

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

*ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR
ASPERSION EN LA ESTACION EXPERIMENTAL DEL ICTA, LA ALAMEDA,
CHIMALTENANGO.*

PRESENTA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

EDUARDO ANIBAL TOLEDO MENESES

en el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, MAYO DE 1997.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**RECTOR
DR. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO**

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. José Rolando Lara Alecio
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. William Roberto Escobar López
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Alejandro Arnoldo Hernández Figueroa
VOCAL CUARTO	Br. Estuardo Enrique Lira Prera
VOCAL QUINTO	Br. Mynor Estuardo Ochaeta
SECRETARIO	Ing. Agr. Guillermo E. Méndez Beteta

Guatemala, mayo de 1997.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Señores Representantes:

En cumplimiento a las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de san Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION EN LA ESTACION EXPERIMENTAL DEL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO.

Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola en en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente trabajo de investigación llene los requisitos para su aprobación, agradezco la atención a la presente.

Atentamente:

Eduardo Aníbal Toledo Meneses

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Todo poderoso que ha iluminado mi camino para alcanzar esta meta.

MIS PADRES

María Eliza Meneses de Toledo.
Amilcar R. Toledo Barrios.
por su apoyo brindado en todo momento.

MIS HERMANOS

Amilcar, Francisco y Vinicio
Con mucho cariño.

MIS AMIGOS

Juan Carlos, Mario y Hector Manolo.
Por su apoyo sincero durante el desarrollo de este trabajo.

**MIS COMPAÑEROS
EN GENERAL**

Como recuerdo y muestra de nuestra amistad compartida.

AGRADECIMIENTO

A:

**Mi asesor Ing. Agr. Msc. Eddi Alejandro Vanegas Ch.
Por su apoyo y orientación brindada para la ejecución de este trabajo.**

**Ing. Agr. Raul Macz
Por su colaboración directa en la fase de campo de dicha
investigación**

**ICTA, La Alameda, Chimaltenango por brindar su colaboración en
el desarrollo de la investigación.**

CONTENIDO

1. INTRODUCCION 1

2. MARCO TEORICO. 2

2.1 Marco conceptual. 2

2.1.1 Relación agua-suelo-planta 2

**2.1.2 Evapotranspiración, Disponibilidad de agua para los cultivos
 y frecuencia de riego. 3**

2.1.3. Medición del agua en el suelo. 6

2.1.4. Frecuencia de Riego 10

2.1.5. El riego por aspersión. 10

2.2 MARCO REFERENCIAL. 13

2.2.1. Descripción general del área de estudio 13

3. OBJETIVOS 15

4. METODOLOGIA 16

4.1. Estudios Climáticos 16

4.2. Estudios Hidrológicos 16

4.2.1. Disponibilidad de Agua. 16

4.2.2. Calidad del Agua 17

4.2.3. Determinación de la evapotranspiración potencial 17

4.3. Estudios Edafológicos 18

4.3.1. Muestreo de Suelos 18

**4.3.2. Determinación de la Humedad a capacidad de campo
 (CC) y a punto de marchités permanente (PMP) 19**

4.3.3. Determinación de la densidad aparente. 19

4.3.4. Análisis Textural 19

4.3.5. Curva de retención de humedad en el suelo. 19

4.3.6. Cálculo de la lámina de agua disponible 19

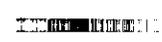
4.3.7. Velocidad de infiltración en el suelo 20

4.4. Estudios Topográficos. 21

5. PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION 21

5.1. Condiciones Generales de Diseño 21

5.2. Cálculos básicos para el dimensionamiento de la Red de Riego 22



5.2.1. Lámina de humedad disponible (LHD)	. . . . .	.22
5.2.2. Lámina neta de riego, o lamina de humedad, rápidamente aprovechable (LHRA)	. . . . .	.22
5.2.3. Lámina Bruta de Riego (LBR)	. . . . .	.23
5.2.4. Evapotranspiración Real (Etr)	. . . . .	.23
5.2.5. Frecuencia de Riego (Fr)	. . . . .	.23
5.2.6. Lámina Neta Ajustada (LNA)	. . . . .	.23
5.2.7. Lámina Bruta Ajustada (LBA)	. . . . .	.23
5.2.8. Intensidad de Riego (Ir)	. . . . .	.23
5.2.9. Número de Turnos de Riego	. . . . .	.24
5.2.10. Area a Regar por Día (Ard)	. . . . .	.24
5.2.11. Area a Regar Por Turno (Art)	. . . . .	.24
5.2.12. Espaciamiento Entre Laterales y aspersores (Esp)	. . . . .	.24
5.2.13. Número de posiciones por Día (NPD)	. . . . .	.24
5.2.14. Número de Laterales Funcionando Simultáneamente (Lfs)	. . . . .	.24
5.3. Requerimiento de caudal	. . . . .	.24
5.3.1. número de aspersores por lateral (No.asp)	. . . . .	.25
5.3.2. Area a regar por lateral (Arl)	. . . . .	.25
5.3.3. Caudal del aspersor (Qasp)	. . . . .	.25
5.3.4. Caudal de la tubería principal (Qtp)	. . . . .	.25
5.3.5. Selección del Aspersor	. . . . .	.25
5.4. Cálculo del diámetro de la tubería principal y lateral	. . . . .	.26
5.5. Requerimiento de potencia	. . . . .	.26
5.5.1. Carga dinámica total (CDT)	. . . . .	.26
5.5.2. Potencia de la bomba al eje	. . . . .	.28
5.5.3. Potencia de Motor	. . . . .	.28
5.6. Características de la unidad de bombeo	. . . . .	.28
5.6.1. Carga neta positiva de succión (Npsh)	. . . . .	.28
5.6.2. Curva Característica de la Bomba en el mercado	. . . . .	.29
5.7. Análisis de costos	. . . . .	.29
6. RESULTADOS	. . . . .	.30
6.1. BALANCE HIDRICO GENERAL	. . . . .	.30
6.2. ESTUDIOS HIDROLOGICOS	. . . . .	.31
6.2.1. Disponibilidad de Agua	. . . . .	.31
6.2.2. Calidad del agua para riego	. . . . .	.33
6.2.3. Determinación de la Evapotranspiración Potencial	. . . . .	.34

6.2.4. Estimación de la Evapotranspiración potencial par el diseño del sistema de riego..	37
6.3. ESTUDIOS EDAFOLOGICOS	40
6.3.1. Curvas de retención de humedad	40
6.3.2. Lámina de humedad disponible	42
6.3.3. Velocidad de Infiltración en el suelo	44
6.4. ESTUDIOS TOPOGRAFICOS	47
7. PROPUESTA DEL DISEÑO DE RIEGO POR ASPERSION.	50
7.1. <i>Datos generales.</i>	50
7.2. <i>Cálculos básicos</i>	50
7.3. <i>Requerimiento de caudal</i>	52
7.4. <i>Cálculo de tubería</i>	53
7.5. <i>Requerimiento de potencia</i>	53
7.5.1. Carga dinámica total (CDT)	53
7.5.2. Potencia de la bomba (Hp)	53
7.5.3. Potencia al eje de la bomba.	54
7.5.4. Potencia del motor	54
7.6. <i>Características de la unidad de bombeo.</i>	54
7.6.1. Carga neta positiva de succión (Npsh)	54
7.7 <i>Análisis de Costos</i>	56
7.7.1. Costo Total por hora de riego	57
8. CONCLUSIONES.	58
9. RECOMENDACIONES	60
10. BIBLIOGRAFIA.	61
APENDICE	63

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: Cálculo de diámetro de tubería principal y lateral. . . . .	.26
CUADRO 2: Informe de Análisis de Agua en función del tiempo de bombeo del pozo mecánico, ICTA. . . . .	.33
CUADRO 3: Comportamiento de la humedad en el suelo para dos estratos diferentes de la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango. . . . .	.42
CUADRO 4: Diámetro de tubería y condiciones del fluido para el sistema de riego por aspersión,. . . . .	.53
CUADRO 5A: Profundidad radicular de diseño de algunos cultivos. . . . .	.64
CUADRO 6A: Déficit permitido de manejo (DPM) para varios cultivos. . . . .	.65
CUADRO 7A: Coeficientes hídricos (Kc) de algunos cultivos . . . . .	.66
CUADRO 8A: Factor de disminución del diámetro de tiro de los aspersores de acuerdo con la velocidad del viento . . . . .	.66
CUADRO 9A: Valores de K en accesorios para pérdidas menores por fricción . . . . .	.68
CUADRO 10A: Variación de los registros de Evapotranspiración potencial para diferentes períodos de tiempo en la esta . . . . .	.68
CUADRO 11A - 16A: Tablas de frecuencia acumulada de Evapotranspiración potencial por mes para las condiciones de La Alameda, Chimaltenango. . . . .	.69
CUADRO 17A: Cotización por la implementación de un equipo de bombeo con capacidad para 160 GPM y una carga dinámica total de 125'. . . . .	.74
CUADRO 18A: Cotización sobre equipo de riego. . . . .	.74

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 :	Curva de Calibración de una sonda de neutrones	9
FIGURA 2:	Ubicación y localización de la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.	14
FIGURA 3:	Balance Hídrico General para la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango	30
FIGURA 4:	Prueba de bombeo por fases para el pozo mecánico de la estación experimental	32
FIGURA 5:	Relación Caudal-Descenso para el pozo de la estación experimental del ICTA, Chimaltenango.	32
FIGURA 6:	Curvas de frecuencia acumulada para valores de Evapotranspiración potencial en los diferentes meses, bajo las condiciones de La Alameda, Chimaltenango.	39
FIGURA 7:	Curvas de retención de humedad a tres profundidades en el perfil del suelo en el ICTA, La Alameda Chimaltenango.	41
FIGURA 8:	Curvas de disponibilidad del agua en el suelo a diferentes profundidades en función de la tensión, en la estación experimental ICTA, La Alameda, Chimaltenango.	43
FIGURA 9:	Figuras que muestran el comportamiento de la lámina de humedad disponible en el perfil del suelo, para dos estratos diferentes en la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.	43
FIGURA 10:	Plano de isolíneas de velocidad de infiltración para el área de la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango. . .	46
Figura 13:	Curva característica de la bomba:	55
FIGURA 14A:	Monograma de Hazen-Williams	67
FIGURA 15A:	Curvas del porcentaje de frecuencia acumulada de Evapotranspiración potencial para los diferentes meses bajo las condiciones de la Alameda, Chimaltenango	72
FIGURA 16A:	Planos de la propuesta del sistema de riego por aspersión . . .	73

ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION
EN LA ESTACION EXPERIMENTAL DEL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO.

"STUDY AND DESING FOR THE IMPLEMENTATION OF OVERHEAD IRRIGATION SYSTEM IN THE
ICTA RESEARCH AREA ALAMEDA, CHIMALTENANGO"

RESUMEN

El presente trabajo consistió en dar a conocer el tipo de estudios fundamentales y necesarios para el diseño y operación de un sistema de riego como también el proponer un sistema de riego por aspersion en la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango, con el propósito que los estudios sirvan de base para la investigación experimental a la vez que permitan conocer todas las condiciones a través de las cuales pueda utilizarse eficientemente el recurso hídrico, que los ensayos experimentales tengan el mejor control posible en cuanto a su requerimiento de agua y que pueda extenderse la investigación en el campo del riego.

Los estudios realizados fueron los siguientes:

Estudios climáticos e hidrológicos: En este aspecto se realizó el balance hídrico general para definir la temporada de riego poniéndose énfasis en el cálculo de la evapotranspiración potencial (Etp), para ello se utilizaron ecuaciones empíricas y el método del tanque tipo A, ambos métodos se compararon con el método del lisímetro a través de un análisis estadístico de correlación, donde la ecuación de Penman y el tanque tipo A presentaron la mejor estimación de la Evapotranspiración potencial. Por otro lado se infirió sobre la frecuencia con que ocurre un mismo valor de Evapotranspiración potencial durante cada uno de los meses del año. Esto permitió crear las curvas de distribución de la frecuencia acumulada de la Evapotranspiración potencial para las condiciones de la región, las cuales se proponen como nuevo método para ser utilizadas en el diseño y operación de sistemas de riego en el área.

