baja en relación a la presión con que trabaja el riego por aspersión, por lo que la potencia a usar es menor. También la mano de obra que se requiere es mínima, principalmente consiste en poner a funcionar el sistema,

abrir y cerrar válvulas y destapar goteros obstruídos.

Desventajas

a) Alta inversión inicial.

El equipo necesario para instalar el sistema es de costo más elevado que el de otros sistemas.

b) Taponamiento de goteros.

Debido a que el orificio en los goteros es tan pequeño y a que el sistema trabaja a bajas presiones, las impurezas del agua tienden a taponar el gotero. Este es uno de los problemas más corrientes en riego por goteo y aunque se filtre el agua algunos goteros se tapan.

A manera de ilustración se muestra a continuación resultados obtenidos en la comparación de 3 métodos de riego en diferentes cultivos aplicando la misma lámina de agua (4)

Cultivo	Período de crecimiento	Agua de riego aplicada en pulgadas	Rendimientos		
			Goteo	Aspersión	Surcos
			Toneladas/acre		
Tomate	Septiembre a Marzo	38.7	26.0	15.6	---
Pepino	Septiembre a Diciembre	26.4	19.6	ninguno	---
Melón	Agosto a Diciembre	25.8	17.2	9.6	9.6
Pimientos	Septiembre a Marzo	55.8	3.8	1.9	---
Maíz Dulce	Febrero a Mayo	26.6	4.9	2.1	---

2.3 Descripción general y partes básicas de un sistema de riego por aspersión.

Este sistema se basa en la conducción del agua a presión a través de tuberías, hasta un sistema de tuberías de riego portátiles, ligeras, de rápido acoplamiento, con aspersores colocados a intervalos regulares. Por medio de una adecuada selección de aspersores diseñados para operar a diversas presiones, espaciamientos y tamaños se puede obtener varias formas de distribución y diversas características de flujo que hacen que este sistema de riego, sea adaptable a una amplia gama de condiciones. Con este método de riego se logra una lluvia artificial, la cual puede controlarse tanto en el tiempo como en su intensidad.

En los últimos años el riego por aspersión se ha incrementado debido a las mejoras e innovaciones que ha experimentado. En la actualidad es posible diseñar sistemas de riego por aspersión para una gran cantidad de condiciones y para casi todos los cultivos.

Las principales partes que componen el sistema son:

a) Fuente de abastecimiento de agua:

La fuente puede ser pozo, canal de riego, embalse, etc., de la cual se obtiene el agua a usar.

b) Unidad de bombeo:

La unidad de bombeo está constituida por la bomba y su respectivo motor. El objetivo del motor es dar presión al sistema, pudiendo ser sustituido por carga obtenida por diferencia de altura entre la fuente y los aspersores.

c) Tubería principal y sub-principal:

La finalidad de estas tuberías es conducir el agua de la fuente hacia la tubería lateral. El material de que generalmente se -

construyen es PVC o aluminio.

d) Tubería lateral:

Esta tubería es generalmente de menor diámetro que la principal y la sub-principal, en ésta tubería van colocados los aspersores. El material de que está construida es principalmente aluminio pero también puede ser PVC o solducto.

e) Aspersores:

Los aspersores están constituidos por boquilla y cuerpo del aspersor o mariposa. Su selección es clave para que el sistema funcione adecuadamente trabajan con presiones desde 0.35 Kg/cm^2 hasta 8.4 Kg/cm^2 (1).

f) Accesorios:

Los accesorios necesarios son codos, válvulas, manómetros, hidrantes, tees, tubos elevadores, tapones hidráulicos, niples, coplas, etc.

2.4 Ventajas y desventajas del riego por aspersión.

Ventajas

a) Puede usarse en terrenos de topografía irregular.

Cuando el terreno requiere excesiva nivelación para usar los sistemas de gravedad, los costos de esta nivelación son tan elevados que igualan o superan a la instalación del equipo aéreo. Además en terrenos con pendientes excesivas el riego por gravedad puede erosionar el suelo.

b) Eficiencia alta de riego en relación a los sistemas de gravedad.

Con este riego se puede obtener una aplicación uniforme y controlada, lo que da una eficiencia del sistema que excede generalmente al 75%. En un sistema bien diseñado ca-

si quedan eliminados los ancharcamientos y la infiltración profunda que puede provocar pérdidas por percolación.

- c) El riego puede programarse más fácilmente. De acuerdo a los requerimientos de las plantas, textura y profundidad del suelo. En esta forma los cultivos de raíces pequeñas pueden ser regados con ligeras y frecuentes aplicaciones y una alta uniformidad de distribución.

Desventajas

- a) La inversión inicial del equipo es alta. De manera general el costo inicial es alto en relación a los sistemas de gravedad, pero es más bajo que el sistema de riego por goteo. También debe considerarse el mantenimiento del equipo, desgaste y reparaciones.
- b) El viento afecta la distribución uniforme del agua. Debe considerarse el viento en el diseño porque éste distorsiona la uniformidad de distribución.
- c) Pérdida de agua por evaporación. Esta es mayor que en los otros sistemas de riego. Puede ser de 5 a 40 % del agua aplicada, si los riegos son frecuentes y livianos.
- d) El agua cae sobre el follaje. Esto es una desventaja porque puede crear en el follaje un medio adecuado para el desarrollo de hongos; además puede lavar pesticidas que haya sido aplicados al cultivo, también puede causar daños a las flores el impacto de las gotas.
- e) Limitaciones. El riego es efectivo, eficiente y económico si el sistema se opera en forma continua. En áreas de riego en las que el agua se entrega en cantidades grandes y por períodos limitados de tiempo, su uso no es llamativo.

3.- ESTUDIOS PREVIOS.

3.1 Estudio topográfico.

Para realizar el diseño de los dos sistemas de riego considerados en el presente trabajo se procedió a delimitar el área disponible para riego (plano No. 1) ubicándose un área de 0.55 Ha. para instalar el sistema de riego por goteo y 3.4 Ha para riego por aspersión, elaborándose un plano a escala 1:200 para el terreno de riego por goteo y 1:500 para el terreno de riego por aspersión.

Una vez elaborados los planos base se procedió a efectuar el levantamiento altimétrico de las áreas para obtener el relieve, trazando curvas de nivel con un intervalo vertical de 0.10 y 0.20 mt. para goteo y aspersión respectivamente (plano No. 2 y 3).

3.2 Estudio climatológico.

El estudio climatológico consistió en la recopilación de los registros climatológicos existentes en la estación 6.1.0 Observatorio Nacional ubicada en el Depto. de Guatemala, tomándose datos de 42 años de registro.

Los parámetros climatológicos considerados son: precipitación media mensual, evaporación en tanque, temperatura media, insolación, humedad relativa y viento, los cuales se muestran en el cuadro No. 1,

CUADRO No. 1 Datos Climatológicos

Estación: 6.1.0 Nombre: Observatorio Nacional. Depto.:
Guatemala. Latitud: 14°35'11". Longitud: 90°31'58".
Altitud: 1502.32 m. Años de registro: 42 (de 1928 a 1976)

Mes	Precipitación (mm)	Evaporación de tanque (mm)	Temperatura media (°C)	Insolación Horas	Humedad Relativa. (%)	Viento (km/hr) NNE
Enero	2.9	155.8	16.4	251.5	75	21.2
Febre.	3.0	159.5	17.2	227.1	73	19.6
Marzo	7.8	179.9	18.6	247.0	72	18.4
Abril	20.7	164.2	19.6	212.8	74	16.8
Mayo	133.8	135.7	19.7	198.5	78	13.9
Junio	265.4	83.3	18.8	143.9	85	12.5
Julio	199.0	104.1	18.8	182.0	82	15.7
Agost.	185.6	99.3	18.9	191.1	82	14.3
Sept.	249.5	74.2	18.5	145.1	85	11.5
Oct.	145.1	93.2	17.9	172.7	84	15.4
Nov.	25.2	116.9	16.9	210.3	79	20.1
Dic.	8.8	141.6	16.5	238.9	77	20.6
Anual	1246.8	1507.8	18.1		79	15.4

3.3 Estudios de suelos.

Para caracterizar el suelo del área a regar se procedió a hacer un muestreo del mismo para determinar la textura, densidad aparente y las características de la tensión de humedad, parámetros importantes para el cálculo y diseño del riego en el área. La textura de los suelos varió de franco arcillo arenoso a arcillo dentro del perfil en el área de riego por goteo y arcilla en el área de riego por aspersión; el resultado del análisis de las muestras obtenidas se muestra en el Cuadro No. 2.

Con los datos obtenidos se elaboraron las curvas de retención de humedad, las cuales se muestran en las gráficas No. 1 y 2.

CUADRO No. 2 Características físicas y de retención de humedad

Pto	Profundidad (cm)	Textura	D. Ap. gr./cc	% de humedad del suelo			
				1/3 At	2 At.	5 At.	15 at
1A	0-25	Franco Arcillo Arenoso	1.1192	25.66	20.48	16.23	15.53
1B	25-150	Arcilla	1.1871	43.59	36.03	28.24	27.14
2A	0-25	Arcilla	1.1000	29.65	24.75	21.04	19.74
2B	25-150	Arcilla	1.1636	43.05	35.95	30.41	28.36

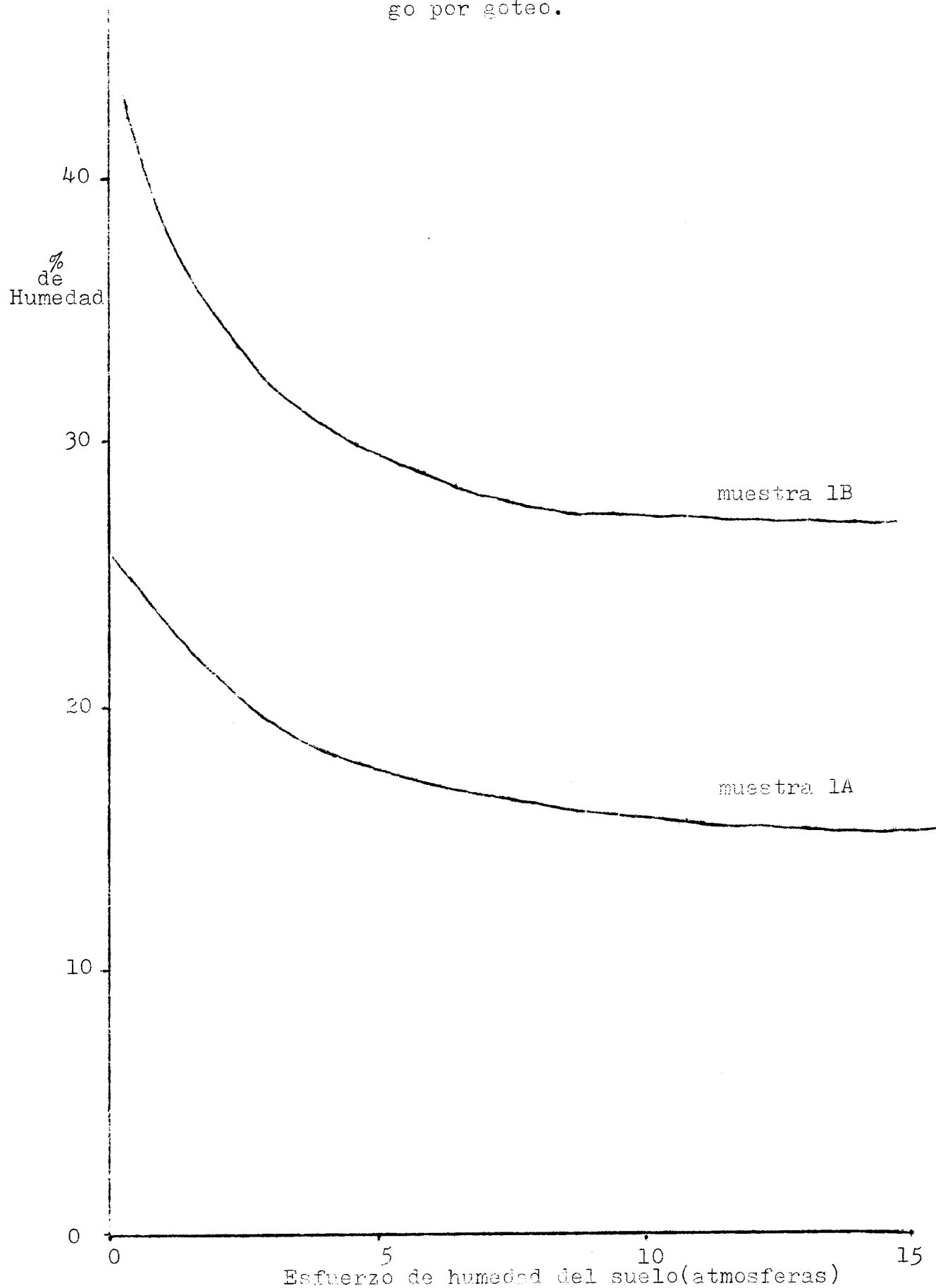
Observaciones:

Los puntos 1A y 1B son de muestras que pertenecen al terreno destinado a riego por goteo.