Estudios edafológicos: Se consideraron las características que están directamente relacionadas con el movimiento del agua en el suelo, como: la velocidad de infiltración, la retención y capacidad de almacenamiento. En base a ello, se pudo establecer que toda el área presenta una alta velocidad

de infiltración, lo cual permite operar el riego bajo altas intensidades sin causar encharcamientos, por otro lado, la mayor cantidad del agua almacenada en los primeros 30 cm. se encuentra retenida a baja tensión (0.3 - 0.6 atm) y a medida que se profundiza en el perfil del suelo la retención de la humedad es mas fuerte. Esto indica que si se trabaja con cultivos de poca profundidad radicular, se abatirá rápidamente la humedad del suelo y será necesario regar con más frecuencia, lo contrario ocurrirá con cultivos de mayor profundidad radicular. En cuanto a la capacidad de almacenamiento, el suelo presenta un amplio espacio poroso, esto conlleva a que exista poca capacidad de almacenamiento y en consecuencia deberá aplicarse láminas de riego pequeñas a intervalos cortos (5 ó 7 días).

Estudio topográfico: La importancia de esta información es principalmente por que sirvió para ordenar las parcelas experimentales, diseñar la red de riego, controlar las diferentes posiciones de los accesorios de riego y para mapear todas las características posibles del área de estudio. Esto permitirá obtener en forma inmediata la información de base para el establecimiento de un ensayo experimental como también contribuirá a la interpretación de ciertos fenómenos durante el manejo de un experimento. Por otro lado este trabajo permitió determinar que el suelo presenta una pendiente de 0.2% por lo que es difícil esperar un problema por escorrentía.

Con base a toda esta información se realizó el diseño de un sistema de riego por aspersión y se determinó que no es posible regar el total del área de estudio por razones de poca disponibilidad de caudal y por no tener capacidad operativa para manejar caudales mayores al disponible. Bajo esas condiciones se propuso un sistema capaz de regar 5.588 hectáreas, con un tiempo de riego de 3 horas, con tres turnos al día y una frecuencia de 7 días. Para ello es necesario el funcionamiento de 2 laterales simultáneamente con 24 aspersores cada una y una bomba centrífuga horizontal eléctrica de 7.5 Hp. de potencia, lo que representa, para la institución un costo de operación de Q. 41.02/hora de riego para el año 1997.

1. INTRODUCCION:

La estación del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) de la Alameda, Chimaltenango, es una institución gubernamental en donde se realiza investigación agrícola.

En los últimos años ha tenido dificultad en cuanto al manejo de los ensayos experimentales desde el punto de vista de su requerimiento de riego, por falta de información base del área de la estación, pero principalmente porque no se cuenta con un sistema de riego adecuado para aplicar el agua a los cultivos. Por lo tanto, no se ha podido establecer ensayos en los cuales se requiere el absoluto control del agua que se aplica a los cultivos (ej. frecuencias de riego, demandas de los cultivos, etc.).

Bajo estas condiciones de operación en la estación del ICTA, esta investigación consistió en estudiar las condiciones físicas del área de la estación experimental que están relacionadas con el uso y consumo del agua y proponer un sistema de riego por aspersión. Dicha investigación consistió en el análisis de datos climatológicos de las últimas dos décadas, medición de la demanda evapotranspirativa potencial por métodos directos e indirectos, la creación de las curvas de frecuencia de Etp, el conocimiento de las características topográficas del área a través de métodos topográficos, determinación de las características del suelo relacionadas con el movimiento, almacenamiento y retención del agua, y medición de la disponibilidad y calidad del agua para riego. Todo esto con el fin de tener una buena información de base y tener los elementos necesarios para realizar un diseño de riego por aspersión que sea lo más efectivo y adecuado para la estación experimental.

Con esto se trata de eliminar los problemas que se tienen para la generación de información agronómica a través de ensayos experimentales, que esta labor se realice activamente durante toda la época del año y contrarrestar algunos problemas directos como:

- La poca actividad experimental durante la época seca.
- El no poder implementar ensayos sobre aspectos hidricos de los cultivos (demandas de agua, stress hídrico, láminas de humedad, etc).
- La mala operación del riego, lo cual repercute en el costo del mismo y la mala distribución.

Se realizaron todos los estudios necesarios en cuanto al clima, hidrología, suelos y topografía del área para obtener toda la información de base posible. En cuanto al aspecto del clima se logró determinar a través del análisis de datos climatológicos de las últimas dos décadas que la época de demanda de riego es de seis meses que va de noviembre a abril. Desde el punto de vista hidrológico,

pudo establecerse que la ecuación de Penman y el método del tanque tipo A, son los métodos indirectos que mejor se ajustan para estimar el valor de la evapotranspiración potencial, además se logró crear las curvas de frecuencia de la evapotranspiración potencial, las cuales se proponen como nuevo método en la estimación del valor de Etp para el diseño y operación un sistema de riego en esa área. El estudio del comportamiento de la humedad en el suelo es una información de base muy valiosa y a la vez permitió tomar criterio sobre el déficit permitido de manejo. El estudio topográfico permitió; principalmente mapear algunas de las características más importantes del área, ver la distribución de las parcelas experimentales y diseñar la red de riego.

2. MARCO TEORICO

2.1 Marco conceptual.

2.1.1 Relación agua-suelo-planta:

Una de la principales vías que lleva el agua del suelo a la atmósfera, es la cubierta vegetal. Como todos los procesos de la vida tienen lugar en un medio acuoso, el agua del suelo juega un papel vital en el crecimiento de las plantas.

La importancia del efecto del agua en la respuesta de las plantas, justifica la consideración especial dentro de este tema. El perfil del suelo, modula el ciclo hidrológico por su efecto en la infiltración, el drenaje y por medio de su capacidad de almacenamiento. Entonces, la cubierta vegetal del suelo juega un papel de igual importancia.

El sistema de raíces de las plantas, presenta menor resistencia al movimiento del agua que la superficie del suelo en estado de desecación. Las plantas tienen poca capacidad de almacenamiento del agua que pasa por ellas todos los días, pero sirven de conexión hidráulica entre el suelo y la atmósfera, con una acción reguladora colectiva apropiada a sus fines evolutivos. H. Gardner, (6).

Para vivir, la planta debe desde luego absorber el agua que ha servido para disolver las sales minerales y las materias orgánicas del suelo y después llevarlas al lugar de su asimilación. Una parte del agua absorbida del suelo queda fijada a la planta con las sales minerales que transporta, el resto es transpirada por su sistema foliar. El completo desarrollo sólo se alcanza si el vegetal dispone permanentemente de toda el agua que necesita. La finalidad del riego es evitar una falta momentánea o permanente de agua, lo cual implica un

perfecto conocimiento de las relaciones existentes entre la planta y el agua. S. Jean (12).

La disposición de los horizontes en el perfil, espesor y características texturales y estructurales de los mismos, permiten en unión a los datos de velocidad de agotamiento del agua por efecto de los factores climáticos, obtener la información que se requiere para preparar el plan de riego bajo los componentes de: lámina de agua a aplicar, frecuencia o intervalo de riego y tiempo o duración del riego. La presencia o no de sales en el suelo o el agua de riego es un factor adicional a considerar. H. Israelsen (11).

2.1.2 Evapotranspiración, Disponibilidad de agua para los cultivos y frecuencia de riego:

2.1.2.1.) Evapotranspiración:

La evapotranspiración, no es más que el gasto de agua en el suelo, debida a la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas. La transpiración está causada por un gradiente de presión entre las hojas y la atmósfera que las rodea, más que por el crecimiento de los vegetales. Gurovich (9).

2.1.2.2.) Uso-Consumo o Uso consuntivo:

Se define como " La cantidad de agua utilizada por los cultivos para la formación de tejidos más la cantidad que se pierde por las hojas para ser reintegrada a la atmósfera".

A dicha cantidad de agua, utilizada por las plantas en cantidades variadas, dependiendo de su requerimiento en sus diferentes etapas de desarrollo, se le conoce como coeficiente de uso hídrico (Kc). Gurovich (9).

2.1.2.3.) Determinación de la evapotranspiración:

Los distintos procesos por los cuales el agua puede ser añadida o eliminada de la zona radicular del suelo están íntimamente relacionados entre sí debido a la exigencia física de la conservación de la materia.

La evapotranspiración es el efecto combinado de la evaporación del agua del suelo húmedo y la transpiración por un cultivo en crecimiento activo. Al aplicar el balance de agua, generalmente es necesario hacer suposiciones al menos con respecto

a una de las variables. Por ejemplo, en muchas estimaciones de la evapotranspiración en zonas regables se supone despreciable el término drenaje. Es importante no pasar por alto estas suposiciones particularmente al transferir métodos de un campo de investigación a otro. Kijne (13).

Entonces, es importante la exactitud con que se evalúe el término evapotranspiración, principalmente para aquellos que diseñan sistemas de riego y drenaje, sabiendo que "*El suelo, las plantas y la atmósfera son todos componentes de un sistema físicamente unificado y dinámico en el que varios procesos de flujo están interrelacionados como los eslabones de una cadena (GOWAN, 1965)*". (curso internacional de Drenaje agr.) citado por Kijne (13).

A.- Evapotranspiración potencial:

Es la evaporación del suelo cubierto con un cultivo en crecimiento activo denso con agua disponible en condiciones óptimas bajo las condiciones meteorológicas existentes. Generalmente se toma una pradera como cultivo standard. Kijne (13).

B.- Evapotranspiración real:

Es la cantidad real de vapor transferido a la atmósfera, que depende no sólo de las condiciones meteorológicas existentes, sino también de las disponibilidades de agua para satisfacer la demanda atmosférica y el tipo de vegetación, de su capacidad para extraer la humedad del suelo. Kijne (13).

2.1.2.4) Métodos para determinar la evapotranspiración potencial:

El cálculo de la evapotranspiración potencial puede realizarse basado en varias consideraciones y en tal sentido pueden mencionarse las siguientes:

A. Calculo de la ETp basado en consideraciones energéticas:

Tomando en cuenta el aspecto energético, la medición de la evapotranspiración potencial puede realizarse por: El balance de energía en la superficie de suelo, por la evaporación en una superficie libre y por la evapotranspiración potencial de los cultivos. J. W. Kijne (13)

B. Cálculo de la ETp basado en relaciones empíricas:

Toman en cuenta la temperatura, la radiación solar y la longitud del día. En estas están las ecuaciones de Penman, de Jansen y Haise, de Blaney y Criddle, y la de Thornthwaite. J. W. Kijne (13)

C. Medida directa de la evaporación y la evapotranspiración:

Utiliza el método del balance de agua y el evaporímetro. J. W. Kijne (13)

D. Variación espacial y frecuencia de ocurrencia de la evapotranspiración:

Se basa en dos procedimientos generales, el paso del dato puntual al espacial y por la distribución de frecuencias.

a. Distribuciones de frecuencia de la evapotranspiración.

Las curvas de distribución de frecuencias acumuladas para períodos de evapotranspiración diaria y medias para varias longitudes de períodos de días consecutivos, ponen de manifiesto por qué los datos climáticos medios para largos períodos (por ejemplo valores mensuales) no son suficientes para predecir la demanda de evapotranspiración en el diseño de proyectos de riego y drenaje y/o la planificación de la explotación agrícola. Por ejemplo, considerando incluso cultivos con raíces profundas en suelos fértiles, donde puede haber 15-23 cm de humedad del suelo fácilmente disponibles después de un riego, los datos registrados en la estación en Davis, California desde junio de 1959, muestran que se precisa un diseño que pueda hacer frente a 7.4 mm por día si el sistema debe cubrir el 95% de los casos, en lugar de la media mensual de 10 años para el mismo período de demanda máxima de alrededor de 6.6 mm por día. Para cultivos de sistema radicular más superficial o bien cultivos que se beneficien de un riego más frecuente, el valor de diseño para las condiciones de esa región se elevaría a 8.1 mm por día para cubrir el 95% de los casos, siempre que pudiesen considerarse como fácilmente disponibles unos 2.5 cm de agua almacenada. Para el nivel del 99%, los valores de diseño serían

considerablemente mayores pero, desde luego, muy raramente será necesario diseñar para valores máximos en un día al nivel del 99% o incluso del 95%. J. W. Kijne (13).

2.1.2.5) Disponibilidad de agua del suelo para las plantas:

El concepto de disponibilidad de agua del suelo, aunque nunca fue definido claramente en términos físicos, ha sido motivo de ardua controversia entre los adherentes a diferentes escuelas de pensamiento. Veihmeyer y Hendrickson citados por Gurovich (9) postularon que " El agua del suelo es igualmente disponible en un rango definible de humedad del suelo, desde un límite superior de Capacidad de Campo a un límite inferior punto de marchites permanente.

Richards y Waldleigh, citados por Gurovich (9) presentaron evidencias que indican que la disponibilidad del agua del suelo para las plantas realmente disminuye a medida que desciende al contenido de agua del suelo, y que una planta puede sufrir de stress hídrico antes que alcance el punto de marchites permanente.

Otros autores, intentaron dividir el llamado rango disponible del agua del suelo en dos regiones: la "Fácilmente disponible" y la de "Disponibilidad de decrecimiento", de tal manera que trataron de definir un punto crítico entre el punto de capacidad de campo y el punto de marchites. Gurovich (9).

2.1.3. Medición del agua en el suelo:

La medición del contenido de agua del suelo tiene fundamental importancia para el riego; con el fin de poder establecer la frecuencia de riego (¿Cuándo regar?) y la lámina de agua a reponer en el suelo durante el riego (¿Cuánto regar?), la forma más directa y confiable es determinar el contenido de agua que hay almacenado en el perfil del suelo en un momento dado. El contenido de agua de una muestra de suelo se expresa tradicionalmente como la relación entre la masa de agua (M_w) y la masa de suelo secado hasta que llega a un peso constante (M_s), de acuerdo con la Ecuación siguiente:

$$w = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_{sh} - M_s}{M_s}$$

Donde: M_{sh} = masa de suelo húmedo.

M_s = masa de suelo seco.

2.1.3.1) Método Directo:

Cuando se separa el agua presente en el suelo del material sólido a través del secado o evaporación, la cantidad de agua removida se determina midiendo la pérdida de peso de la muestra. Como depende de las características texturales (tamaño de las partículas) y estructurales (ordenamiento de esas partículas en el espacio) de la muestra, varía significativamente el tiempo de secado necesario para llegar a un peso constante, indicador de que toda el agua ha sido removida. Un suelo arenoso se seca normalmente después de 12 a 24 horas en la estufa a 110 grados centígrados; un suelo arcilloso necesita más de 48 horas de secado. También es de significativa importancia el tamaño de la muestra de suelo; mientras mayor sea éste, mayor será el tiempo que deba mantenerse el suelo en la estufa hasta que alcance un peso constante. Gurovich (9).

El método más aceptado para determinar el contenido de agua del suelo es el muestreo y posterior secado en estufa a 110 grados centígrados; sin embargo para las prácticas de riego este método tiene desventajas e inconvenientes que lo convierten en una operación poca práctica en condiciones de campo. Por el procedimiento y el tiempo necesario para obtener los resultados por parte del usuario. Gurovich (9).

2.1.3.2) Métodos Indirectos:

Algunas propiedades físicas y físico-químicas del suelo varían con el contenido de agua; cuando puede calibrarse la variación, estas propiedades resultan útiles como métodos indirectos para caracterizar el suelo respecto a su contenido de agua. Estos métodos indirectos se han desarrollado debido a la versatilidad y economía que puede obtenerse con ellos en relación con los métodos directos. Gurovich (9).

A. Tensiómetro:

El tensiómetro consiste en una cápsula porosa de material cerámico conectada mediante un tubo a un manómetro, llenándose todas las partes con

agua. Cuando la cápsula es colocada en el suelo donde se va a realizar la medición de succión, la masa de agua dentro de la cápsula entra en contacto hidráulico y tiende a equilibrarse con el agua del suelo a través de los poros de la pared de cerámica. Cuando el tensiómetro está recién colocado en el suelo, el agua contienda en el interior se encuentra a presión atmosférica. Como el agua del suelo está generalmente sometida a una presión subatmosférica, se ejerce una succión que elimina cierta cantidad de agua del tensiómetro rígido, impermeable al aire, causando una baja en la presión hidrostática. Este cambio de presión se indica por un manómetro que puede ser simplemente de agua, de mercurio, una válvula de vacío o un transductor eléctrico. Gurovich (9).

B. Sonda de Neutrones:

Se basa en la dispersión de neutrones y la atenuación de rayos gamma que ocurre en el suelo con diferentes contenidos de agua.

Los neutrones ubicados en el núcleo de los átomos no tienen carga eléctrica y pueden perder energía sólo por su interacción con otros núcleos. Esta interacción es en forma de colisiones y sigue la Ley de Conservación de Momentum. En cada colisión los neutrones transfieren parte de su energía cinética al núcleo chocado. Esta transferencia sigue la siguiente relación:

$$V_c = \frac{M}{m+M} + V_o$$

Donde:

V_c = Velocidad o energía después de la colisión.

m = masa del núcleo chocado.

V_o = La velocidad o energía antes de la colisión

M = masa del neutrón.

La cantidad de neutrones termalizados estará directamente relacionada con el contenido de agua del suelo a través de una curva de calibración. Gurovich (9).

La fuente radioactiva debe emitir alrededor de 10^7 neutrones por segundo. Los neutrones tipo son los que más se utilizan y pueden ser producidos por Plutonio, Berilio, Radio-Berilio y otros elementos. Gurovich (9)

Si bien la cantidad de hidrógeno de un suelo es fácilmente removible y varía de un suelo a otro (debido a que la mayor parte del hidrógeno está contenido en el agua almacenada en el suelo), Las curvas sirven para muchos tipos diferentes de suelo. Muchas curvas de calibración son realizadas en arenas; sin embargo dan valores adecuados para suelos de texturas medias y finas, con errores máximos del 5%. Gurovich(9).

Las curvas relaciona las cuentas de neutrones lentos en el escalímetro con el contenido de agua expresado en porcentajes basados en volumen. (FIGURA 1).

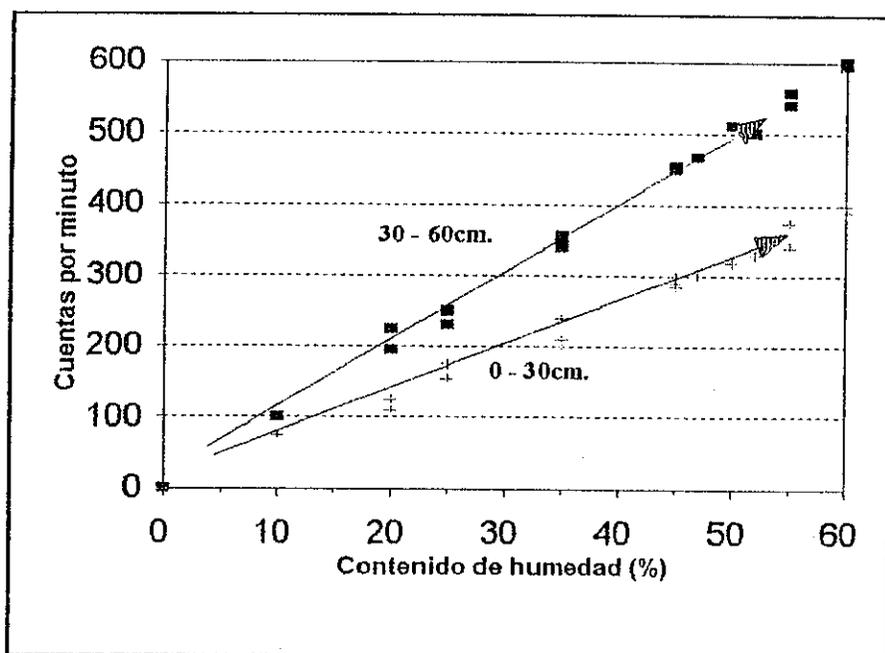


FIGURA 1 : Curva de Calibración de una sonda de neutrones

2.1.4.) Frecuencia de Riego:

La frecuencia de riego debe basarse, en consideraciones del balance entre la velocidad de pérdida de agua por las hojas y el aporte de agua hacia las raíces. Durante el verano la frecuencia de riego será máxima, tratándose de que pueda reponerse en el suelo el agua consumida por los cultivos, casi continuamente. De tal manera que la frecuencia óptima es una función del tipo de suelo (su capacidad de almacenamiento de agua y la conductividad hidráulica en condiciones no saturadas); la demanda de la atmósfera; el estado de desarrollo del cultivo (especialmente distribución de las raíces en la profundidad del perfil); consideraciones económicas en relación con equipos de riego disponibles, mano de obra y disponibilidades de agua para el riego. Gurovich (9).

2.1.5. El riego por aspersión:

Es el agua aplicada al suelo asperjada, o sea fraccionando el caudal en innumerable cantidad de gotas que se infiltran en el terreno al tiempo que alcanza la superficie del mismo.

El riego por aspersión es conocido desde hace tiempo, sin embargo recién se difundió en la etapa industrial de fabricación de tuberías de reducido peso, y de fabricación de aspersores capaces de dar una uniforme precipitación sobre el área irrigada. Grassi (7).

2.1.5.1) Ventajas y Desventajas del riego por aspersión:

A. Ventajas:

- Llega a reducir o eliminar los costos de nivelación de tierras, así como su preparación para el cultivo
- Se logra establecer un buen control del agua, con una aplicación casi uniforme.
- Puede regarse en suelo de textura ligera, sin tener problemas de erosión.
- Es factible regar suelos que presentan muy baja capacidad de retención de agua.
- Se reduce la mano de obra considerablemente.
- Permite aplicar una lámina de riego determinada, sin elevar el nivel freático.
- Se aplica a suelos poco profundos, en los cuales no puede realizarse nivelación y aplicación de reducidas láminas de agua en cada riego. Además en suelos

de alta velocidad de infiltración con pérdidas de agua por percolación.

- Su disponibilidad de agua en caudales pequeños y largos horarios de riego, ya que con un diseño económico se logra que un equipo se use la mayor parte del tiempo posible.

B. Desventajas:

- El diseño debe ser cuidadoso, para una aplicación uniforme de la lámina de agua.
- El costo inicial es alto.
- Es difícil que se adapte a regiones con vientos fuertes que vengán a alterar el patrón de mojado.
- Las pérdidas de agua por evaporación son más altas que por el método de riego superficial.
- En muchos casos el traslado o cambio de sitio de tuberías portátiles después de un riego puede significar problemas.
- Debe contarse con una calidad de agua muy aceptable.
- Se desarrolla un microclima dentro del cultivo, favoreciendo el desarrollo de enfermedades fungosas y bacterianas. Israelse (11).
- No se adapta a cualquier cultivo. Israelsen (11) y Grassi (7).

2.1.5.2) Componentes de un sistema de riego por aspersión

Los componentes básicos de un sistema de riego por aspersión son: CIDIAT

(14)

1. Fuente de agua.
2. Fuente de energía.
3. Sistema de distribución de agua.
4. Aspersores o rociadores.
5. Accesorios.

A. Fuente de agua: Para ser económicamente factible, requiere de un caudal continuo el cual puede provenir de una fuente superficial, subterránea o combinada.

La ubicación debe tener los siguientes datos: desnivel entre la fuente y el terreno, distancia y perfil.

Es importante también la calidad del agua, especialmente la concentración de sales. También hay que considerar si el caudal es suficiente.

B. Fuente de energía: Requiere relativamente altas presiones para su funcionamiento. La presión puede usarse utilizando una bomba o bien aprovechando el desnivel que existe entre la fuente de agua y el terreno, esto último solo ocurre en zonas montañosas o en pie de monte.