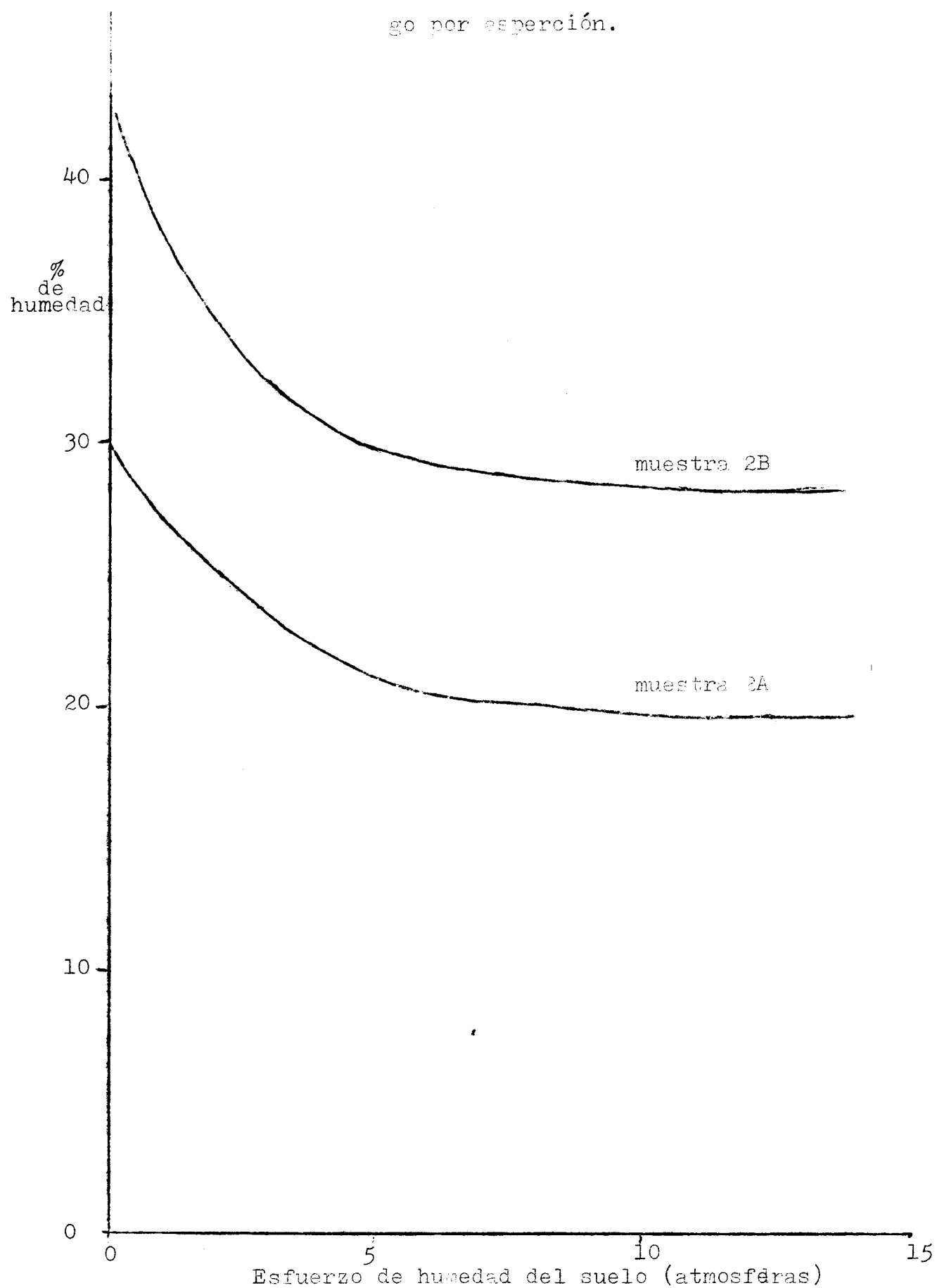
Las muestras marcadas con 2A y 2B son provenientes del terreno destinado a riego por aspersión.

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la DIRENARE, División de suelos.

go por goteo.



GRAFICA No. 2 Curvas de retención de humedad para
el suelo del terreno dest nado a rie
go por asperción.



Determinación de la velocidad de infiltración.

La velocidad de infiltración se puede definir como: la velocidad con que el agua penetra en el perfil del suelo, cuando la superficie del mismo se cubre con una lámina de agua. Es una de las propiedades del suelo más importantes para el diseño de un sistema de riego aéreo. Para determinarla se realizó la prueba de infiltración con el método del cilindro. Con los datos obtenidos se graficó en papel logarítmico los datos de lámina infiltrada contra tiempo - (gráfica No. 3) de la cual se pueden obtener gráficamente los parámetros K y n de la ecuación de infiltración: $L = Kt^n$

Donde:

L = Lámina infiltrada (cm)
t = tiempo en minutos
n = pendiente de la función
K = ordenada en el origen

De la gráfica obtenemos que:

K = 0.08
n = 0.77

Entonces:

$$L = 0.08 t^{0.77} \text{ (cm)}$$

Velocidad de infiltración (I)

$$I = \frac{dL}{dt} = (nKt^{n-1}) 60$$

$$I = 0.77 (0.08) t^{0.77-1}$$

$$I = 3.7 t^{-0.23} \text{ (cm/hr)}$$

Lo que realmente interesa conocer en riego por aspersión es la infiltración básica del suelo (I_b), ya que si ésta es menor de 0.5 cm/hr (0.2"/hr) no se aconseja instalar riego por aspersión porque la velocidad de aplicación de la lluvia debe ser muy baja y

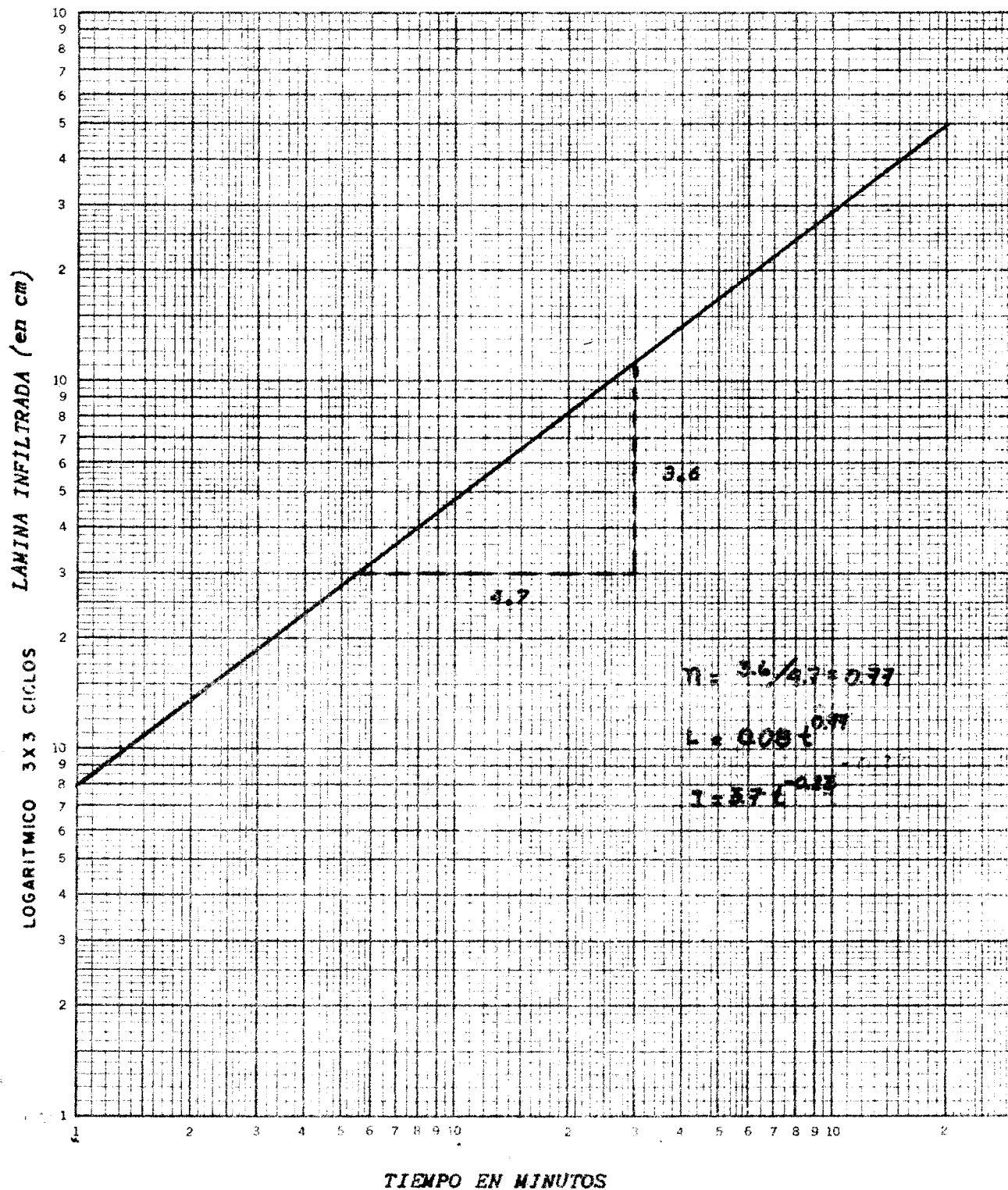
las gotas son tan finas que el viento altera el patrón de mojado.

Se recomienda no trabajar ningún tipo de aspersión que aplique una lámina menor de 0.5 cm/h (6).

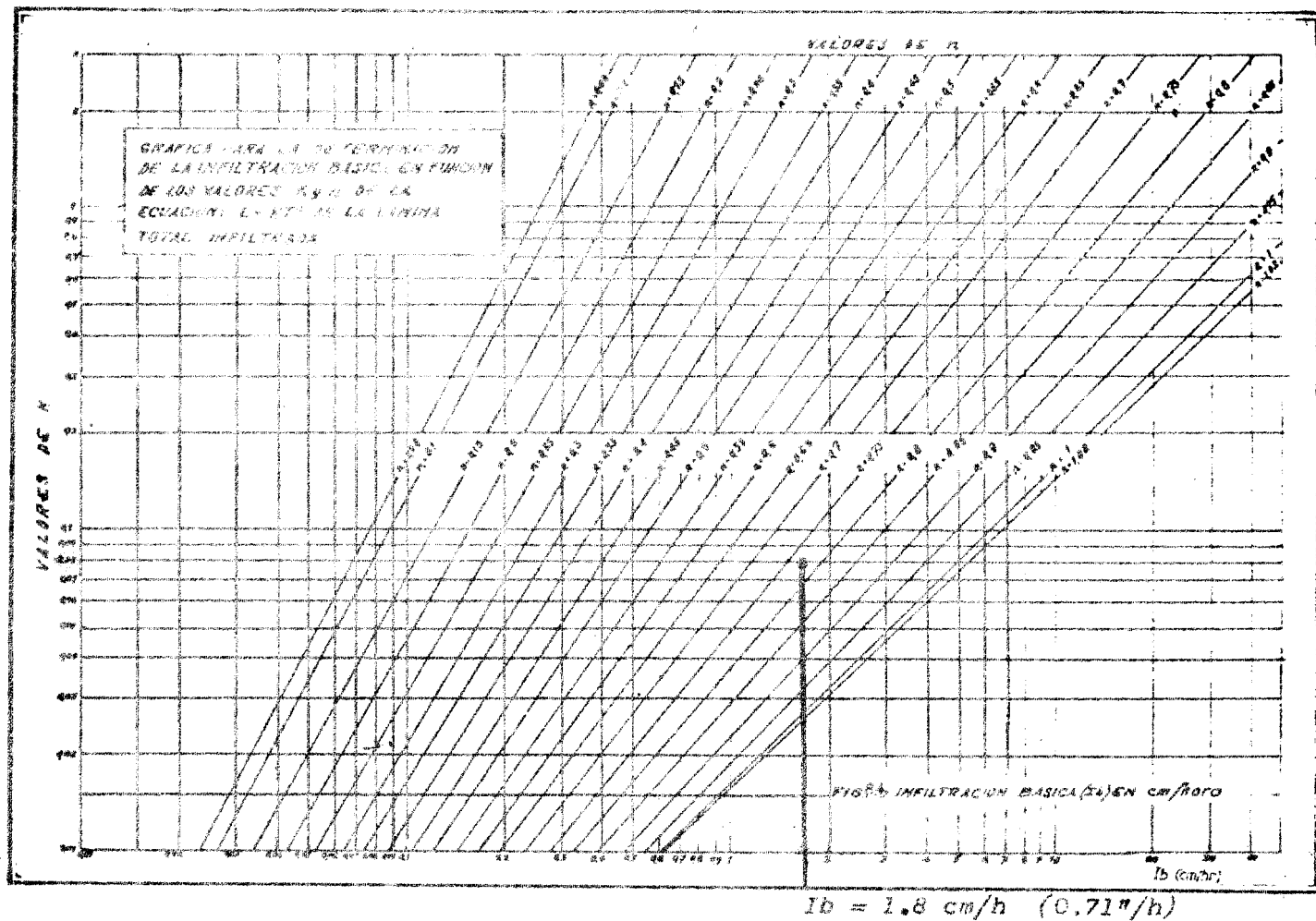
Para determinar la infiltración básica puede usarse la gráfica No. 4; en la cual en función de los parámetros K y n obtenidos anteriormente puede llegar a conocerse la infiltración básica. Puede verse en dicha gráfica que para valores de $K = 0.08$ y $n = 0.77$ el valor de la I_b es de 1.8 cm/h (0.71"/h).

La tasa de aplicación de agua en los rociadores no debe exceder a esta infiltración básica; para lograr esto es necesario una buena selección y espaciamiento de rociadores.

Gráfica No. 3 Lamina de infiltración acumulada



GRAFICA No. 4 Gráfica para determinar la infiltración básica en función de K y n



3.4 Disponibilidad y calidad de agua.

La fuente de agua que se utilizará es un pozo si tuado en la facultad de Ingeniería, en este pozo ya se encuentra instalada una bomba accionada por un motor eléctrico. Se determinó el caudal y calidad del agua de el pozo, obteniéndose los resultados siguientes:

a) Aforo:

Para determinar el caudal se usó el método volumétrico, se trabajó con un tonel de 54 gls. el cual se llenaba en un promedio de 22 segundos.

$$Q = \frac{54 \text{ gls}}{22 \text{ seg}} = 2.45 \text{ gls/seg} = 9.2 \text{ lts/seg}$$

b) Calidad del agua

Se envió una muestra del pozo a el laboratorio de suelos de DIRENARE para que se analizara la calidad de agua, el resultado fué:

CE x 10 ⁻⁶		320	
Sólidos en solución (ppm)		265	
<u>Cationes</u>	<u>(meq/lt)</u>	<u>Aniones</u>	<u>(meq/lt)</u>
++		=	
Ca	0.07	CO ₃	0.58
++			
Mg	0.67	HCO ₃ ⁻	2.19
+			
Na	1.00	Cl ⁻	0.48
+			
K	<u>0.06</u>	SO ₄ ⁼	<u>0.09</u>
Suma	1.80	Suma	3.34

% Sodio soluble 55.55 Na₂CO₃ Residual 2.03
 Ras 1.64 CLASE C₂S₁

De acuerdo al resultado del análisis del agua, ésta se considera apta para riego, según las normas del

manual 60 del USDA debiendo ponerse cuidado a la acumulación de sales cuando se esté operando el sistema.

- c) Características del motor que dé energía a la bomba del pozo.

Motor eléctrico.

Marca: Gould century (USA)

HP : 50

RPM : 1,765

Hertz: 60

Volts: 230/460

Amps : 124/62

S.F : 1.0

Cálculo de la potencia consumida (P.C.) por el motor:
(8)

$$P.C. = \frac{HP (0.746)}{\text{Eficiencia}} = \frac{50 (0.746)}{0.9} =$$

$$P.C. = 41.44 \text{ KW}$$

3.5 Consumo de agua o evapotranspiración.

Para estimar el consumo de agua o evapotranspiración se utilizó el método de Blaney y Criddle modificado (5) utilizando la evaporación registrada en tanque tipo "A" bajo la siguiente secuencia:

$$0.75EV_m = Et_{pm} \quad (1)$$

$$Et_{pm} = ETP \quad (2)$$

$$ETP \times Kg = ETg \quad (3)$$

$$ET' = \sum Et_{pm} \times K_c \quad (4)$$

$$\frac{ETg}{ET'} = K' \quad (5)$$

$$ET_o = \sum Et_{pm} \times K_c \times K' \quad (6)$$

Donde:

EV_m = Evaporación mensual medida en tanque tipo "A"
(en mm)

Et_{pm}	=	Evapotranspiración potencial mensual
ETp	=	" " " total (durante el ciclo del cultivo)
ET_o	=	Consumo de agua corregido
ET'	=	" " " o evapotranspiración actual sin corregir.
ET_g	=	" " " o evapotranspiración actual global
K_c	=	Coefficiente del cultivo
K_g	=	Coefficiente global del cultivo
K'	=	Coefficiente de corrección

Los resultados se muestran en el cuadro no.3.

Cuadro No. 3 Cálculo de la evapotranspiración actual o consumo de agua

Mes	EV_m (mm)	Et_{pm}	K_c	$Et_{pm} \cdot K$	$Et_{pm} \cdot K_c \cdot K' = ET$
Enero	155.1	116.85	0.60	70.11	56.35
Febrero	159.5	119.63	0.75	84.72	68.10
Marzo	179.9	134.43	0.85	114.49	92.19
Abril	164.2	123.15	1.00	123.15	98.90
Mayo	135.7	101.78	1.10	111.96	89.99
Junio	83.3	62.48	1.12	69.98	56.25
Julio	104.1	78.08	1.12	87.45	70.29
Agosto	99.3	74.48	1.05	78.20	62.86
Septiembre	74.2	55.65	1.00	55.65	44.73
Octubre	93.2	69.90	0.85	59.42	47.76
Noviembre	116.9	87.68	0.75	65.76	52.85
Diciembre	141.6	106.20	0.60	63.72	51.21
Sumatorias		1130.81		984.81	791.57

$$ET' = Et_{pm} \cdot K_c = 984.81$$

$$ET_q = Et_p \cdot k_g = 1130.81 \times 0.7 = 791.57$$

$$K = \frac{Et_q}{ET'} = \frac{791.57}{984.81} = 0.804$$

3.6 Balance hidrológico para el cálculo de requerimiento de riego.

Una vez determinada la evapotranspiración potencial y actual durante todo el año y cuyos resultados se muestran en el Cuadro No. 3 y utilizando los registros de precipitación media (Cuadro No. 1), se efectuó el balance hídrico para estimar los requerimientos de riego potencial (Rrp) y neto (Rrn) mediante la siguiente expresión:

$$Rrp = Etp_m - \bar{P} \quad (7)$$

$$Rrn = ET_o - \bar{P} \quad (8)$$

Donde:

Etp_m = Evapotranspiración potencial mensual (mm).

ET_o = Evapotranspiración mensual (mm).

$\bar{P}$ = Precipitación media.

Rrp = Requerimiento de riego potencial = $Etp_m - \bar{P}$

Rrn = Requerimiento de riego neto = $ET_o - \bar{P}$

Los resultados se muestran en el Cuadro No. 4

Cuadro No.4 Balance Hidrológico para cálculo de requerimiento de riego

Mes	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
$E_{t_{pm}}$	116.85	119.63	134.93	128.15	101.78	62.48	78.08	74.48	55.65	69.90	87.68	106.2
ET_o	56.35	68.10	92.19	98.99	69.99	56.25	70.29	62.86	44.73	47.76	52.85	51.21
$\bar{p}$					133.8	265.4	109.0	185.6	249.5	145.1	-----	-----
Rrp	116.85	119.63	134.93	128.15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	87.68	106.2
Rrn	56.35	68.10	92.19	98.99	-----	-----	-----	-----	-----	-----	52.85	51.21

Para determinar el Rrn diario, se tomó el mes donde el Rrn mensual es crítico, que es el mes de abril.

$$Rrn \text{ diario} = \frac{98.99}{30} = 3.3 \text{ mm/día.}$$

NOTA:

Los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, se consideran como meses secos; en estos meses la precipitación efectiva se considera nula, debido a que la precipitación media obtenida de los registros del Observatorio Meteorológico no es significativa.

4.- DISEÑO DE RIEGO POR ASPERSION.

Debido a que las especificaciones del equipo de riego por aspersión generalmente se encuentra en plaza, dadas en el Sistema Inglés y algunas veces en Sistema Métrico Decimal, los cálculos que se presentan en éste trabajo se darán así: Sistema Inglés y Sistema Métrico Decimal.

4.1 Factores de Prediseño.

4.1.1 Información básica.

Dentro de la información básica requerida para diseñar el sistema de riego, se necesita determinar que tipo de cultivo se regará, así como sus hábitos de crecimiento. En éste caso, en su mayoría se regará hortalizas, tomando como profundidad radicular para estimar la lámina de riego 1.0 mt.

Son importantes también las características físicas del suelo, su capacidad de retención de agua y la velocidad de infiltración.

Las primeras se anotan en el siguiente cuadro:

Profundidad del suelo (cm.)	Capacidad de campo (%)	Punto permanente de marchitez (%)	Densidad aparente (gr/cc)	Lámina de humedad aprovechable (cm)
0 - 25	29.65	19.74	1.1000	2.73
25 - 100	43.05	28.36	1.1636	12.82

= 15.55

La velocidad de infiltración se describe en el inciso 3.3

4.1.2 Lámina de humedad aprovechable. (LHA)

La LHA es la lámina de agua que el suelo puede retener entre los límites de capacidad de campo y punto permanente de marchitez, la ecuación para calcularla es:

$$LHA = (CC - PMP) Da.Z$$

Donde:

LHA = Lámina de humedad aprovechable (cm.)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto permanente de marchitez (%)

Da = Densidad aparente (gr/cc)

Z = Profundidad del suelo (mts)

$LHA_1 = (29.65 - 19.74) 1.1000 (0.25) = 2.73 \text{ cm.}$

$LHA_2 = 12.82 \text{ cm.}$

LHA = 15.55 cm. (6.12 pulg.).

4.1.3 Lámina de riego neta (L_n)

La lámina de riego neta es aquella lámina de agua que es necesario aplicar al cultivo en cada riego, para mantener la humedad del suelo en tensiones adecuadas para que el cultivo pueda aprovecharla sin resentirse, la ecuación a usar es:

$$L_n = Y (LHA)$$

Y = Porcentaje de lámina de agua aprovechable dentro del sistema radicular que puede ser usado por el cultivo sin que éste se resienta.

Por experiencia se ha determinado que no debe ser mayor del 50% (1).

Para nuestro caso usaremos $Y = 0.4$, por tratarse de un cultivo de hortalizas que es susceptible a la falta de humedad.

$$L_n = 0.4 (15.55) = 6.2 \text{ cm. (2.44 pulg.)}$$

4.1.4 Requerimiento de riego .

En base al balance hidrológico el requerimiento de riego potencial (RrP) que se tomó para el diseño - fué el requerimiento potencial mensual mayor de 13.5 cm., en el mes de marzo (cuadro No.4)

El requerimiento de riego potencial bruto (Rrpb) se determinó considerando una eficiencia de 75 % en el sistema.

$$\text{Rrpb} = \frac{\text{Rrp}}{\text{Ef}} = \frac{13.5}{0.75} = 18 \text{ cm.} \quad (7.09 \text{ pulg})$$

4.1.5 Capacidad del sistema (Q).

La capacidad del sistema depende de la forma - como se va a operar el sistema; o sea cuántos días se va a regar al mes y cuánto tiempo se regará diariamente. También depende del Rrpb.

Para conocer la capacidad del sistema se consideraron las alternativas que se presentan en el siguiente cuadro:

h \ d	d	20	24	30
	h	Q en lps		
	8	10.13	8.44	6.75
	10	8.10	6.75	5.40
	12	6.75	5.63	4.50
	16	5.06	4.22	3.38
	24	3.38	2.81	2.25

El caudal se calculó así:

$$Q = \frac{(\text{Rrpb}) (\text{Area}) (100)}{h \times d \times 3.6} = \frac{(18 \text{ cm}) (3.24 \text{ Ha}) 100}{ha \times 3.6} = \text{lps}$$

$$h = \text{Horas de operación diarias.}$$

$$d = \text{Días de operación al mes.}$$

NOTA:

Es necesario considerar caminos en el área de riego para el paso de maquinaria, el ancho que se dió a estos fué de 2 mts., en el perímetro del terreno, por lo tanto el área total que es de 3.39 Ha., se redujo a 3.24 Ha.

Los sistemas de riego por aspersión se diseñan para operación continua de 24 horas al día para reducir dimensiones de bomba, tubería principal y laterales. En nuestro caso para la elección de la operación más adecuada se tomaron en cuenta aspectos laborales, en lo que se refiere a horario de trabajo y días de la semana que se trabaja en la Facultad de Agronomía. Se consideró que operando el sistema 10 horas diarias durante 24 días al mes, se ajustaría a estas jornadas de trabajo diario necesitándose por lo menos dos operadores o encargados del sistema durante 6 días semanales (lunes a sábado).

Operando de ésta manera la capacidad del sistema es de 6.75 lps (107 GPM) que es menor que el caudal disponible 8.9 lps (141 GPM).

4.1.6 Frecuencia de riego.

El tiempo transcurrido entre riego y riego depende del consumo de agua del cultivo y de la lámina de aplicación neta en cada riego

$$Fr = \frac{L_n}{R_{rp}} = \frac{6.2 \text{ cm}}{0.45 \text{ cm/día}} = 13.8$$

$$Fr = 14 \text{ días.}$$

O sea que se deben aplicar 6.2 cm., de lámina de agua cada 14 días. Se puede hacer de ésta manera el riego, pero esto nos dará tiempos de riego muy grandes, entonces es conveniente operar el sistema con riegos más ligeros y frecuentes. A continuación se presentan 4 alternativas de intervalos de riego:

Intervalo de riego (días)	Lámina en cada riego (cm)	Riesgos necesarios para completar la L_n	No. de días para completar la L_n
7	3.1	2	14
5	2.1	3	15
4	2.1	3	12
3	1.24	5	15

Se consideró como más adecuada la alternativa de regar cada 7 días porque el número de riegos para completar la Ln es menor lo cual implica un número menor de cambios en las posiciones de la tubería lateral. Esta lámina de aplicación al afectarla por la eficiencia del sistema que es del 75% nos dará una lámina bruta 4.1 cm., (1.63") que es la que realmente debe aplicarse en cada riego cada 7 días.

4.1.7 Tipo rociador:

Para seleccionar el tipo de rociador adecuado hay que tomar en cuenta varios factores que combinados de diferentes maneras puedan darnos múltiples alternativas. Es necesario tomar en cuenta el tamaño y forma del terreno, las horas diarias de operación la frecuencia de riego, la infiltración básica, velocidad del viento, el caudal de operación y los factores de economía relacionados con diámetros de tubería y potencia de bomba. En éste caso se ha escogido el rociador de presión intermedia el cual distribuye las gotas de agua bastante bien en el diámetro húmedo y da tasas de aplicación mínima de 0.62 cm/hora (0.25 "/hora) que son menores que nuestra infiltración básica, además los diámetros de mojado son de 23 a 37 metros (75 a 120 pies) que son bastante adecuados; estos rociadores trabajan con una presión de 2.0 Kg/cm² (30 - 60 PSI), se usará una presión promedio de 3kg/cm² (45PSI).