C. Sistemas de distribución: Consiste básicamente de tuberías principales y laterales. La tubería principal es la que conduce el agua hacia los laterales y estos hacia los rociadores o aspersores. La tubería principal puede ser fija o móvil, superficial o enterrada, metálica o no metálica. La tubería lateral puede también ser fija o móvil. Cuando el sistema es móvil, generalmente la tubería lateral es metálica. Algunos equipos modernos de riego han eliminado las tuberías laterales y hasta las principales, utilizando, por ejemplo, un pivote central.

D. Rociadores o aspersores: Son los dispositivos que tienen como finalidad la aplicación directa del agua en forma de gotas, semejando una lluvia. El aspersor consta de una o más boquillas dependiendo del modelo y marca del mismo. Pueden ser fijos o móviles, de baja, mediana o alta presión y de diversos materiales. Las características de los aspersores son un factor determinante en el diseño.

E. Accesorios: Son diversas piezas, las cuales tienen como función la conexión entre tuberías, cambiar la dirección de las mismas y por tanto, cambiar la dirección del flujo. Asimismo, algunos accesorios son especiales como reguladores de presión, tapar salidas de agua y otros.

2.1.5.3.) Planeación de un Sistema:

La planeación de un sistema de riego por aspersión, debe ser el más económico,

que sirva para satisfacer las necesidades del diseño. Después de examinar el terreno, en lo que se refiere a topografía y los tipos de suelos, el técnico debe tomar una decisión sobre las especificaciones más adecuadas para el diseño.

2.2 MARCO REFERENCIAL.

2.2.1. Descripción general del área de estudio:

2.2.1.1.) Localización y Extensión :

El centro experimental "La Alameda" del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, se localiza en el valle del municipio de Chimaltenango, del departamento del mismo nombre, ubicada en las coordenadas geográficas, Latitud Norte 14° 39' 20" y Longitud Oeste 90° 49' 20". Presenta una extensión de 23.135 hectáreas. (FIGURA 2).

2.2.1.2.) Ecología, Climatología e Hidrología:

La zona de vida, de acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge el valle de chimaltenango se encuentra en la zona de vida de Bosque Húmedo Montano bajo. La temperatura anual varía de 10 a 24 grados centígrados con una elevación de 1,786 msnm. Holdridge. La precipitación va de 918.7mm a 1392mm con una media de 1057mm en los últimos 6 años. Holdridge (10).

Su evapotranspiración potencial oscila entre 650 - 750mm por año en la época seca, con 4 a 6 meses de déficit de lluvia, lo que corresponde aproximadamente con 331 - 550 mm. La región está considerada dentro de la tercera categoría como áreas potenciales para riego a nivel nacional. (Plan maestro de riego) (8).

2.2.1.3.) Fisiografía y Drenaje

De acuerdo a Simmons (18), los suelos del área de Chimaltenango corresponden a la serie Guatemala, cuyo material madre está formado por ceniza volcánica pomácea de color claro.

Presenta un relieve casi plano y con buen drenaje, el suelo superficial es oscuro, de textura gruesa con un color café rojizo, consistencia friable plástica cuando húmeda y un espesor aproximado de 0.5 a 1.0 m Simmons (18).

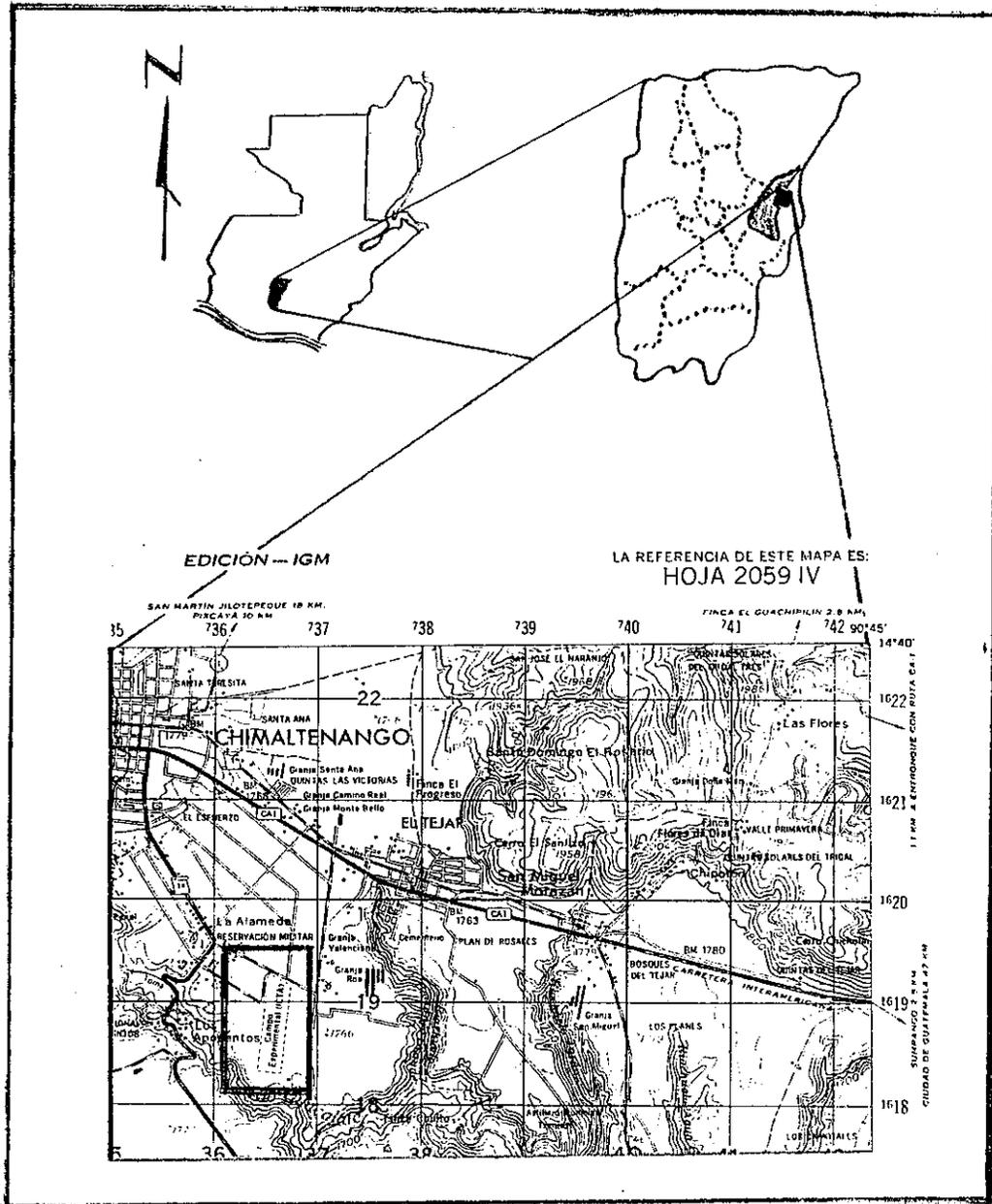


FIGURA 2: Ubicación y Localización de la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.

3. OBJETIVOS:

General

- **Coadyuvar a la implementación y manejo de los ensayos experimentales mediante el estudio de las características físicas del área relacionadas con el uso y manejo del recurso hídrico, como proponer un diseño para el sistema de riego por aspersión en la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.**

Específicos:

- 1. Analizar las condiciones climatológicas relacionadas con el riego y medir la evapotranspiración potencial para la zona de La Alameda, Chimaltenango.**
- 2. Analizar la disponibilidad y calidad del agua para riego.**
- 3. Determinar el comportamiento de la humedad en el suelo**
- 4. Determinar las características topográficas del área de la estación experimental de La Alameda, Chimaltenango.**
- 5. Proponer un Diseño de sistema de riego por aspersión para la estación experimental.**

4. METODOLOGIA

La metodología se planteó básicamente en dos etapas, la primera etapa consistió en el estudio de las características climáticas, hidrológicas, edafológicas y topográficas del área relacionadas con el uso, disponibilidad y movimiento del agua. La segunda etapa consistió en proponer un diseño de riego por aspersión tomando como base los estudios realizados con anterioridad. Bajo ese esquema se planteó lo siguiente:

4.1. Estudios Climáticos:

Para este tipo de estudio, se consultaron los registros climatológicos del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) obtenidos de la estación tipo "A", la cual se encuentra ubicada en el área de estudio.

Las características climáticas se utilizaron básicamente para determinar la época crítica, es decir, la época en la cual se demanda el riego. Esto se logró a través del análisis de precipitación y evapotranspiración mensual. (H. Olivier)(16).

4.2. Estudios Hidrológicos:

Dentro de las características hidrológicas que se consideraron como más importantes las siguientes:

4.2.1. Disponibilidad de Agua:

La disponibilidad de agua se midió de acuerdo al estudio del acuífero del cual se toma el agua (pozo mecánico) y donde se determinó:

- El caudal de la bomba del pozo.

Se aforó por el método volumétrico de acuerdo a la relación de Caudal:

$$Q = V/t$$

Donde:

Q = Caudal medido en m^3/hr .

V = Volumen del colector (tanque,) en m^3 .

t = Tiempo en que se llena el colector en min.

- Características del acuífero:

Por medio de los datos de la prueba de bombeo y la relación caudal-descenso, donde se bombeó agua del pozo a tres diferentes caudales (165gpm, 310gpm y 410gpm) y se midió el nivel de abatimiento del pozo, ploteando el caudal contra el nivel de abatimiento se determinó el caudal permisible del acuífero.

4.2.2. Calidad del Agua:

Se tomó una muestra de 500 ml. de agua de la fuente (del pozo) a diferentes tiempos de operación de la bomba y se envió al Laboratorio de Suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA) para su análisis químico con base al cual se determinó la conductividad eléctrica y los principales elementos como: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , CO_3^- , HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- ; y la relación de adsorción de sodio (RAS).

Se clasificó el agua según el diagrama de RICHARDS, 1954. S. Castillo (4).

4.2.3. Determinación de la evapotranspiración potencial:

Los valores de evapotranspiración potencial se determinaron de acuerdo a los siguientes métodos:

4.2.3.1.) Por ecuaciones empíricas:

Para ello se registraron los datos de temperatura, radiación solar y Longitud del día en la estación meteorológica. Se utilizaron las ecuaciones de Penman, Hargreaves y Blaney y Criddle.

Para un mejor procesamiento de la información, se auxilió de programas de computo (Irsis, y hojas electrónicas).

4.2.3.2.) Por balance de agua:

Se realizó con la utilización de evaporímetros tales como, lisímetro (método directo) y tanque de evaporación tipo A (método indirecto),

basándose en la ecuación del balance de agua:

$$AW = I - D - E$$

Donde:

AW = Cambio en el contenido de agua de la zona radicular

I = Cantidad de agua aplicada (por riego o lluvia) en m.

D = Cantidad de agua drenada en m.

E = Pérdida de agua debida a la evapotranspiración en m.

El cambio en el contenido de humedad de la zona radicular, se determinó por medio de un tensiómetro del cual se tomó lecturas cada semana. J. W. Kijne (13).

A los resultados obtenidos mediante los dos procedimientos anteriores, se les realizó un análisis estadístico de correlación, para determinar la posibilidad de crear tablas de frecuencia de la evapotranspiración potencial en el área.

4.3. Estudios Edafológicos:

Estos estudios fueron encaminados a conocer principalmente las características del suelo que están relacionadas con el movimiento, la capacidad de retención y almacenamiento del agua.

En ese sentido se describen los pasos que se siguieron para llegar a conocer dichas características.

4.3.1. Muestreo de Suelos:

dadas las condiciones del área, se realizaron dos calicatas de las cuales se obtuvieron muestras de suelo a diferentes profundidades, comprendidas en diferentes horizontes dependiendo de las características de los mismos.

A cada uno de los estratos anteriores, se les determinó el porcentaje de humedad a capacidad de campo, el porcentaje de humedad al punto de marchites permanente, su densidad aparente, análisis de textura. Las muestras

fueron enviadas al laboratorio de suelos de DIRYA (Dirección Técnica de Riego y Avenamiento). La manera de como se determinaron cada uno de estos elementos, se describe en los incisos siguientes.