Esta selección es todavía muy general ya que entre los rociadores de presión intermedia existe una gran variedad, en los cálculos siguientes se harán varios tanteos para seleccionar el rociador que más se adapte al diseño.

4.2 Tubería lateral y principal

4.2.1 Selección de la posición más adecuada de la tubería principal y lateral en el terreno.

Es conveniente que la tubería principal quede hasta donde sea posible en el sentido de la pendiente del terreno, además la tubería lateral debe ir colocada formando -

ángulo recto con la tubería principal, o sea que debe ir colocada más o menos sobre las curvas a nivel (6).

También es conveniente que la tubería lateral quede perpendicular a la dirección de los vientos dominantes - (que en este caso tienen la dirección Norte-Sur). Tomando en cuenta estas condiciones las tuberías laterales serán colocadas siguiendo la dirección Este-Oeste y la tubería principal la dirección Norte-Sur.

Se consideró que la posición más adecuada de la tubería principal es como se muestra en el plano No.3., porque el terreno queda dividido en dos áreas una de las cuales es un rectángulo de 390 pies (119m.), de ancho y la otra área es más o menos otro rectángulo de 195' (59.5 m), de ancho de promedio, o sea que un terreno es el doble del otro en cuanto al ancho que es donde van a estar colocados los laterales, por lo tanto en la fracción mayor del terreno pueden tenerse laterales de 390' de largo, mientras que en la fracción pequeña los laterales son de 195' (o sea la mitad); entonces por cada lateral de 390' funcionando deben de funcionar dos laterales de 195' que es el equivalente. La longitud de la tubería principal con ésta distribución es de 700'.

4.2.2 Espaciamiento entre laterales y entre rociadores.

Para calcular el espaciamiento entre laterales y entre aspersores hay que tomar en cuenta principalmente dos condiciones:

- a) El número de laterales debe ser suficiente para cubrir el área total durante el intervalo de riego - (6 días), haciendo al día número de cambios en las posiciones del lateral que se deseen.
- b) El espaciamiento entre laterales y aspersores debe ser tal que permita una tasa de aplicación del agua menor que la infiltración básica del suelo (1.8cm/h = 0.71 "/h).

A continuación se dan las consideraciones y las alternativas para lograr llegar a determinar un buen espaciamiento entre aspersores y laterales.

Partiendo de que se va a regar el terreno en seis días, con cuatro cambios de lateral al día se deberá regar

2.5 horas en cada posición de lateral.

Cuatro posiciones al día durante seis días dan un total de 24 posiciones de lateral.

Para obtener el número de rociadores a usar es necesario determinar a que distancia se colocarán los laterales y a que distancia se colocarán los rociadores sobre el lateral.

Para los rociadores de presión intermedia el espaciamiento entre rociadores sobre lateral va de 30' (9m) a 40' (12m), se probó con los dos espaciamientos para ver cual es el más adecuado.

Para el espaciamiento entre laterales sobre la línea principal se consideraron distancias de 40, 50 y 60' - (12, 15 y 18 m), esto es porque en el comercio se consiguen secciones de tubo de aluminio de 20 y 30' de longitud.

Los cálculos para determinar número y tamaño de rociadores, velocidad de aplicación y tiempo necesario para aplicar la lámina bruta de riego (1.63") se presentan en el cuadro No.5.

DATOS:

Infiltración básica = 1.8 cm/h (0.71"/hora)

Caudal de operación = 6.75 lps (107 GPM)

Longitud del lateral = 390'

FORMULAS:

$$\text{No. de rociadores} = \frac{\text{longitud lateral}}{\text{Dist. entre aspersores}}$$

$$\text{Tamaño del rociador} = \frac{Q \text{ de operación}}{\text{No. de rociadores}}$$

$$\text{Pulg/hrs.} = \frac{(\text{GPM del rociador}) 96.3}{(\text{dist. entre laterales}) (\text{dist. entre Roc.})}$$

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{\text{Lámina bruta}}{\text{Velocidad de aplicación}}$$

CUADRO No. 5 Alternativas para espaciamientos entre laterales y entre rociadores.

ESPACIAMIENTO		No. de rociadores	Tamaño del rociador GPM	Velocidad de aplicación	Tiempo para aplicar la Lb = 1.63"
Entre laterales	Entre aspersores				
40'	30'	13	8.23	0.66	2.47
40'	40'	10	10.7	0.64	2.55
50'	30'	13	8.23	0.53	3.08
50'	40'	10	10.7	0.52	3.13
60'	30'	13	8.23	0.44	3.70
60'	40'	10	10.7	0.43	3.80

De las alternativas calculadas, la que se consideró más adecuada es la que da el espaciamiento de 40' (12 m) entre laterales por 30' (9 m), entre rociadores sobre lateral. En el plano puede verse que usando estas distancias, se mantienen posiciones de laterales en número de 23 (18 en el área mayor y 5 en el área menor) cada una con 13 rociadores. Como el ciclo de riego con seis días tiene 24 movimientos, entonces la distribución se adapta bien, quedando el sexto día (sábado) un movimiento lateral menos, o sea, 2.5 hrs. de menos.

Otro de los motivos por los que se seleccionó esta alternativa es porque proporciona una velocidad de aplicación de 0.66"/h que es menor que la velocidad de infiltración básica (0.71"/h), por lo tanto no habrán problemas de encharcamiento. Además el tiempo empleado para aplicar la lámina de 1.63" (Lb) es de 2.47 hrs., lo cual concuerda con la condición establecida que se moverán los laterales cada 2.5 hrs.

4.2.3 Características del rociador.

Es necesario consultar un catálogo de rociadores para seleccionar boquillas, presiones y diámetros mojados que cumplan con las condiciones diseñadas.

Es importante aquí considerar el efecto del viento para ver si el espaciamiento elegido esta de acuerdo a porcentaje de entrecruzamiento entre el diámetro de cobertura de un rociador y otro; los espaciamientos deben ser aproximadamente los siguientes (6):

<u>CONDICION</u>	<u>ESPACIAMIENTO</u>
Sin viento	65 % del diámetro de mojado
Vientos de 7 Km/h	60 " " " " "
" "14 "	50 " " " " "
" mayores de 14 Km/h	30 " " " " "

Para éste caso el viento es de aproximadamente 14 Km/h, por lo que se usará un espaciamiento del 50 % del diámetro de mojado.

Para un costo de rociador de 8.23 GPM (0.52 lps) que opere a 45 PSI (3.16 Kg/cm^2) puede usarse un rociador de boquilla doble con las siguientes características:

$$Q = 8.5 \text{ GPM}$$

$$\text{Diámetro de boquilla} = 3/16" \times 3/32"$$

$$\text{Angulo} = \text{boquilla de } 3/16" : 20^\circ$$
$$\text{" " } 3/32 : 7^\circ$$

$$\text{Diámetro de mojado} = 84 \text{ pies}$$

El 50 % de 84' es 42' que es mayor que el espaciamiento entre laterales de 40' por lo que está correcto.

Cuando se efectúe la cotización para compra del equipo será necesario consultar catálogos de casas comerciales y comprar el rociador de la marca que más convenga y que cumpla con estas condiciones.

4.2.4. Diámetro de la tubería lateral.

Para diseñar las dimensiones del lateral, es necesario calcular las pérdidas de carga en el mismo. Se toma como criterio de diseño que la variación de la presión entre el primero y el último aspersor de una tubería lateral no debe ser mayor del 20 %; ésta variación en presión representa una variación en el gasto de la boquilla del 10 %.

El material a usar en las tuberías laterales es aluminio, para el cálculo de las pérdidas por fricción se usará la tabla No. 6.

DATOS:

Longitud del lateral	=	380' (116 m)
Caudal en el lateral	=	107 GPM
Presión promedio en aspersor	=	45 PSI (104')
Pérdida de presión permisible	=	9 PSI (20.8')

El menor diámetro que puede usarse según la tabla 6 es de 3", para el cual se tiene una pérdida por fricción de 3.7 pies por cada 100 pies de tubería lateral (se obtuvo interpolando para 107 GPM); ésta fricción se reduce al multiplicarla por un factor usado cuando se trabaja con tuberías de salidas múltiples, para este caso el factor "F" es igual a 0.384 (para 13 salidas); los valores de "F" pueden consultarse en la tabla No. 7. La pérdida en pies por cada 100 pies de tubería es entonces $3.7 \times .384 = 1.421$ pies, y el total de pérdida en 380' es de 5.4' que es menor que 20.8' que es lo permisible, - por lo tanto el diámetro de 3" puede usarse en la tubería lateral.

4.2.5 Diámetro de la tubería principal.

Para efectuar éste cálculo no existen porcentajes de pérdidas de carga ya establecidas, lo que se hace es efectuar tanteos con diferentes diámetros de tubería y ver que pérdidas de carga se tienen, pa

ra luego compararlos con las pérdidas de carga que para diseño se aceptan que son aproximadamente de 10' en sistemas pequeños y 40' en sistemas grandes (1).

Es necesario considerar los factores económicos en cuanto a costos de tubería de diferentes diámetros y el tamaño de bomba y motor a usar.

El material a usar en la tubería principal es PVC de 125 PSI. Para calcular las pérdidas por fricción se usará la tabla No. 8.

DATOS:

Q = 107 GPM (de la tabla se tomaron valores para 110 GPM).

Longitud = 700'

Diámetro de tubería	pérdida por fricción en pies/100'	Pérdida por fricción para 700' (en pies)
3"	2.14	14.98
4"	0.63	4.41
5"	0.22	1.54

Considerando costos de tubería, unidad de bombeo y pérdidas de carga permisibles de 10' (sistema pequeño) el diámetro más adecuado a usar es de 4" que da una pérdida por fricción de 4.41'.

4.2.6 Presión que se requiere en el lateral.

La presión de 45 PSI (104') es a la mitad del lateral o "presión promedio del diseño". La pérdida por fricción en el lateral es de 5.4', el 75 % de ésta pérdida ocurre en la primera mitad del lateral y el resto (25 %) en la segunda mitad, entonces:

Presión en el primer rociador = $104' + 0.75 (5.4) = 108'$

" " " último rociador = $104' - 0.25 (5.4) = 102.7'$

4.2.7 Potencia necesaria.

La potencia del motor se determina según la cantidad de agua a bombearse, la carga total y la eficiencia de la bomba. Estos factores se relacionan

TABLA No. 7 Factor "F" para calcular pérdidas por fricción en tubería con salidas múltiples.

NUMERO DE SALIDAS	VALOR DE F	NUMERO DE SALIDAS	VALOR DE F
1	1.000	8.....	.410
2	.634	9.....	.402
3	.528	10.....	.396
4	.480	11.....	.392
5	.451	12.....	.388
6	.433	13.....	.384
7	.419	14.....	.381

TABLA No. 8 Pérdida de carga por fricción en tubo se mirrígido de plástico utilizado para rie go.

FLUJO	PERDIDA EN LA CARGA POR FRICCION EXPRESADA EN PIES POR CADA 100 PIES		
Galones/ minuto	3 pulgadas 3.166 DL	4 pulgadas 4.072 DL	5 pulgadas 5.33 DL
70	.92	.27	.09
75	1.06	.31	.11
80	1.19	.35	.12
85	1.33	.39	.14
90	1.48	.43	.15
95	1.64	.48	.17
100	1.80	.52	.19
110	2.14	.63	.22

4.2.8 Estimación de costos

Los costos que se detallan a continuación se refieren a costos de equipo. Los cálculos de gasto de energía y mano de obra de instalación y operación serán posteriores, ésto se hace así por tratarse de un sistema de riego con fines docentes más que comerciales. Los precios que se dan son los promedios vigentes en el comercio a noviembre de 1977.

NOMBRE DEL EQUIPO	CAN- TIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
Motor eléctrico, bomba cen- trífuga y arrancador direc- to	1	700.00	700.00
Caseta de bombas	1	150.00	150.00
Tubería principal tubos PVC de 20' x 4"	35	18.83	659.05
Tubería lateral de aluminio tubos de 30' x 3"	24	39.00	936.00
Tubería lateral de aluminio tubos de 20' x 3"	3	30.00	90.00
Rociadores	26	11.00	286.00
Accesorios para unidad de bombeo	--	--	200.00
Tees de 4" PVC	18	9.29	167.22
Reductor de 4" a 3" PVC	18	3.71	66.78
Adaptador macho 3" PVC (a Al)	18	2.45	44.10
Hidrante	18	18.00	324.00
Codo de toma	3	48.00	144.00
Elevadores 1" x 18"	26	4.25	110.50
Reductor de campana de 1" a 3/4"	26	0.65	16.90
Tapones finales con giba para aluminio	3	7.50	22.50
Tapón final 4" para PVC	1	2.50	2.50
Manómetro de 200 PSI	1	3.50	3.50
Galones de pegamento para PVC	1/2	20.00	10.00
Costo Total			3,933.05

4.2.9 Consideraciones sobre operación del sistema de riego por aspersión.

Pueden presentarse varios alternativos para la manera de operación del sistema, aquí se dará una de estas, considerando que el campo está completamente cultivado, de no ser así el manejo del riego tendrá que ajustarse a las condiciones del área cultivada.

O sea que la manera de operar el sistema que se presenta a continuación se basa en que se harán cuatro cambios de posiciones de laterales al día, durante el tiempo de riego en cada posición. 2.5 horas y estando toda el área cultivada.

H O R A D E L D I A				
DIA	8:00-10:30	10:30-13:00	13:00-15:30	15:30-18:00
POSICIONES QUE ESTARAN FUNCIONANDO				
LUNES	1	18	2	17
MARTES	3	16	4	15
MIERCOLES	5	14	6	13
JUEVES	7	12	8	19
VIERNES	9	20	10	21
SABADO	22	11	23	--

NOTA:

La identificación de las posiciones de laterales pue de verse en el plano del terreno que será irrigado por aspersión.

Este modelo de aspersión fué diseñado para trabajar a máxima capacidad; cuando el terreno este cultivado sólo en parte, puede evitarse regar algunos días, de preferencia puede evitarse que el sábado se opere el sistema para no pagar horas extras.

5.- DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.

5.1 Factores de prediseño

5.1.1 Cultivos y Suelos.

Cultivo	Profundidad de raíces	Distancia entre plantas	Distancia entre hileras
Cítricos	1.5 m	4 m	5 m
Aguacate	1.5 m	4 m	5 m

Profundidad del suelo (cm)	Capacidad de campo (CC)	Punto Permanente de marchitez (PMP)	Densidad aparente (gr/cc)	Lámina de humedad aprovechable
0 - 25	25.66 %	15.53 %	1.119	2.84=d ₁
25 - 150	43.59 %	27.14 %	1.187	24.40=d ₂

Sumatoria: 27.24 cm

LHA = Lámina de humedad aprovechable = 272.4 mm.

Esta lámina se determinó así:

$$d = (CC - PMP) \text{ Dap} \cdot Z$$

$$d_1 = (25.66 - 15.53) \times 1.119 \times 0.25 = 2.84 \text{ cm}$$

$$d_2 = (43.59 - 27.14) \times 1.187 \times 1.25 = 24.40 \text{ cm}$$

donde:

CC = capacidad de campo (%)

PMP = punto permanente de marchitez (%)

Dap = densidad aparente del suelo (gr/cc)

Z = profundidad (m)

5.1.2 Determinación del porcentaje a humedecer en el área total (P)

Los goteros y laterales pueden ir colocados en el campo, de diferentes formas y posiciones; las principales son:

- 1) usando un solo lateral por cada línea de árboles.

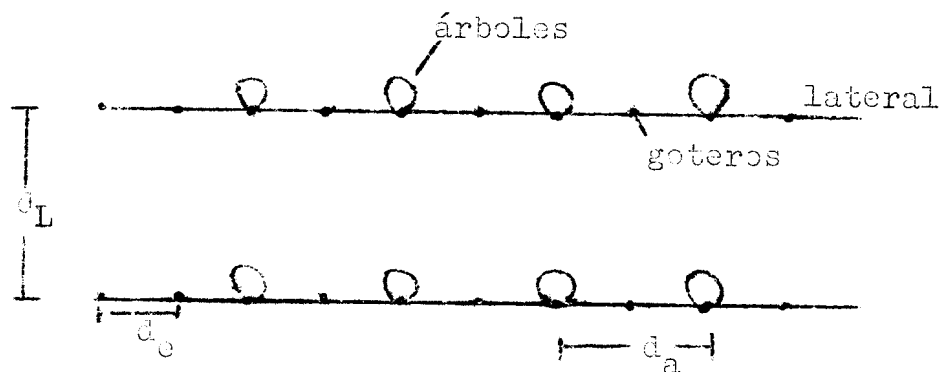
- 2) usando doble lateral por cada línea de árboles.
- 3) usando goteros de múltiple salida.

Tomando en cuenta que P varía con la descarga, el espaciamiento entre goteros y el tipo de suelos, para cada alternativa se consideran diferentes caudales (2, 4, 8 y 12 lph). Además se tomó un rango para P de 33 - 50 %, considerando que si es menor de 33% el cultivo se resiente y si es mayor de 50%, la ventaja del sistema en ahorro de agua que consiste en mojar solo parte del área total, disminuye.

Se seleccionará entonces la alternativa con la cual se use un menor caudal y menor número de goteros por árbol, y además se consiga que P esté entre el rango 33 - 50 %.

Alternativas:

- 1.- Usando un solo lateral por cada línea de árboles.



Datos:

$d_L = 5 \text{ m}$

$d_a = 4 \text{ m}$

Textura = fina

donde:

d_L = distancia entre laterales

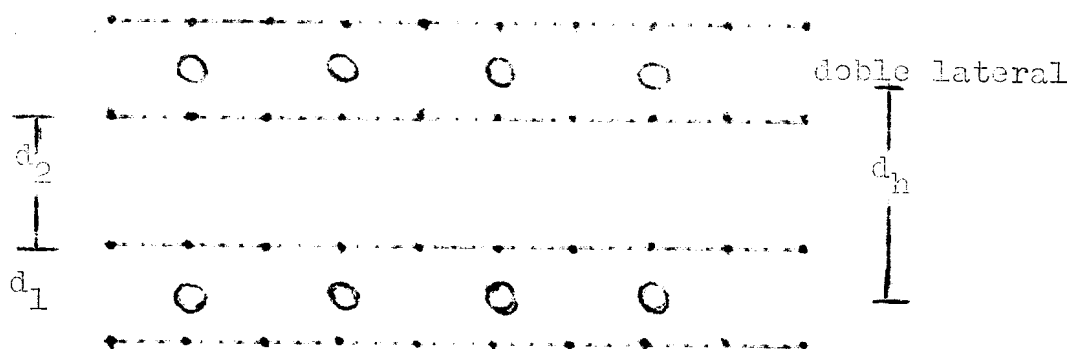
d_a = distancia entre árboles

d_e = distancia entre emisores

Para el cálculo de P y distancia entre emisores (d_e) se usa la tabla 9, en la cual se ve que entrando en la columna de $d_L=5\text{m}$ y con suelo de textura media, los caudales menores de 8 lph dan valores de P menores de 33 %; por lo tanto se trabajará solo con caudales de

8 y 12 lph, obteniéndose los datos que se presentan en el cuadro de resumen.

2.- Usando doble lateral por cada línea de árboles. (7)



Datos:

$d_h = 5\text{mt}$

suelo :: textura fina

El cálculo de P en este caso se realiza con la fórmula

$$P = \frac{P_1 d_1 + P_2 d_2}{d_h}$$

donde:

d_1 :: espaciamiento menor entre pares de laterales, el cual debe ser tomado de la tabla 9, para dar un $P = 100\%$ con el valor recomendado para la descarga del emisor dado y el tipo de suelo.

P_1 :: porcentaje de área mojada obtenida de tabla 9 con base en espaciamiento entre laterales = d_1 y diferentes caudales.

d_2 :: espaciamiento mayor entre pares de laterales.
condición $d_2 = d_h - d_1$

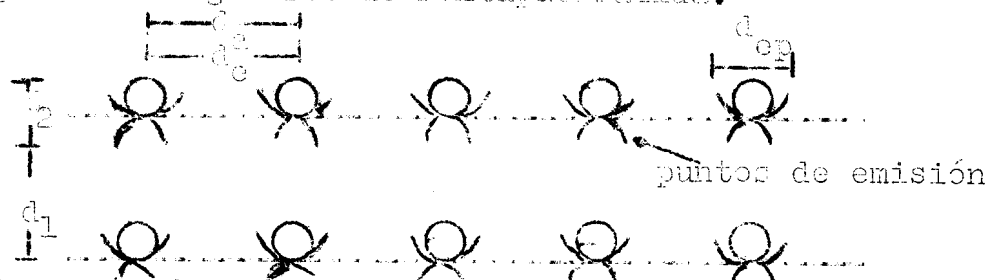
P_2 :: porcentaje de área mojada obtenida de tabla 9, con base en espaciamiento entre laterales = d_2 y diferentes caudales.

d_h :: espaciamiento entre hileras de árboles.

Se variaron entonces las distancias d_1 y d_2 combinándolas con variaciones de descargas en los goteros

Las descargas mayores de 4 lph, el valor de P es mayor de 50%, entonces se trabajó con descargas menores de 4 lph. El resultado de las alternativas consideradas se presentan en el cuadro de resumen No. 10.

3.- Usando goteros de múltiple salida.



La ecuación a usar en este caso es:

$$P = \frac{100 \cdot n \cdot d_{ep} \cdot d_w}{d_h \cdot d_a}$$

Donde:

n = número de puntos de emisión por árbol en cada gotero de múltiple salida.

d_w = ancho de la faja mojada, el cual es el valor de d_L en tabla No. 9, para que P sea igual a 100%, para determinado caudal y suelo.

d_{ep} = distancia entre puntos de emisión. Se obtiene de tabla No. 9, con base en el valor de d_w y un caudal dado.

d_a = distancia entre árboles.

d_h = distancia entre hileras de árboles.

Se calcularon varias alternativas, variando n de 4 a 6 y descargas en puntos de emisión de 2, 4 y 8 lph. Los resultados se muestran en el cuadro de resumen No. 10.

Selección de la alternativa más adecuada.

En el cuadro No. 10 pueden observarse 10 alternativas, se seleccionó la alternativa No. 7, cuyas características son:

- tipo de gotero de salidas múltiples con 4 puntos de emisión de 4 lph que es una descarga fácil de

encontrar en el comercio; el caudal por árbol es de 16 lph (resulta de multiplicar 4 lph x 4 puntos de emisión) que es bajo en relación a los demás, lo que hará que la tubería de los laterales sea de menor diámetro y por lo tanto de menor costo; y además se cumple que el valor de P se encuentre en el rango de 33 - 50%, ya que es de 39%; o sea que se van a colocar los goteros múltiples salidas al pié de cada árbol, y por lo tanto, separados a 4 m sobre el lateral y a 5 m entre laterales. La distancia entre las salidas de los puntos de emisión será de 1.3 m.

Tabla No. 9

Porcentaje de área a ser mojada "P"

Espacio efectivo entre la- terales.	Descarga en los puntos de emisión														
	Menos de 1.5 lph			2 lph			4lph			8 lph			Más de 12 lph		
	Espacio recomendado entre emisores sobre el lateral para texturas de suelo: gruesa (G), Mediana (M), fina (F)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
d _L	0.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1.0	0.6	1.0	1.3	1.0	1.3	1.7	1.3	1.6	2.0
m	Porcentaje de suelo humedecido														
0.8	38	80	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1.0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1.2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1.5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2.0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2.5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3.0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3.5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4.0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4.5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5.0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6.0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

Cuadro No.10 Resumen de alternativas para cálculo de P.

Colocación y tipo de aotero	Número de Alternativa	P %	Q en cada aotero (lph)	Distancia entre puntos de emisión (m)	No. de goteros por árbol	Q Por árbol (lph)	d ₁ (m)	d ₂ (m)	n
Un lateral por cada línea de árboles	1	40	8	1.7	2.35	18.80	--	--	--
	2	48	12	2.0	2.0	24.0	--	--	--
Doble lateral por línea de árboles	3	47	2	1.0	8.0	16.0	1.2	3.8	--
	4	62	4	1.3	3.08	24.6	1.5	3.5	--
	5	48	2	1.0	8.0	16.0	2.0	3.0	--
Goteros de múltiples salidas	6	24	2	1.0	4.0	8.0	--	--	4
	7	39	4	1.3	4.0	16.0	--	--	4
	8	60	8	1.7	4.0	32.0	--	--	4
	9	36	2	1.0	6.0	12.0	--	--	6
	10	68.5	4	1.3	6.0	24.0	--	--	6

En todos los casos:

- Distancia entre árboles = 4 m.
- Distancia entre hileras de árboles = 5 m.
- Textura del suelo = fina

5.1.3 Lámina de aplicación neta (Idx).

La lámina neta de agua a aplicar en cada riego depende de:

- La deflexión de humedad aprovechable (Y) o sea el porcentaje de lámina de agua que el cultivo pueda bajar sin ser afectado en su rendimiento, va de 0.3 en cultivos susceptibles, a 0.6 en cultivos resistentes a falta de humedad.
- La lámina de humedad aprovechable, calculada anteriormente y dada en milímetros.
- Del porcentaje del área total que se desea humedecer (P), o sea que en riego por goteo no se humedece toda el área de cultivo, sino solamente un porcentaje, ésta es una de las principales características del sistema; se expresa en porcentaje.

Todas estas variables cuantifican la lámina de aplicación neta, mediante la ecuación siguiente:

$$Idx = Y (LHA) \frac{P}{100}$$

en donde las dimensionales de Idx están dadas en mm.

En el presente estudio para cálculo de la lámina de aplicación neta (Idx) se consideró una deflexión de 0.5 (Y) de la lámina de humedad aprovechable (LHA) que para los suelos a regar es de 272.4 mm, así como un porcentaje de área mojada P de 39 % de acuerdo a la alternativa seleccionada en el inciso anterior.

$$Idx = Y(LHA) \frac{P}{100} = 0.5 (272.4) \times 0.39 = 53.12 \text{ mm}$$

5.1.4 Lámina Bruta de Riego (Id).

Para el cálculo de la lámina bruta de riego, se relaciona la eficiencia del sistema (E_f) y la uniformidad de la emisión de los goteros (u_e) con la lámina neta de aplicación calculada anteriormente.

Para efectos del diseño se considera a $E_f = 90\%$, a $u_e = 94\%$, calculándose la lámina bruta de riego de la

siguiente manera:

$$I_d = \frac{I_{dx}}{E_f \cdot u_e} \quad I_d = \frac{53.12 \text{ mm}}{0.9 \cdot 0.94} = 62.8 \text{ mm}$$

5.1.5 Intervalo y duración del riego.

El intervalo de riego depende de:

- a) El requerimiento de riego neto (Rrn) o sea la diferencia entre la evapotranspiración y la precipitación efectiva.
- b) La lámina máxima neta de riego (Idx)

Estas variables se relacionan mediante la ecuación:

$$I_i = \frac{I_{dx}}{R_{rn}}$$

donde:

I_i = intervalo de riego (en días)

I_{dx} = lámina máxima neta de riego (mm)

R_{rn} = requerimiento de riego neto (mm/día)

$$I_i = \frac{53.12 \text{ mm}}{3.3 \text{ mm/día}} = 16.1 \text{ días}$$

$$I_i = 16 \text{ días.}$$

La tendencia en diseño es tener un riego continuo, ya que el regar con este sistema no interfiere en las labores del cultivo; y además con esto se logra reducir los diámetros de las tuberías, bajando entonces los costos. Otra razón es porque el cultivo tiene una humedad constante y más adecuada.