4.3.2. Determinación de la humedad a capacidad de campo (CC) y a punto de marchites permanente (PMP).

Se determino a través del método de la olla de presión.

4.3.3. Determinación de la densidad aparente:

En cada horizonte se tomaron dos muestras, utilizando el método del doble cilindro.

4.3.4. Análisis Textural:

Se realizó de acuerdo al método del hidrómetro de Bouyucos.

4.3.5. Curva de retención de humedad en el suelo:

Se construyeron las curvas de retención de humedad, relacionando el contenido de humedad del suelo con su respectiva tensión (medida en atmósferas). Esta relación se obtuvo para estratos definidos de 0-30cm, de 30-60cm y 60-90cm.

La manera en que se midió el contenido de humedad, fue a través de la Sonda de Neutrones debidamente calibrada y la tensión se midió por medio de una batería de tensiómetros para las tensiones más bajas y por métodos de laboratorio (método de ollas) para las tensiones más fuertes. Stakman (19).

4.3.6. Cálculo de la lámina de agua disponible:

La lámina de humedad disponible en cada estrado del suelo (inciso 4.3.1.) se midió de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$Lhd = (CC - PMP) * Ds * Pr$$

Lhd = Lámina de humedad disponible en cm.

CC = % humedad a Capacidad de Campo

PMP = % humedad a punto de marchites permanente

Ds = Densidad del suelo en cada estrato en gr/cc

Pr = Profundidad del estrato en m.

4.3.7. Velocidad de infiltración en el suelo

La velocidad de infiltración en el suelo, se midió en varios puntos del área utilizando el método del infiltrómetro de doble cilindro de acuerdo al modelo de Kostiakov Lewis. Van Der Meer (19) y J. Sandoval (17).

$$I = a t^n$$

Donde:

I = Lámina que se infiltra en el suelo en un período de tiempo dado, en cm/h.

a y n = Constantes propias del modelo para un suelo dado.

t = Tiempo transcurrido en el cual se infiltra la lámina I, en minutos.

Se realizó un caminamiento en el área, para determinar su homogeneidad o heterogeneidad. Se distribuyó una serie de puntos en el área, los cuales definieron el lugar donde se realizó la prueba. Esta distribución se hizo por medio de una cuadrícula (25 x 25m) marcada sobre el plano topográfico de la estación y se localizaron en base a coordenadas rectangulares. El número de pruebas a realizar se definió como el 20% del total de cuadros. Con dicho procedimiento se logró determinar la distribución de la velocidad de infiltración en toda el área de estudio. Se midió básicamente:

La velocidad de Infiltración instantánea (I_{ins}):

$$I_{ins} = a + n * t^{(n-1)}$$

La velocidad de infiltración básica (I_{bas}):

$$I_{bas} = a(-600n)^n$$

Lámina total de agua infiltrada (Z):

$$Z = \frac{a \cdot t^{(n+1)}}{60(n+1)}$$

4.4. Estudios Topográficos:

Los detalles topográficos del área de estudio se determinaron a través de un levantamiento planimétrico a detalle por el método de conservación de azimut a 180° tomando como control vertical el norte magnético y un levantamiento altimétrico por el método de cuadrícula (20X20m) tomando como control Horizontal un banco de marca (BM) arbitrario de 100m, se elaboró el plano de curvas a nivel con intervalos de 0.5m. A. Bannister (1) y C. Brinker (2).

5. PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION:

Con base a la información obtenida en los estudios anteriores, se propuso el diseño del sistema de riego por aspersion para la estación experimental, tomando de los mismos las especificaciones acerca de tuberías, accesorios, unidad de bombeo y consideraciones generales de diseño y operación del sistema.

5.1. Condiciones Generales de Diseño:

Cultivo: Hortalizas

Area total a Regar:

Se definió de acuerdo a las necesidades del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), a la disponibilidad de caudal y a la capacidad operativa del mismo.

Infiltración Básica: Se definió en base a las pruebas de Infiltración.

Profundidad Radicular:

La profundidad radicular de diseño se eligió a partir de la hortaliza que se siembre en el área y que presenta la menor profundidad radicular a la cual puede tomar toda el agua necesaria del suelo para su crecimiento y desarrollo. (Ver CUADRO 5A) tomado de J. Sandoval (17).

Evapotranspiración Potencial:

Se tomó en función del estudio Hidrológico. (curvas de frecuencia acumulada de la evapotranspiración).

Umbral de Riego:

Se tomó el déficit permitido de manejo de aquella hortaliza que se siembra en el área, la cuál es la más sensible al stress hídrico (Ver CUADRO 6A) tomado de J. Sandoval (17).

Eficiencia Agronómica: 76 % tomado de Gurovich (9).

Coefficiente de Uso-consumo para diseño (Kc):

Se eligió el coeficiente de aquella hortaliza de mayor transpiración. (Ver CUADRO 7A) Gurovich (9).

5.2. Cálculos básicos para el dimensionamiento de la Red de Riego:**5.2.1. Lámina de humedad disponible (LHD):**

$$LHD = (CC - PMP) * Da * Pr.$$

CC = porcentaje humedad a capacidad de campo.

PMP = porcentaje humedad a punto de marchites.

Da = Densidad aparente del estrato de suelo en gr/cc.

pr = Profundidad radicular de diseño en m.

5.2.2. Lámina neta de riego, o lamina de humedad, rápidamente aprovechable (LHRA).

$$\text{LHRA} = \text{LHD} * \text{UR}$$

LHD = Lámina de humedad disponible

UR = Umbral de riego.

5.2.3. Lámina Bruta de Riego: (LBR).

$$\text{LBR} = \text{LHRA} / \text{Efr}$$

LHRA = Lámina de humedad rápidamente aprovechable.

Efr = Eficiencia agronómica de riego.

5.2.4. Evapotranspiración Real (Etr):

$$\text{Etr} = \text{Etp} * \text{Kc}$$

Etp = Evapotranspiración potencial: (Fue tomada en función de un análisis de frecuencia de ocurrencia y de donde se diseñó para aquella evapotranspiración potencial con frecuencia del 90% de ocurrencia.

Kc = Coeficiente de uso-consumo del cultivo.

5.2.5. Frecuencia de Riego: (Fr)

$$\text{Fr} = \text{LHRA} / \text{Etr}$$

LHRA = Lámina de humedad rápidamente aprovechable

5.2.6. Lámina Neta Ajustada (LNA):

$$\text{LNA} = \text{Fr} * \text{Etr}$$

Fr = Frecuencia de riego

Etr = Evapotranspiración real

5.2.7. Lámina Bruta Ajustada (LBA):

$$\text{LBA} = \text{LNA} / \text{Efr}$$

LNA = Lámina neta ajustada

Efr = Eficiencia agronómica de riego

5.2.8. Intensidad de Riego (I_r):

intensidad de precipitación para que se infiltre la lámina de riego sin causar problemas por encharcamiento.

$$I_r < I_b$$

I_b = velocidad de infiltración básica

Según Van Der Meer (19) lo fundamental en el diseño de riego por aspersión es la velocidad de infiltración instantánea, cuando esta se hace constante.

5.2.9. Número De Turnos De Riego:

Para determinar el tiempo de riego por turnos, se consideró que el tiempo total de riego no puede exceder de 8 ó 9 hrs. (por razones laborales). Y en función del tiempo necesario para que la lámina de diseño se infiltre.

5.2.10. Area a Regar por Día (A_{rd}):

$$A_{rd} = AT / Fr.$$

AT = área total a regar

Fr = frecuencia de riego

5.2.11. Area a Regar Por Turno (A_{rt}):

$$A_{rt} = A_{rd} / \text{Número de Turnos al día}$$

5.2.12. Espaciamiento Entre Laterales y aspersores (E_{sp}):

Se definió en función de la longitud de tubería existente en el mercado y del efecto por la velocidad del viento, combinado con el tipo de aspersor más adecuado. (ver CUADRO 8A).

5.2.13. Número de posiciones Por Día (NPD):

$$NPD = A_{rd} / \text{área a regar por lateral}$$

5.2.14. Número De Laterales Funcionando Simultáneamente (Lfs):

$Lfs = NPD / \text{Número de turnos al día}$

5.3. Requerimiento de caudal:

Longitud de lateral:

Se definió en función del criterio de ordenamiento o red de distribución del sistema, basado en los planos topográficos.

Espaciamiento de laterales: (definido en el inciso 5.2.12).

5.3.1. Número de aspersores por lateral (No.asp)

$No.asp = (long. lat. - 1/2 Esp. asp.) \div Esp. asp.$

long. lat = Longitud de la lateral

Esp. asp = Espaciamiento entre aspersores

5.3.2. Area a regar por lateral (Arl):

$Arl = \text{Longitud del lateral} * \text{Esp. entre lateral}$

5.3.3. Caudal del aspersor (Qasp):

$Qasp = (Esp. asp. * Esp. Lat) * LBA/tr.$

Donde:

Qasp = Caudal del aspersor en m

Esp. asp. = Espaciamiento entre aspersor en m.

Esp. Lat. = Espaciamiento entre lateral en m.

LBA. = Lámina bruta ajustada en m.

tr = Tiempo de riego por turno en hrs.

5.3.4. Caudal de la tubería principal (Qtp):

$Qtp = \text{Número de laterales funcionando} * \text{Caudal de la lateral.}$

5.3.5. Selección del Aspersor:

A. Diámetro de mojado y caudal del aspersor:

En función de la velocidad del viento se obtuvo el diámetro mojado más adecuado del aspersor (con 60 % de traslape) conjuntamente con su caudal, para poder así determinar la presión de trabajo del mismo.

Diámetro Mojado = Esp. asp. / 0.6 (% traslape).

Esp. asp = Espaciamiento entre aspersor en m.

Porcentaje de traslape = traslape del diámetro mojado en función de la velocidad del viento

Caudal del aspersor em (GPM) = (inciso 5.3.3.)

B. Se Buscó un aspersor que se adecuara a las anteriores condiciones, y se le determinó las siguientes características:

Marca, Caudal de salida, Presión de trabajo (en PSI), Diámetro de mojado y Diámetro de la boquilla.

5.4. Cálculo del diámetro de la tubería principal y lateral:

Para el cálculo del diámetro de la tubería, se utilizó la ecuación de Hazen y Williams. (nomograma) (FIGURA 14A).

Para el diseño se tomó en cuenta los factores de velocidad del agua dentro de la tubería (1.5-3 m/s), las pérdidas por fricción (que no excedieran de un 30% de la carga dinámica total que deberá vencer la bomba) y el costo de la tubería. Para efectos de diseño, se tomó el criterio según Rojas L (1980) citado por R. Cabrera (3), de seleccionar los diámetros de tubería de manera que las pérdidas de carga por fricción no excedan a 1 PSI/100 pies de tubería (30.48m). Con base a lo anterior se utilizó el CUADRO 1, así:

CUADRO 1: Cálculo de diámetro de tubería principal y lateral

Q GPM	Diámetro de la tubería	V. del flujo en m/s	Pérdidas por fricción	Longitud de la tubería	Factor por salida	Pérdidas por fricción real

5.5. Requerimiento de potencia:

5.5.1. Carga dinámica total (CDT):

$$CDT = h_e + h_{fp} + h_{fmp} + C_e$$

h_e : Carga requerida a la entrada del lateral (m).

h_{fp} : Pérdida de carga por fricción en la principal (m).

h_{fmp} : Estimación de pérdidas menores en la principal (m).

C_e : (Carga estática) Diferencia de altura entre el nivel del agua en la fuente y el nivel del terreno en la entrada de la lateral mas alto(m).

A) Carga requerida en la lateral (h_e):

$$h_e = h_o + H_{flt} + z + h_m$$

Donde:

h_o = presión del aspersor en m.

H_{flt} = pérdidas de fricción en la lateral en m.

z = dif. de nivel en la entrada de la lateral y el final en m.

h_m = pérdidas menores (h_{fm}):

$$h_{fm} = \frac{K \cdot V^2}{2g}$$

Donde:

K = Constante de pérdida por fricción para el accesorio. (Ver CUADRO 9A).