Para calcular la duración de aplicación (I_t) del riego, se utiliza la siguiente expresión:

$$I_t = \frac{I_d \cdot d_e \cdot d_L}{q_e}$$

donde:

I_t = tiempo de operación de cada gotero en cada riego (horas)

q_e = gasto de goteros (lph)

d_e = espaciamiento sobre lateral (m)

d_L = espaciamiento entre lateral (m)

I_d = lámina bruta (mm)

Datos

$$q = 16 \text{ lph} ; d_e = 4 \text{ m} ; d_L = 5 \text{ m}$$

$$I_t = \frac{(62.8 \text{ mm})(4 \text{ m})(5 \text{ m})}{16} = 78.5 \text{ horas}$$

$$I_t = 78 \text{ horas}$$

Este intervalo y duración de riego es determinado para fines de diseño, pero hay que ajustarla a la operación más adecuada del sistema, lo que requerirá posiblemente pequeñas modificaciones posteriores para su ajuste.

5.1.6 Capacidad del Sistema (Q_s)

Es necesario primero calcular el número de unidades de operación (N) en que se puede dividir toda el área de riego.

Por consideraciones económicas es preferible trabajar el sistema a tiempo completo, tanto como sea posible.

N se calcula mediante la ecuación:

$$N \leq \frac{I_i \times 24}{I_t} \quad N \leq \frac{16 \times 24}{78.5} = 4.89 \quad N = 4$$

Se selecciona el número entero para no subestimar el sistema. Teniendo N puede entonces calcularse la capacidad del sistema:

$$Q_s = K \frac{A}{N} \times \frac{I_d}{I_t}$$

en la cual:

Q_s = capacidad del sistema (lps); A = área total a irrigar (H_a)

K = una constante igual a 2.78 para el sistema métrico.

$$Q_s = \frac{2.78 \times 0.55 H_a \times 62.8 \text{ mm}}{4 \times 78.5} = 0.305 \text{ lps}$$

5.2 Diseño de laterales.

La tubería que abastece de agua a los goteros es la que se denomina lateral, ésta se encuentra colocada sobre la superficie del terreno (que es lo más común)

o enrrada.

Los materiales de que se construyen son generalmente plásticos flexibles (polietileno) o rígidos (PVC), requiriendo los primeros, uniones mecánicas y los segundos se conectan por medio de pegamento. Los plásticos flexibles de polietileno tienen aproximadamente un 30% menos del costos, por lo que son éstos los más usados.

Las tuberías laterales más usadas soportan presiones de 4 atmósferas, y sus diámetros van de 12 - 32 mm normalmente.

Diseñar el lateral consiste en determinar su diámetro, longitud, caudal que conducirá y número de emisores que servirá. Para esto es necesario calcular las pérdidas de carga a lo largo del lateral, para que estén dentro de lo permisible.

5.2.1 Pérdidas de carga permisibles.

El lateral se diseña de tal modo que la diferencia de descarga entre los goteros funcionando simultáneamente, no exceda el 10%, éste porcentaje ha sido estimado a través de la experiencia de muchos años. Para esto, es necesario que la diferencia de carga entre los goteros primero y último sea de 10 - 15% entre goteros de flujo laminar y de 20 - 25% entre goteros de flujo turbulento. El costo mínimo se logra repartiendo esta pérdida de carga entre el manifold y el lateral, de la siguiente manera:

$$\Delta H_L = 0.55 H$$

$$\Delta H_m = 0.45 H$$

En donde:

$$\Delta H_L = \text{pérdida de carga en lateral (m)}$$

$$\Delta H_m = \text{pérdida de carga en el manifold (m)}$$

$$\Delta H = \text{pérdida de carga permisible (m) en la unidad.}$$

Los sistemas de riego por goteo operan con cargas de 8, 10, 14 y 18 metros. Para este diseño se escogió la de 10 m, además se considera que la diferencia de carga máxima entre los goteros sea del 15%. Entonces tenemos que:

$$H = 0.15 (10 \text{ m}) = 1.5 \text{ m}$$

$$H_L = 0.55 (1.5 \text{ m}) = 0.825 \text{ m}$$

$$H_m = 0.45 (1.5) = 0.675 \text{ m}$$

5.2.2 Pérdidas de carga en el lateral. (J)

Para el cálculo de la pérdida de carga en la tubería del lateral se usa la ecuación de Hazen-Williams:

$$J = \frac{H_L}{L_L} \cdot \frac{100}{68} = \frac{(0.825)100}{68} = 1.21 \text{ m/100m}$$

donde:

J = pérdida de carga en m/100m

H_L = pérdida de carga permisible (m) en el lateral

L_L = longitud del lateral (m)

5.2.3 longitud del lateral (L_L)

Debe procurarse hasta donde sea posible, colocar los laterales en el terreno en las direcciones hacia donde no haya pendiente, es decir, deben colocarse siguiendo las curvas a nivel del terreno; al colocarlos de esa manera puede observarse la colocación apropiada de los laterales a todo lo ancho del terreno, como se indica en el plano No. 2, con una longitud del lateral de 68 m. Para diseñar se tomó la longitud del lateral igual a 68 metros, para luego comprobar si con esta longitud se obtiene una pérdida de carga que se encuentre entre los límites permisibles al hacer el cálculo del diámetro lateral.

5.2.4 Número de goteros por lateral (n_g)

Las hileras de árboles van también a lo largo de las tuberías laterales, y como los goteros están espaciados 4 m (d_g) sobre la línea de laterales, entonces

el número de goteros (n_g) en cada lateral será:

$$n_g = \frac{d_L}{d_g} = \frac{68}{4} = 17$$

El caudal en cada lateral (Q_L) está dado por el número de goteros multiplicado por la descarga en cada gotero (q_a)

$$Q_L = n_g q_a = 17 \times 16 \text{ lph} = 0.076 \text{ lps}$$

5.2.5 Cálculo del diámetro del lateral.

Para simplificar el cálculo del diseño del lateral se usa la gráfica No. 5, en la cual el diámetro del lateral está en relación con el número de goteros por lateral, (lo cual a su vez depende del espaciamiento sobre el lateral y de la longitud del lateral), descarga en los goteros (q_a), de la descarga total en el lateral (Q_L) y de pérdida de carga a lo largo del lateral (H). Los datos son:

$$L_L = 68 \text{ m}$$

$$r = 4 \text{ m}$$

$$n_g = 17$$

$$q_a = 16 \text{ lph}$$

$$Q_L = 272 \text{ lph}$$

$$H = 0.825$$

$$J = 1.21 \%$$

De acuerdo a la gráfica el diámetro del lateral es de 20 mm, al usar tubería de polietileno de 4 atmósferas de presión.

La pérdida de carga que se tiene en la gráfica es de 0.3 m, que es menor que la permisible, por lo que el diseño está correcto.

5.3 Diseño del manifold (tubo de múltiple salida)

El manifold es una tubería con salidas múltiples en las cuales van conectados los laterales; el manifold es abastecido por la tubería sub-principal o principal.

El diseño del manifold es similar al de los laterales, con la diferencia de que el espaciamiento entre salidas es mayor y trabajo con descargas mayores. La longitud del manifold está determinada por la distancia entre los laterales y el número de éstos que van conectados al manifold.

En el campo, el manifold debe colocarse siguiendo la inclinación del terreno; en una área plana la conexión entre el manifold y la tubería sub-principal (o principal si no existiera éste) deberá estar localizada en la mitad del manifold para dividir el flujo en la mejor forma posible y que las pérdidas de carga entre los extremos del manifold sean de la misma magnitud, este es el caso del terreno con que se cuenta, por lo tanto la conexión entre el sub-principal y el manifold se hará al centro de este último.

Las tuberías usadas para manifolds, sub-principales y principales de sistemas de riego por goteo, deben estar fabricados de materiales no corrosivos y que no se escamen, esto es para reducir al mínimo los taponamientos de los emisores.

Estas tuberías generalmente están enterradas, para que no obstaculicen las labores de cultivo. Los materiales más recomendables son polietileno y PVC, aunque pueden usarse otros.

5.3.1 Caudal (Q_m) y longitud (L_m) del manifold

Las ecuaciones a usar son:

$$Q_m = N_L (Q_a)$$

$$L_m = (N_L - 1) d_L$$

donde:

N_L = número de laterales a lo largo del manifold.

Q_a = caudal en cada lateral (lps)

d_L = espaciamiento entre laterales (m)

$Q_m = 4(0.076 \text{ lps}) = 0.304 \text{ lps (5 GPM)}$

$L_m = (4-1)5 = 15 \text{ m}$

5.3.2 Cálculo del diámetro del manifold.

El diámetro del manifold puede obtenerse de la gráfica No. 6, en base al caudal (Q en GPM) que conduce y a las pérdidas de carga en el manifold (J en pies /100 pies):

$$J = \frac{H_m}{L_m F} \cdot 100 = \frac{(0.675)}{15 \times 0.486} \cdot 100 = 9.26 \text{ pies /100 pies.}$$

J = pérdida de carga sobre 100 unidades de longitud

$J = 9.26 \text{ pies/100 pies.}$

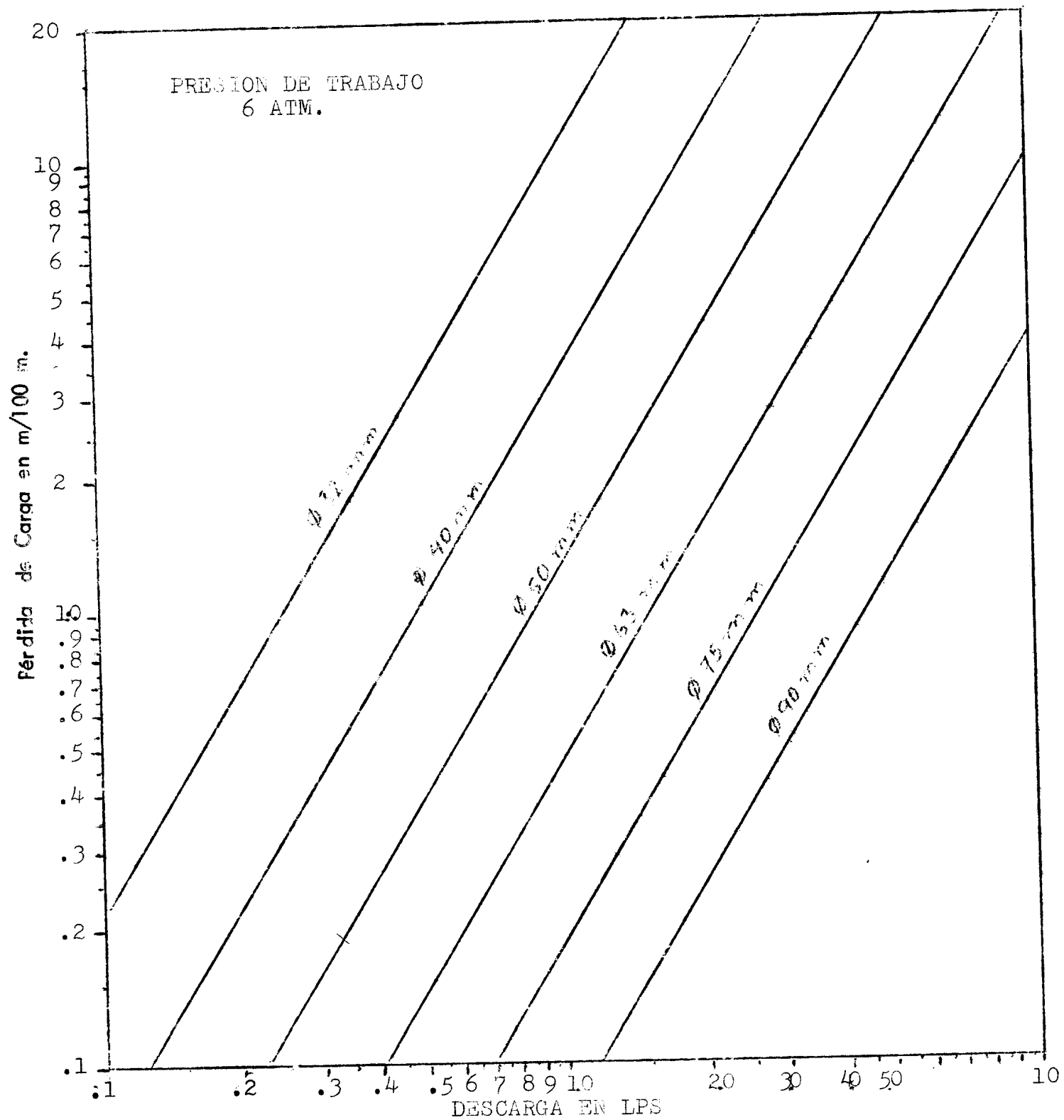
F : coeficiente de tabla No. 11, para compensar las pérdidas por salidas a lo largo del manifold. Su valor depende del número de salidas del manifold o sea del número de laterales.

Usando gráfica No. 6 para calcular el diámetro en base a $J = 9.26 \text{ pies/100 pies}$ y $Q = 0.304 \text{ lps}$, el diámetro adecuado usando tubería de polietileno es el mínimo de la tabla o sea 32 mm (1.25").

Cuadro No. 11 Coeficiente de reducción F para tubería de múltiples salidas.

salidas	F	salidas	F	salidas	F
1	1.000	8	0.415	20	0.376
2	0.639	10	0.402	25	0.371
3	0.535	12	0.394	30	0.368
4	0.486	14	0.387	40	0.364
5	0.457	16	0.382	50	0.361
6	0.435	18	0.379	100	0.356

GRAFICA No. 6 Pérdidas de carga en tubería rígida de polietileno o poliducto, para va-
rios diámetros, para diseñar tube-
ría múltiple y principal.



5.3.3 Determinación del coeficiente de uniformidad UEs para la sub-unidad.

Una sub-unidad está formada por el tubo múltiple (manifold) y los laterales unidos a él. La regulación de la presión de operación de cada sub-unidad se hace en la entrada del múltiple por válvulas.

El análisis de uniformidad del sistema, se hace en base a la sub-unidad crítica en cuanto a la uniformidad de aplicación; en el presente caso, se consideran las cuatro sub-unidades en igualdad de condiciones y el cálculo de UEs se efectúa de la siguiente manera:

$$UEs = 100(1 - \frac{1.27}{\sqrt{e}} \times v)(\frac{q_n}{q_a})_s$$

En donde:

UEs = coeficiente de uniformidad en la sub-unidad.

e = número de salidas por emisor o gotero.

v = coeficiente de variación de descarga proporcionado por fabricante (0.057)

Además:

$$\left(\frac{q_n}{q_a}\right)_s = 1.00 - \frac{X \text{ Rfn } \Delta H_m + 0.22 \Delta H_L}{H_a}$$

en donde:

Rfn = coeficiente de ajuste para el mínimo gasto en función de la conexión en el múltiple = 0.22

ΔH_m = pérdida de carga en el múltiple.

ΔH_L = pérdida de carga en el lateral.

H_a = presión promedio en el lateral.

X = exponente de descarga del emisor (gráfica 7)

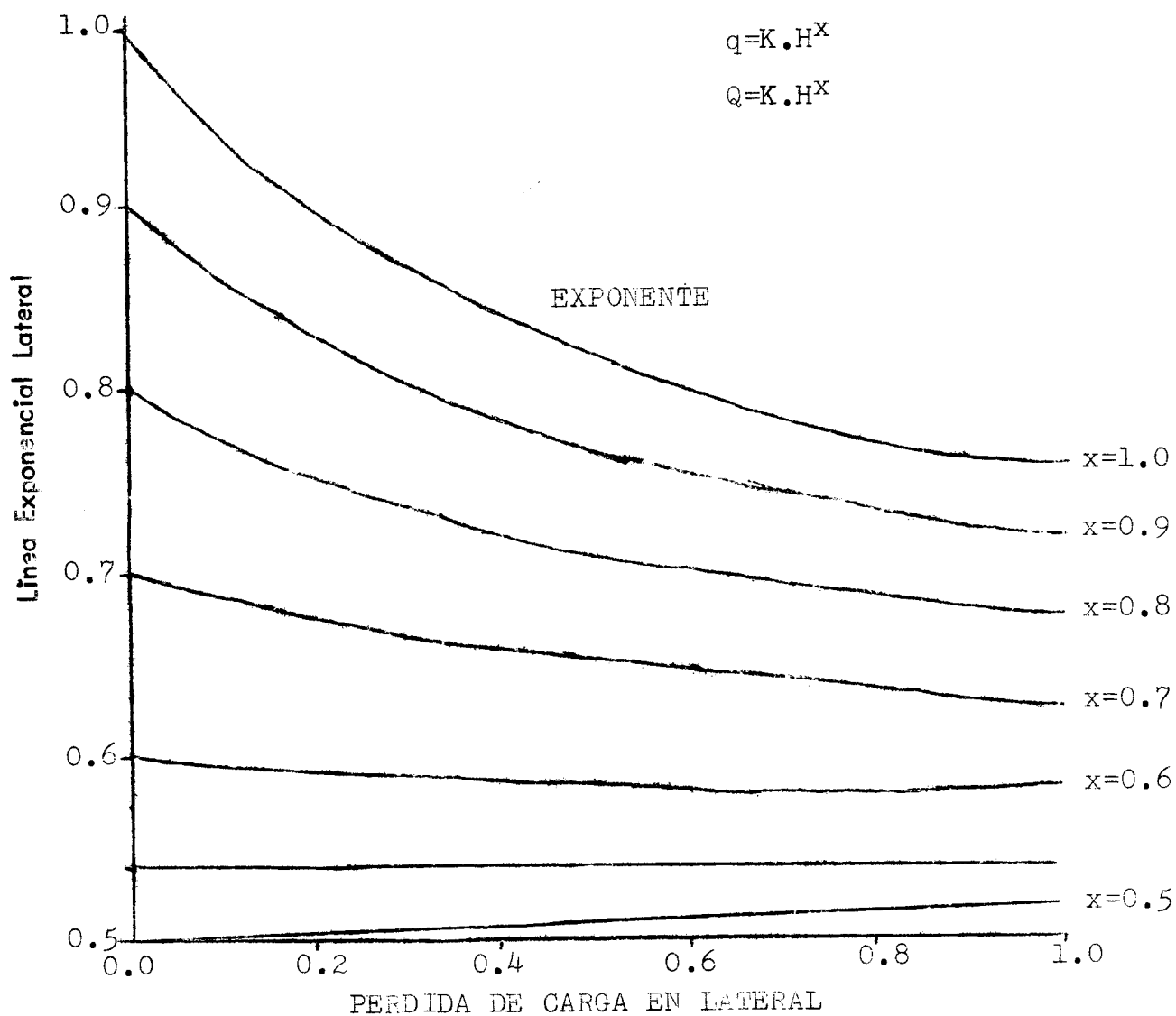
$$\left(\frac{q_n}{q_a}\right)_s = 1.00 - \frac{0.8 \times 0.22 \times 0.675 + 0.22(0.825)}{9.175} = 0.97$$

$$UEs = 100(1 - \frac{1.27}{\sqrt{4}} \times 0.057) 0.97 = 93.5 \%$$

De acuerdo al resultado obtenido de UEs, el diseño de prueba se considera aceptable, ya que la diferencia entre la UEs (93.5 %) y la UE considerada (94 %) es menor del 2 %.

GRAFICA No. 7

Relación entre los exponentes de descarga y las pérdidas de carga para varios emisores.



5.3.4 Diseño de cabeza de control y tubería principal.

Filtro:

Existen en un sistema de riego por goteo problemas de obstrucción de los emisores, los cuales pueden clasificarse en:

- a) Partículas sólidas en suspensión.
- b) Sedimentos de compuestos de hierro.
- c) Precipitados de carbonato de calcio.

Las partículas sólidas en suspensión pueden ser eliminadas a través de la implementación de un filtro adecuado, el cual puede ser de tres tipos:

- 1o. Filtro de malla, cuya limitación es que no es eficiente cuando los sedimentos son de materia orgánica.
- 2o. Filtro de tanque de grava, los cuales son más eficientes para sedimentos coloides o de materia orgánica.
- 3o. Filtro centrífugo, este tipo de filtro, como su nombre lo indica, trabaja a base de fuerza centrífuga. Por medio de él se pueden eliminar casi todas las partículas que causan problemas de obstrucción.

En el presente trabajo se selecciona el filtro centrífugo por considerarse el más eficiente; el filtro deberá tener capacidad para filtrar 0.305 lps como mínimo y una pérdida por fricción máxima de 3.5 m.

Selección de tubería principal y requerimientos de la bomba:

El tamaño de la tubería principal debe seleccionarse de acuerdo a su costo y a la pérdida de carga por fricción. La diferencia de presiones entre el principal y las subunidades, no afectan la uniformidad de emisión del sistema, siempre y cuando se incluyan válvulas de control de presión a la entrada de cada tubo múltiple o manifold.

En el presente caso la capacidad del sistema deberá abastecer una subunidad, por lo que el caudal será de 0.305 lps. La longitud de la tubería principal es de 100 m, las pérdidas de carga para 100 m de tubería, de acuerdo a la gráfica No. 6 son de 0.17 m para un diámetro de 2" y para un diámetro de 1 ½ " es de 0.45 m.

El costo de la tubería de diámetro de 2" es de Q 131.00 y el de la tubería de 1.5" de diámetro es de Q 98.00, se selecciona entonces la tubería de 1.5" ya que su costo es menor y las pérdidas de carga en la misma no son muy significativas, comparadas con las pérdidas de carga por fricción en la tubería de diámetro de 2".

Carga requerida para la selección de la bomba:	
Carga promedio en la unidad crítica	10.00 m
Fricción en la principal	0.45 m
Fricción en el filtro	3.50 m
Pérdidas misceláneas	0.05 m
(10% de fricción en principal)	
Carga total (H_T)	15.00 m

$$HP = \frac{Q H_T}{K E_f} = \frac{0.305(15.0)}{0.76 (70)}$$

$$HP = 0.086$$

$$K = 0.76 \text{ (Constante)}$$

De acuerdo a los requerimientos del sistema la potencia del motor es de 0.0805 HP

Debido a que el sistema trabaja casi ininterrumpidamente (20 hrs. al día), con poco caudal y poca carga, es conveniente instalar un hidroneumático para que el motor y la bomba no estén funcionando las 20 horas, sino que solo bombeen el agua dentro del tanque hidroneumático, y luego automáticamente dejen de funcionar hasta que el hidroneumático, al irse vaciando, por medio de controles au-

tomáticos haga que funcionen de nuevo bomba y motor; de esta manera la presión del sistema es controlada en el hidroneumático. Para que el motor se encienda cada 16 minutos (aproximadamente 4 veces por hora) es necesario un tanque de hidroneumático de membrana de 82 galones.

5.3.5 Estimación de costos.

A continuación se presenta una estimación de costos del equipo de riego por goteo:

NOMBRE DEL EQUIPO	CANTI- DAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
Motor eléctrico mono- fásico de 1/3 HP con bomba centrífuga, hi- droneumático de 82 ga- lones y accesorios	1	420.00	420.00
Filtro	1	200.00	200.00
Caseta	1	150.00	150.00
Tubería principal de poliducto de 1.5" de diámetro y 60 PSI	100 m	0.98	98.00
Tubería múltiple de po- liducto de 1 $\frac{1}{4}$ " de diá- metro y 60 PSI	65	0.55	37.75
Tubería lateral poli- ducto de $\frac{3}{4}$ " de diáme- tro y 60 PSI	1088 m	----	264.00
Góteros de salida múl- tiple con 4 salidas y 4 lph en cada salida	272	1.40	380.80
Tee de 1 $\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ "	4	0.47	1.88
Llave de compuerta de 1 $\frac{1}{4}$ "	4	19.60	78.40

NOMBRE DEL EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
Llave de compuerta de $1\frac{1}{2}$ "	1	21.80	21.80
Tee de $1\frac{1}{2}$ " a $1\frac{1}{4}$ "	4	1.40	5.60
Tee de $1\frac{1}{4}$ " a $1\frac{1}{4}$ "	4	1.12	4.48
Tapón final de $1\frac{1}{2}$ "	1	0.66	0.66
Tapón final de $1\frac{1}{4}$ "	8	0.57	4.56
Tapón final de $\frac{3}{4}$ "	16	0.47	7.52
Costo Total			<u>1675.45</u>

5.3.6 Consideraciones sobre operación.

De acuerdo al diseño del sistema de riego por goteo, el área ha sido dividida en 4 sub-unidades de operación, como puede verse en el plano No. 2; de acuerdo a los requerimientos de riego deberá suministrarse una lámina bruta de 6.8 cm , cada 16 días, operando el sistema en cada sub-unidad durante 78 horas. De acuerdo con estas estimaciones se diseñó la operación del sistema en la siguiente forma:

La sub-unidad No. 1 deberá empezar a operar de las 12:00 del día hasta las 8:00 A.M. del día siguiente, completando así 20 hrs. de operación, haciéndose el cambio de operación a la siguiente sub-unidad cerrando la válvula de la sub-unidad 1 y abriendo la válvula de la sub-unidad 2 y así sucesivamente hasta completar las 4 sub-unidades; volviéndose a empezar el ciclo descrito. Esto implica que el sistema deberá estar operando sin interrupción durante la época de requerimiento de riego.

Para ajustar la operación del sistema en la época lluviosa será necesario la instalación de un pluviómetro que nos permita cuantificar el agua de lluvia.

6.- DEPOSITO PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA.

Es necesario construir un depósito para captar el agua que viene del pozo de la Facultad de Ingeniería, ya que la bomba que trabaja en este pozo bombea 9.2 lps ($33.12 \text{ m}^3/\text{hora}$) o sea que éste es el caudal disponible (Q_d), el depósito se calculó así:

DATOS:

Caudal a usar en el riego por goteo = 0.305 lps
($1.098 \text{ m}^3/\text{h}$)

Caudal a usar en el riego por aspersión = 6.75 lps
($24.3 \text{ m}^3/\text{h}$)

Operación diaria goteo = 20 horas

Operación diaria aspersión = 10 horas

Vol., goteo = $20 \times 1.098 = 21.96 \text{ m}^3/\text{día}$

Vol., por aspersión = $10 \times 24.3 = 243 \text{ m}^3/\text{día}$

Para reponer el gasto usado en goteo la bomba con un $Q_d = 33.12/\text{h}$ debe trabajar 40' y para reponer el gasto de aspersión debe trabajar 7.34 horas (7 horas con 20 minutos), o sea que para reponer el gasto de ambos sistemas, la bomba del pozo de la Facultad de Ingeniería debe trabajar ocho horas diarias.