V = Velocidad del agua en la tubería

g = valor de la aceleración por efecto de la gravedad

B) Pérdidas de carga por fricción en la principal para la tubería de succión y la tubería de descarga (h_{fp}):

Las pérdidas por fricción en la tubería principal se determinaron de acuerdo a lo establecido en el inciso 5.4.

C) Pérdidas menores en la principal (hfmp):

Las pérdidas menores en la tubería principal se determinaron de la misma manera que las pérdidas menores (hm) en el inciso 5.5.1.A.

D) Carga estática (ce):

Se tomó como la diferencia de altura entre el nivel del agua en la fuente y el nivel del terreno más alto en la entrada del lateral (lateral crítico).

5.5.2. Potencia de la bomba al eje = (Hp)

$$H_p = \frac{Q(\text{lps}) * CDT}{76 * Ef.}$$

Donde:

Q = Caudal de operación en lps

CDT = Carga dinámica total requerida en m.

Ef = Eficiencia de la bomba en decimales.

5.5.3. Potencia de Motor:

Si se utilizó una bomba centrífuga la cual recibirá la energía del motor por transmisión directa.

5.6. Características de la unidad de bombeo:

Se obtuvo las características propias de la bomba centrífuga recomendada, para asegurar el perfecto funcionamiento del sistema y conocer el requerimiento de energía.

En ese sentido, se determinaron las siguientes características:

5.6.1. Carga neta positiva de succión (Npsh):

Esta, está en función de las características propias de la región y no es más que la altura a la que se puede elevar el agua dentro de una tubería, por efecto de la presión barométrica y las características de presión de vapor del agua, cuando se provoca un vacío en dicha tubería. Como condición para el perfecto funcionamiento de la bomba, esta Npsh debe ser mayor que la requerida por la bomba.

$$N_{psh} = p_b - (E_{es} + p_v + P)$$

Donde:

P_b: presión Barométrica en m.

E_{es}: Elevación estática de succión en m.

P_v: Presión de vapor del agua a la temperatura ambiente en m.

P: Perdidas por fricción en m.

$$N_{psh} \text{ (disponible)} > N_{psh} \text{ (requerida)}$$

5.6.2. Curva Característica de la Bomba en el mercado:

Se analizó fundamentalmente para verificar la eficiencia con la cual operara dicha bomba y compararla con la eficiencia asumida en el inciso 5.5.2.

5.7. Análisis de costos:

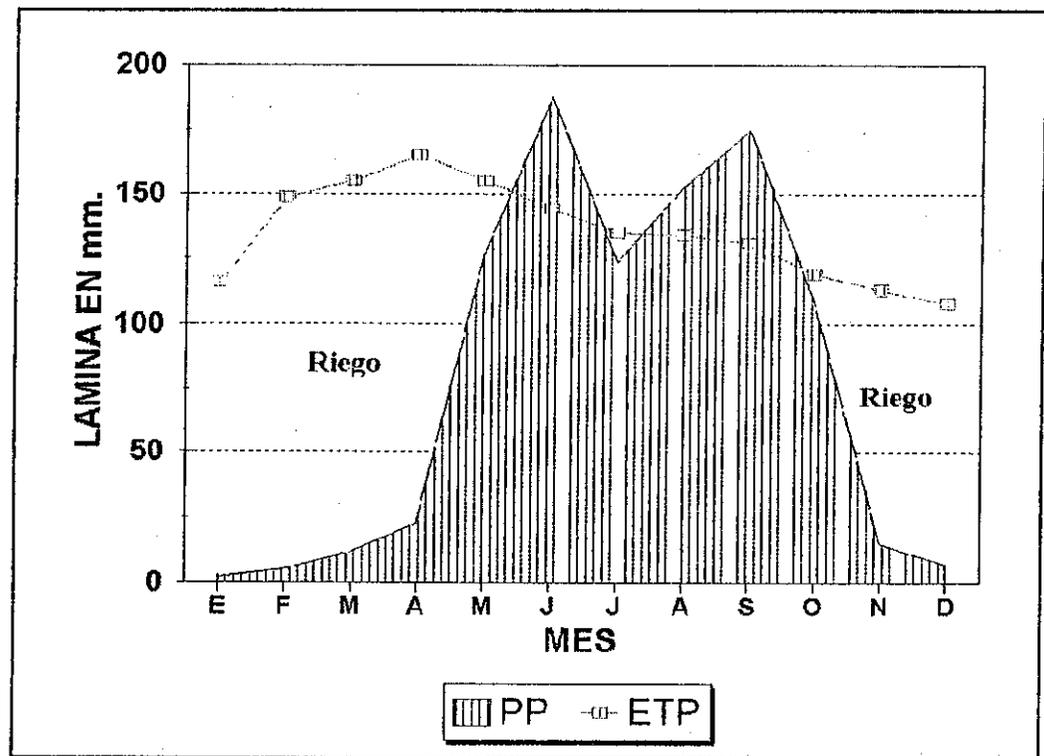
Se consideraron los costos del equipo para la implementación del sistema y los costos de operación.

6.RESULTADOS

6.1. BALANCE HIDRICO GENERAL:

De acuerdo a los datos de precipitación y evapotranspiración potencial de las últimas dos décadas se logró realizar el balance hídrico general y determinar la época crítica de demanda de agua en la estación experimental del ICTA Chimaltenango (Ver FIGURA 3).

El análisis indica que la demanda de riego comprenderá los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril. En consecuencia los datos climatológicos de estos meses son de suma importancia para el diseño y operación del sistema de riego.



PP = Precipitación

ETP = Evapotranspiración

FIGURA 3: Balance Hídrico General para la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango.

6.2. ESTUDIOS HIDROLOGICOS:

6.2.1. Disponibilidad de Agua:

6.2.1.1.) Características del Pozo:

El pozo presenta una profundidad total desde la superficie del suelo de 239.6 metros, con un nivel estático a una profundidad de 58.55 metros, el nivel dinámico para el caudal máximo permisible (300 GPM aproximadamente) es de 63 metros desde la superficie y puede soportar un tiempo de bombeo hasta de 48 horas.

En base a la prueba de bombeo del pozo se pudo obtener la información siguiente referente a la disponibilidad de agua:

Según la prueba de bombeo por fases a caudal variable, el pozo puede soportar la extracción de gastos de 165 GPM, 310 GPM y 410 GPM y tener una recuperación de su nivel de abatimiento en un tiempo de 150 minutos aproximadamente (FIGURA 4).

Esto no significa que realmente el caudal adecuado de máximo bombeo sea alguno de estos tres. Para conocer realmente cual es el caudal permisible se analizó la curva de capacidad-descenso (Ver FIGURA 5) tomando como criterio que la intensidad máxima permisible de bombeo es el mayor valor para el que se da una relación lineal entre la descarga y el descenso del nivel del agua en el pozo, en ese momento se estará alcanzando un equilibrio entre el tiempo de bombeo y el tiempo de recuperación. Bajo ese análisis el caudal máximo permisible es de aproximadamente 58 metros cúbicos por hora, lo que equivale a 255 GPM.

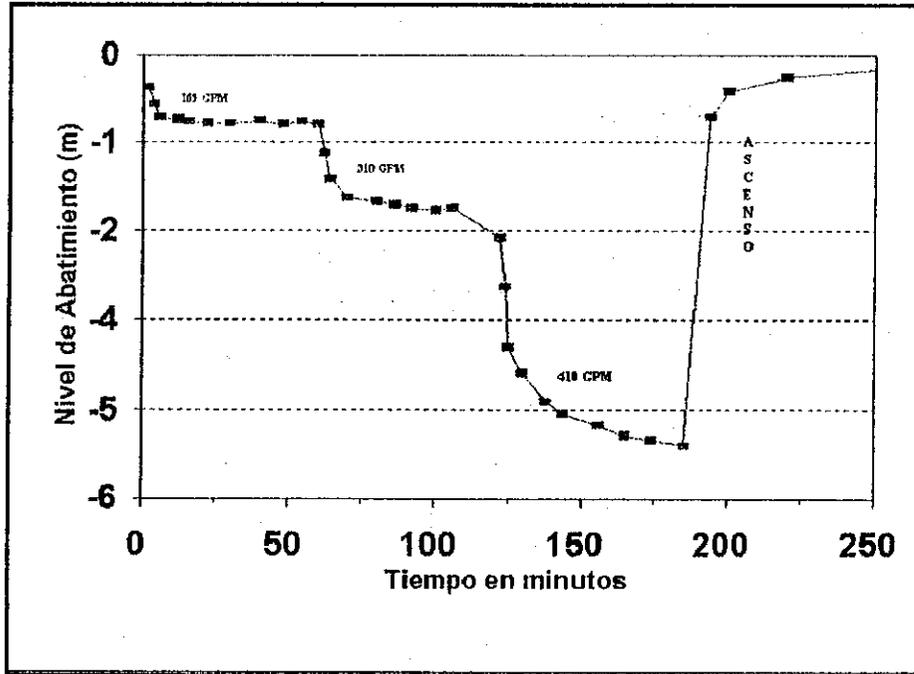


FIGURA 4: Prueba de bombeo por fases para el pozo mecánico de la estación experimental del ICTA, Chimaltenango.

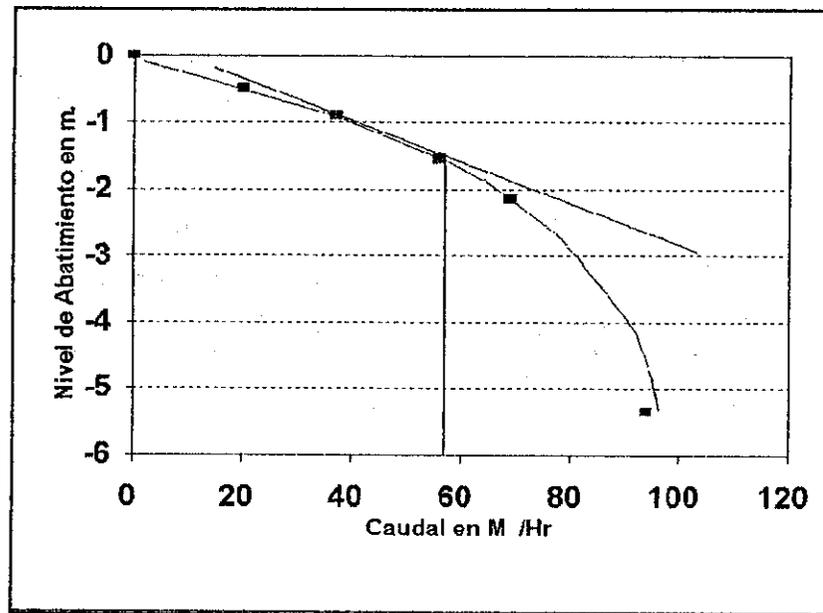


FIGURA 5: Relación Caudal-Descenso para el pozo de la estación experimental del ICTA, Chimaltenango.

A medida que transcurre el tiempo de bombeo, se va aumentando el nivel de abatimiento y en consecuencia, la calidad del agua en cuanto al contenido de calcio, Bicarbonatos, porcentaje de sodio soluble y conductividad eléctrica presentan valores mayores; por lo que el agua es más dura a medida que desciende el nivel de abatimiento.

A pesar de los cambios químicos que se manifiestan, el agua de riego se clasifica dentro de la clase C1S1, esto significa que el agua es de baja salinidad, puede utilizarse para riego en la mayor parte de cultivos, en casi cualquier tipo de suelo, con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad y peligro de sodio intercambiable. Se necesita algún lavado pero éste se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

6.2.3. Determinación de la Evapotranspiración Potencial (Etp):

Se estimó la evapotranspiración potencial (Etp) por medio de ecuaciones empíricas y el tanque tipo "A", a estas estimaciones se les aplicó un análisis estadístico de correlación con los valores reales medidos con el lisímetro. En base al análisis se logró determinar la ecuación más adecuada y viable para la estimación diaria de la Etp con la cual se construyeron las curvas de frecuencia de ocurrencia.