En 7.34 horas:

Caudal que entra = 7.34 (33.12) = 243 m^3

Caudal que sale = 7.34 (24.3) = 178.4 m^3
= 64.6 m^3

Diferencia (remanente a almacenar para gastarse en aspersión en las siguientes 2.66 horas para completar las 10 horas de riego)

Volúmen de goteo = $+21.96 \text{ m}^3$
Suma = 86.56

10% de margen de seguridad = $+8.66$

Volúmen del depósito = 95.22 m^3

Dimensiones del depósito:

Altura = 2.5 mt.

Base = 6.2 mt x 6.2 mt.

Costo estimativo Q 100/m². Lo que dá un costo total de Q 3,800.00

NOTA:

El tiempo que debe trabajar la bomba que surte el depósito depende de la forma de como se esté operando el sistema, los cálculos anteriores son para cuando toda el área está cultivada y se está regando 10 horas diarias en riego por aspersión y 20 horas diarias en riego por goteo. De no ser así deben hacerse los cálculos para determinar la manera más adecuada de operación.

7.- RESUMEN DE COSTOS.

En el resumen de costos se presentan los costos de los sistemas de riego por aspersión y goteo, así como las obras de almacenamiento y conducción necesarios para ambos sistemas.

Sistema de riego por aspersión	3,933.05
Sistema de riego por goteo	1,675.45
Instalación (10% de costos de ambos sistemas)	561.00
Conducción (20 tubos de PVC de 4" de diámetro y 125 PSI)	376.60
Déposito de agua para 95 m ³	<u>3,800.00</u>
Total	10,346.10

8.- CONCLUSIONES.

- 1.- De acuerdo a la disponibilidad de área y caudal existe la posibilidad de implementar un área de 4 Ha., bajo riego en el campo experimental de la Facultad de Agronomía.
- 2.- Del área con posibilidades de riego se propone que 3.5 Ha., sean regadas con un sistema de riego por aspersión y 0.5 Ha., con el sistema de riego por goteo.
- 3.- Para el establecimiento de ambos sistemas es necesario la construcción de un tanque de almacenamiento con capacidad de 95 m³.
- 4.- Las especificaciones del equipo y materiales necesarios para la instalación del sistema de riego por aspersión y por goteo se describen en los incisos 5.2.8 y 6.3.5 respectivamente.
- 5.- En cuanto a la operación de riego por aspersión se aplicará una lámina de riego de 4.1 cm., (1.63 pulg.), cada 7 días, el sistema deberá operarse de acuerdo con las normas establecidas en el inciso 5.2.9.
- 6.- En lo referente a la operación con el sistema de riego por goteo la lámina de riego a aplicar es de 1.7 cm., cada 4 días, para lo cual el área se dividió en 4 sub-unidades, las formas de operación se presentan en el inciso 6.3.6.
- 7.- El costo estimado por cotizaciones a la presente fecha es de:

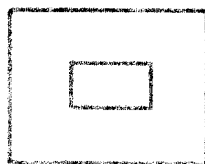
Sistema de riego por aspersión	3,933.05
Sistema de riego por goteo	1,675.45
Instalación de ambos sistemas	561.00
Obras complementarias	4,176.00
Costo total	10,346.10

9.- RECOMENDACIONES.

- 1.- Para la instalación de los sistemas de riego planteados en el presente trabajo se recomienda establecer un convenio con las autoridades correspondientes para garantizar el derecho de abastecimiento de agua necesaria para riego y definir la forma de pago de energía consumida por la operación de la bomba del pozo.
- 2.- Para la adquisición del equipo necesario, se recomienda interesar a las casas distribuidoras para que participen en el proyecto a manera de disminuir la inversión inicial.
- 3.- Se considera conveniente, una vez instalados ambos sistemas implementarlos con diferentes tipos de aspersores y goteros para desarrollar trabajos de evaluación, en cuanto a la distribución y aplicación del agua de riego como una actividad docente y de investigación.

10. BIBLIOGRAFIA

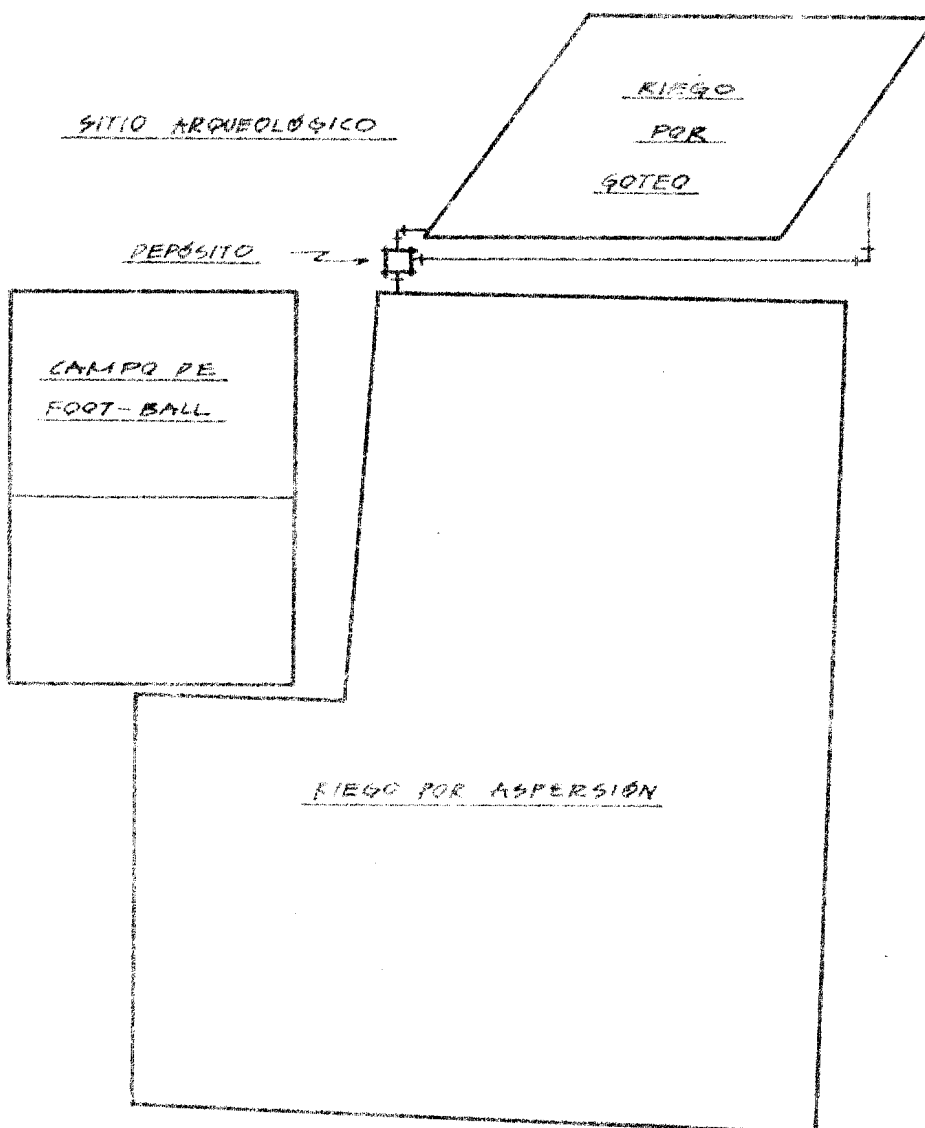
- 1.- CLARENCE J., MURD. Guía para el riego por aspersión. México, AID/RTAC, 1974. 90 p.
- 2.- CHALULEU PACHECO, R.L. Consideraciones y cálculo del sistema de riego por goteo y su uso en Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1974. 62 p. (Tesis Ing. Civil).
- 3.- GOLDBERG, DAN. Evaluación agrotécnica de los métodos de riego. Rehovot Israel, Universidad Hebrea de Jerusalem, trad. por: México, AID/RTAC, 1974. 7 p.
- 4.- GOLDBERG, DAN. Métodos y técnicas de riego. Rehovot Israel, informe presentado ante la comisión económica para Asia y el lejano Oriente/Naciones Unidas. trad. por México, AID/RTAC, 1971. 12 p.
- 5.- GONZALEZ H. , OSCAR. Estimación de requerimientos de riego en Guatemala. Chapingo, México, Colegio Nacional de Post-graduados, Escuela Nacional de Agricultura, 1974. 101 p. (Tesis de Maestría en Riego y Drenajes).
- 6.- GUNDERSEN, WILLAND. Riego y manejo del agua. Curso de Riegos y Drenajes I. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1974. 221 p. (Hojas mimeografiadas).



EDIFICIO V



EDIFICIO E



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
FACULTAD DE AGRONOMIA.
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA.

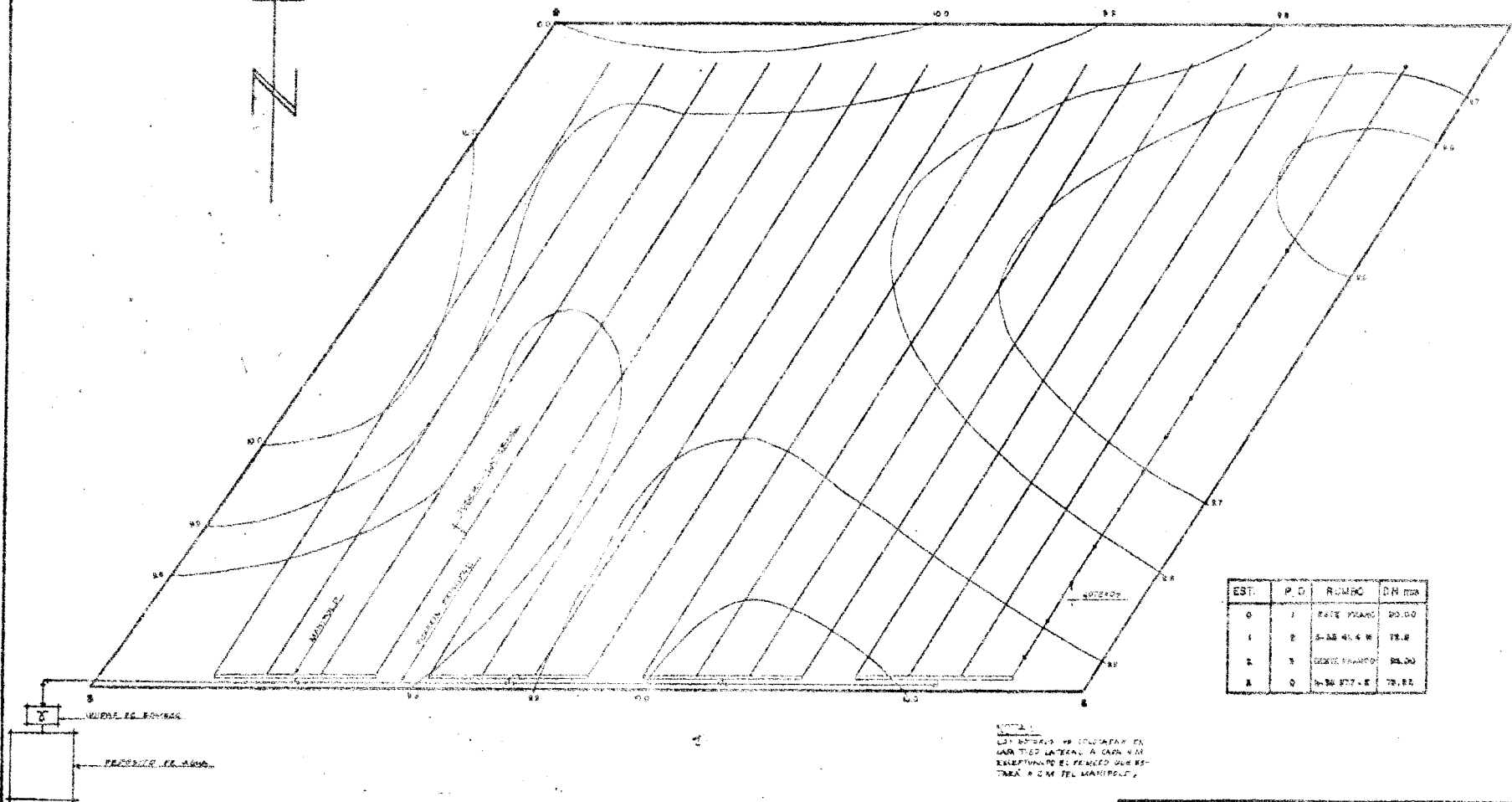
AREA DISPONIBLE PARA RIEGO

ESCALA:
1:2000

LEVANTO Y DIBUJO:
JORGE SANDOVAL.

FECHA:
DIC/77

REVISO:
ING. AGR. OSCAR GONZALEZ



EST.	P.O.	RUMBO	DH. mts
0	1	NORTE 45° E	20.00
1	2	S-45° 45' W	15.0
2	3	GRUPO 15° E	25.00
3	0	N-30° 30' E	20.00

NOTA: LAS LINEAS DE CONTORNO SON LINEAS DE ELEVACION Y NO DEPENDEN DEL TIPO DE SUELO QUE SE ENCONTRE EN EL TERRENO.

FACULTAD DE AGRONOMIA U.S.A.C.
 PLANO DEL AREA DE HORTICULTURA DESTINADA AL
 PROYECTO DE FRUTALES BAJO RIEGO POR GOTEO
 AREA: 5,490.00m² ESCALA: 1:200.

CALCULO Y DIBUJO: JORGE SANDOVAL

W.B. ASESOR

ING. AGR. OSCAR GONZALEZ



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1546

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

IMPRIMASE:


Ing. Agr. Rodolfo Estrada González
DECANO EN FUNCIONES