6.2.3.1) Correlación ecuación de Penman-Lisímetro:

Como resultado del análisis de correlación se obtuvo que la ecuación de Penman estima la Evapotranspiración potencial mediante el modelo:

$$Y = 0.99X + 0.03$$

$$r^2 = 0.69$$

donde:

Y = Evapotranspiración potencial por el método directo (lisímetro)

X = Evapotranspiración potencial por la ecuación de penman.

$$X = C * (W * Rn * (1-W)) * Fu * (ea - ed).$$

Donde : C = Factor de Corrección.

W = Ponderación por radiación.

Rn = Radiación Solar.

Fu = Factor en función del viento

ea = Presión de vapor medida.

ed = Presión de vapor real.

6.2.3.2) Correlación ecuación de Hargreaves-Lisímetro:

Esta ecuación estima la Evapotranspiración potencial mediante el modelo de correlación:

$$Y = 0.42X + 1.42$$

$$r^2 = 0.48$$

donde:

Y = Evapotranspiración potencial por método directo (lisímetro)

X = Evapotranspiración potencial por la ecuación de Hargreaves

$$X = 0.0075(0.0075RM(n/N)^{1/2})(T \text{ } ^\circ F)$$

donde:

RM = Radiación Solar

n = Brillo Solar real

N = Brillo solar teórico

6.2.3.3) Correlación ecuación de Blaney y Cridle-Lisímetro:

Esta ecuación se correlacionó con el método directo mediante el modelo siguiente:

$$Y = 0.2X + 2.1$$

$$r^2 = 0.25$$

donde:

$Y = E_{tp}$ por el método directo

$X = E_{tp}$ estimada por Blaney y Cridles

$$X = K(0.457t^{\circ}C + 8.13)P$$

$$Kt = 0.24 + 0.032t^{\circ}C$$

donde: Kt = Coeficiente por temperatura

P = Porcentaje de horas luz

6.2.3.4) Correlación Tanque tipo "A"-Lisímetro:

El método del tanque tipo A presentó una correlación con el lisímetro expresado en la siguiente ecuación:

$$Y = 0.88X + 0.348$$

$$r^2 = 0.94$$

donde: Y = Evapotranspiración potencial medida con lisímetro

X = Evapotranspiración potencial estimada por medio del tanque tipo A

X = Evaporación del Tanque * 0.8

Los resultados anteriores manifiestan que los métodos indirectos en orden de mejor respuesta a la estimación de la evapotranspiración potencial fue:

a) El método del tanque tipo A, probablemente porque se trata de un método que mide la evaporación real diaria lo cual se ajusta perfectamente a los cambios agrometeorológicos; b) La ecuación de Penman, se debe fundamentalmente a que es una ecuación compleja que utiliza gran cantidad de variables climatológicas; seguidamente c) la ecuación de Hargreaves, su respuesta se debe a que no considera más variables que la temperatura y el brillo solar; y por último d) La ecuación de Blaney y Cridle, que debido a su respuesta expresada en el modelo de correlación queda completamente descartada para utilizarse bajo las condiciones ambientales del

presente trabajo, probablemente porque es una ecuación destinada para estimar la Evapotranspiración potencial mensual y creada en zonas áridas.

Para concretar en el análisis de la Evapotranspiración potencial, es necesario dar a conocer cual de las tres primeras ecuaciones es la mejor para utilizarla en la estimación de la Etp diaria. Para decidir; el investigador deberá tomar en cuenta con que cantidad de información climatológica y recursos cuenta, es decir, si se tiene un tanque tipo A, sera preferido ante las demás ecuaciones; si no fuera así podrá utilizar la ecuación de penman, siempre y cuando cuente con todos los datos que esta requiere; y por último podrá utilizar la ecuación de Hargreaves ya que solo se requiere de la temperatura y el brillo solar.

6.2.4. Estimación de la Evapotranspiración potencial par el diseño del sistema de riego.

Conociendo los valores de la Evapotranspiración potencial diarios fácilmente puede obtenerse un promedio de los registros por semana, por quincena o por mes, dependiendo de los requerimientos y necesidades del investigador.

Para nuestro caso como se trata de un diseño de un sistema de riego para cubrir demandas de agua por parte de los cultivos la cual está en función de su evapotranspiración diaria, es ideal llevar los registros diarios de la Evapotranspiración potencial y no es aconsejable estimar la evapotranspiración diaria por promedios de periodos mayores de 5 días.

Lo anterior significa que, si se toman los registros mensuales para estimar la evapotranspiración diaria, se estará asumiendo un valor representativo para todos los días del mes, sin tomar en cuenta las variaciones climatológicas que puedan ocurrir durante dicho intervalo de tiempo (CUADROS 10A a 16A). En síntesis podría decirse que se estima un valor sin conocer su frecuencia de ocurrencia ni cuantos de todos esos eventos ocurridos en ese período de tiempo están por debajo de ese valor estimado (ver CUADRO 14A).

Como se trata de usar eficientemente el recurso hídrico y cubrir perfectamente la demanda de los cultivos, es necesario diseñar el sistema de riego con una lámina de Etp de manera que cubra la mayoría de los eventos ocurridos durante un mes determinado de riego, es decir no subestimar o sobreestimar esa lámina, sino basarse en la frecuencia de ocurrencia acumulada de los registros diarios o registros de cada 5 días como máximo. De esa manera el sistema de riego se diseñará para el porcentaje de eventos de Evapotranspiración que se quieran cubrir, es decir podrá diseñarse para el 100 % de los eventos o para el 50 % de los eventos y en consecuencia la lámina de Evapotranspiración para el diseño será mayor en el primer caso que en el segundo.

Entre otros objetivos, en esta investigación se elaboraron las curvas de frecuencia acumulada de Evapotranspiración potencial para las condiciones de La Alameda, Chimaltenango. Dichas curvas fueron elaboradas a través de los datos de Evapotranspiración diarios estimados por el método del tanque tipo A y podrán ser utilizadas para el diseño y operación de sistemas de riego en la región (FIGURA 6).

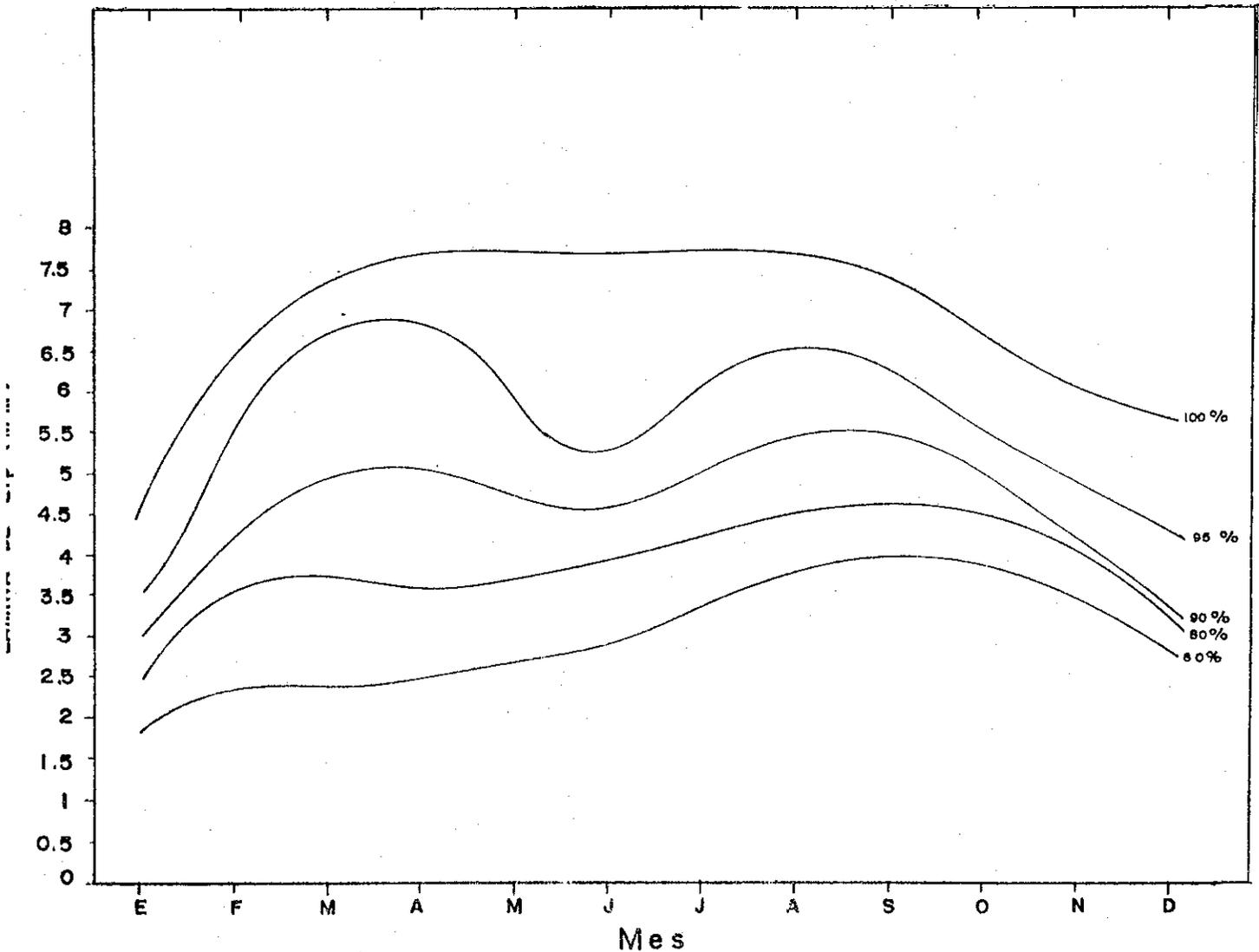


FIGURA 6: Curvas de frecuencia acumulada para valores de Evapotranspiración potencial en los diferentes meses, bajo las condiciones de La Alameda, Chimaltenango.

La FIGURA 6 proviene de los valores diarios de Evapotranspiración potencial estimados para los años de 1991 a 1995 a través del análisis y cálculo realizado en la determinación de la evapotranspiración potencial.

En función de esos valores estimados, se elaboró la gráfica que representa el porcentaje de frecuencia acumulada para un valor de Evapotranspiración potencial correspondiente a cada mes del año.

La forma en que debe utilizarse dicha gráfica es la siguiente:

Cuando se realiza el diseño de un sistema de riego, se calcula satisfacer las demandas evapotranspirativas de los cultivos. Para establecer esas demandas de agua es importante conocer el coeficiente hídrico del cultivo y el valor de la evapotranspiración potencial. La gráfica ayudará a establecer la evapotranspiración potencial en función del % de los casos de ocurrencia que se pretendan cubrir, es decir, si se quiere diseñar un sistema de riego por aspersión que cubra el 60% de los casos, entonces se utilizará la curva del 60% de frecuencia acumulada y el mes más crítico del año (ejemplo marzo), se sigue la línea vertical del mes de marzo y se intersecta con la curva del 60% y se lleva en forma horizontal hacia el eje "Y" donde se obtiene el valor estimado de evapotranspiración potencial el cual garantiza cubrir el 60% de los casos luego se multiplica este valor por el coeficiente hídrico del cultivo (K_c).

6.3. ESTUDIOS EDAFOLOGICOS:

Los estudios realizados fueron encaminados únicamente hacia los factores que indican y están involucrados con el movimiento del agua en el suelo, los cuales se describen a continuación:

6.3.1. Curvas de retención de humedad:

Mediante las curvas de retención de humedad (FIGURAS 7 y 8) puede deducirse que la mayor cantidad de agua se encuentra disponible a bajas tensiones, principalmente en los estratos superiores, esto significa que la planta no necesitará mucha energía para extraer la mayor parte del agua disponible, por otro lado, el suelo no tiene muy buena capacidad de retención de agua y por ende la lámina de agua almacenada en el perfil del suelo será relativamente pequeña lo cual implica que el intervalo de riego sea corto.

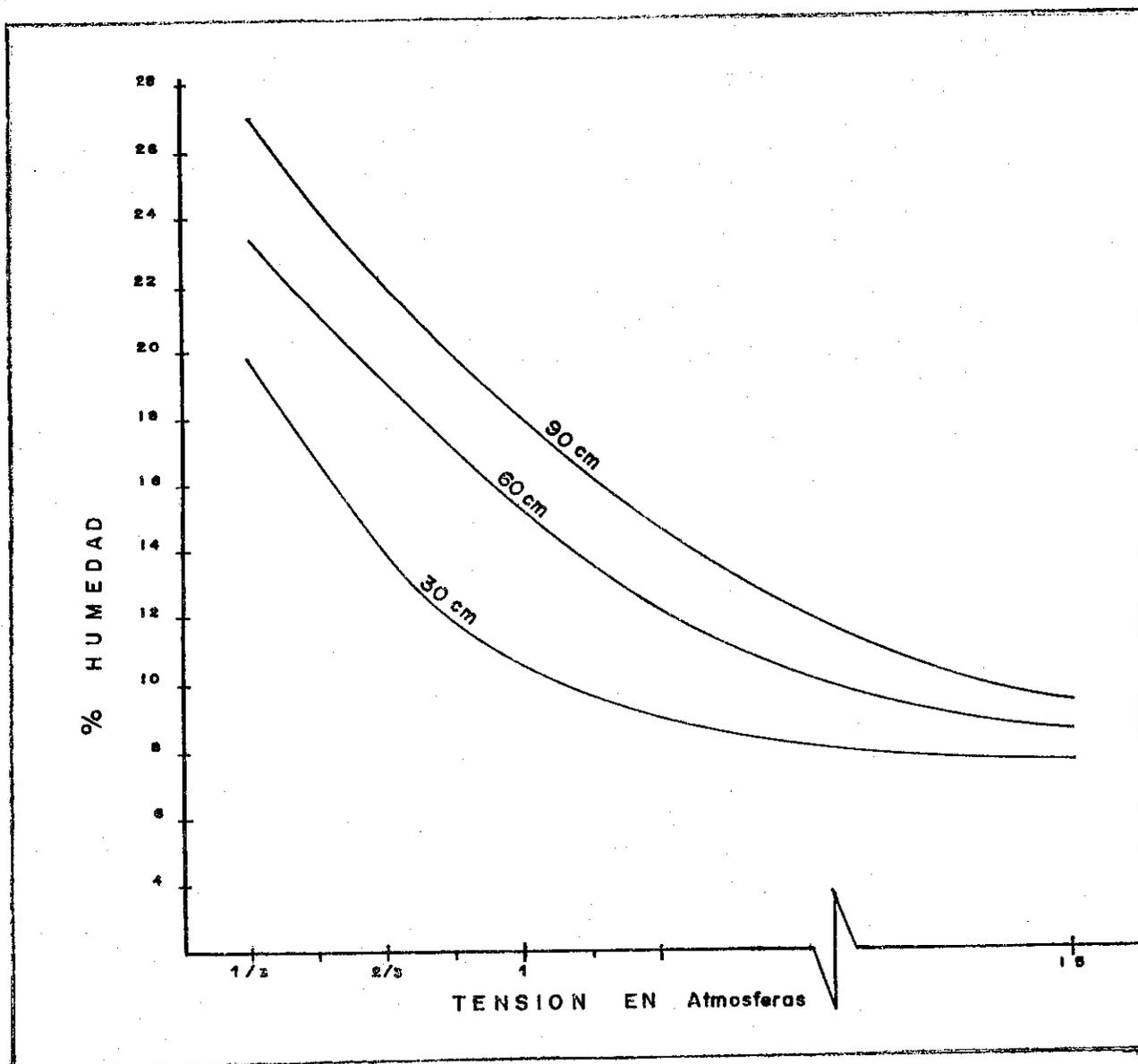


FIGURA 7: Curvas de retención de humedad a 30cm., 60cm y 90cm. de profundidad en el perfil del suelo en el ICTA, La Alameda Chimaltenango.

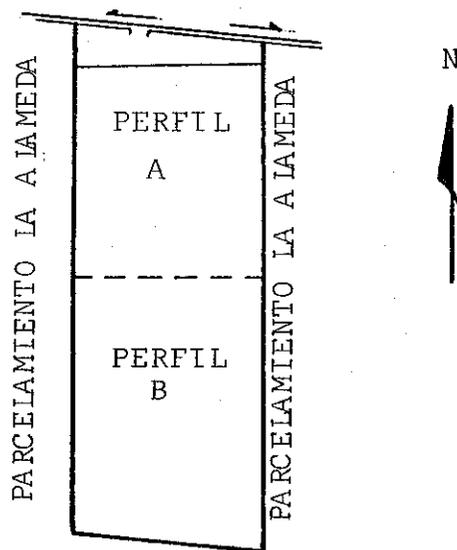
6.3.2. Lámina de humedad disponible:

El comportamiento de la lámina de humedad disponible en el perfil del suelo se muestra en el CUADRO siguiente:

CUADRO 3: Comportamiento de la humedad en el suelo para dos estratos diferentes de la estación experimental del ICTA, La Alameda Chimaltenango.

PERFIL A			PERFIL B		
ESTRATO (en cm)	LAMINA DISPONIBLE	LAMINA DISPONIBLE POR CADA 10cm.	ESTRATO (en cm)	LAMINA DISPONIBLE	LAMINA DISPONIBLE POR CADA 10cm.
30	4.52	1.51	30	4.75	1.58
60	3.58	1.20	60	3.70	1.20
90	4.03	1.30	70	1.30	1.30
145	7.34	1.30	90	2.82	1.41
190	6.40	1.40	130	5.34	1.30
215	2.39	0.90	200	10.38	1.48
			225	2.60	1.04

Referencia:



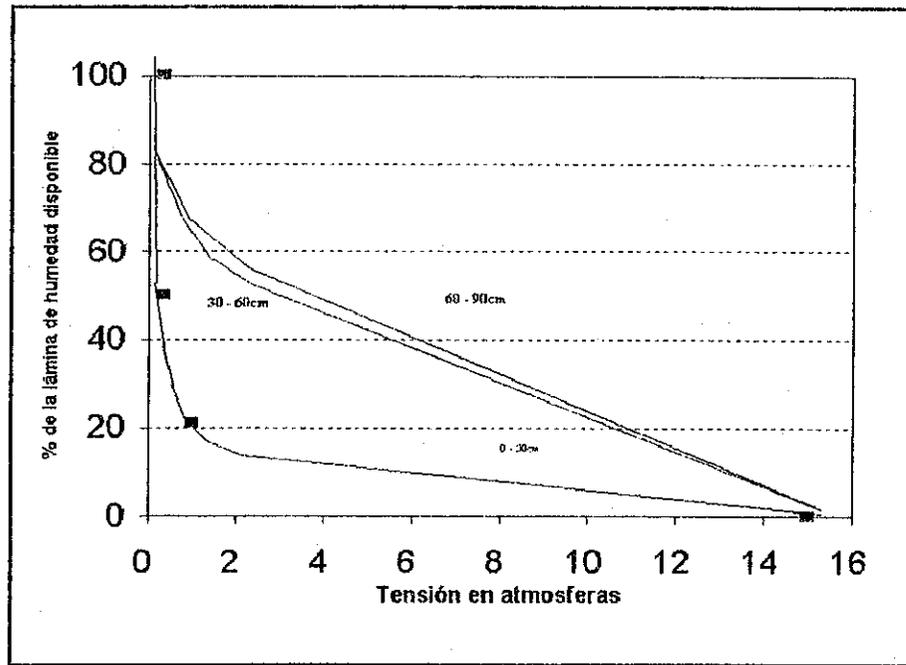


FIGURA 8: Curvas de disponibilidad del agua en el suelo a diferentes profundidades en función de la tensión, en la estación experimental ICTA, La Alameda, Chimaltenango.

Para una mejor comprensión de la humedad disponible en el perfil del suelo, se presenta la FIGURA 9:

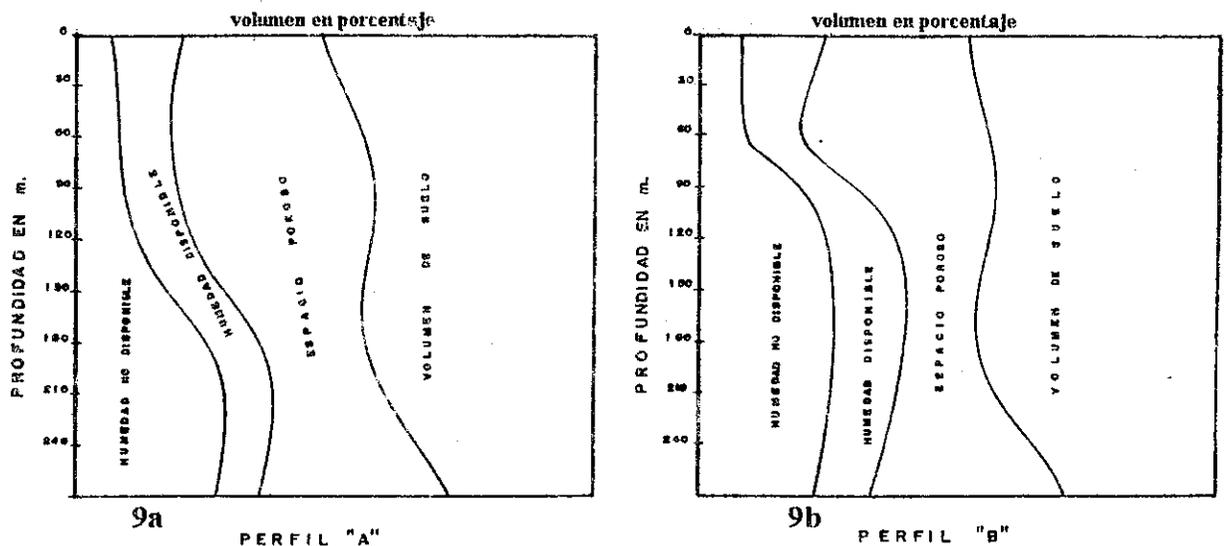


FIGURA 9: Gráficas que muestran el comportamiento de la lámina de humedad disponible en el perfil del suelo, para dos estratos diferentes en la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango

En función de las características de uso del suelo, el área de la estación experimental del ICTA, La Alameda, se dividió en dos áreas; una área que ha sido utilizada más intensivamente (FIGURA 9a) y otra que se ha cultivado con menos intensidad (FIGURA 9b). Ambas áreas presentan características similares en cuanto a la humedad disponible que ofrece su capacidad de almacenamiento, dicha lámina de humedad es bastante homogénea a lo largo del perfil del suelo, aumentando un poco en los primeros 30 centímetros de profundidad y en el horizonte subterráneo de 1.50 a 2.0 metros.

En lo que sí difieren ambas áreas es en la densidad aparente de los horizontes del perfil, y por ende en el espacio poroso. En el perfil A se presenta un amplio espacio poroso desde los 30 cm hasta aproximadamente 1.60m. de profundidad, se reduce gradualmente hasta los 2 metros y vuelve a incrementarse, mientras que el perfil B presenta un amplio espacio poroso hasta una profundidad aproximada de 1.0 metro, de ahí empieza a reducirse el espacio poroso hasta una profundidad de 2.0 metros y luego vuelve a incrementarse.

Después de los 2 metros de profundidad el espacio poroso se vuelve a incrementar en las dos áreas, probablemente por las características del material original del suelo.

6.3.3. Velocidad de Infiltración en el suelo:

En función de las diferentes pruebas de infiltración, se construyó un mapa que muestra la característica de velocidad de infiltración básica en toda el área de estudio (FIGURA 10) dadas las características del suelo, se concluye que presenta una velocidad de infiltración muy alta. De manera general el modelo de Kostiacov Lewis queda expresado para esas condiciones de suelo como:

Infiltración básica (I_b):

$$I_b = 76.67(-600(-0.25))^{-0.25}$$

Tiempo necesario para que se infiltre una lámina cualquiera (t):

$$t = \left[\frac{60L(0.75)}{76.67} \right]^{-3}$$

L = Lámina a infiltrarse en cm.

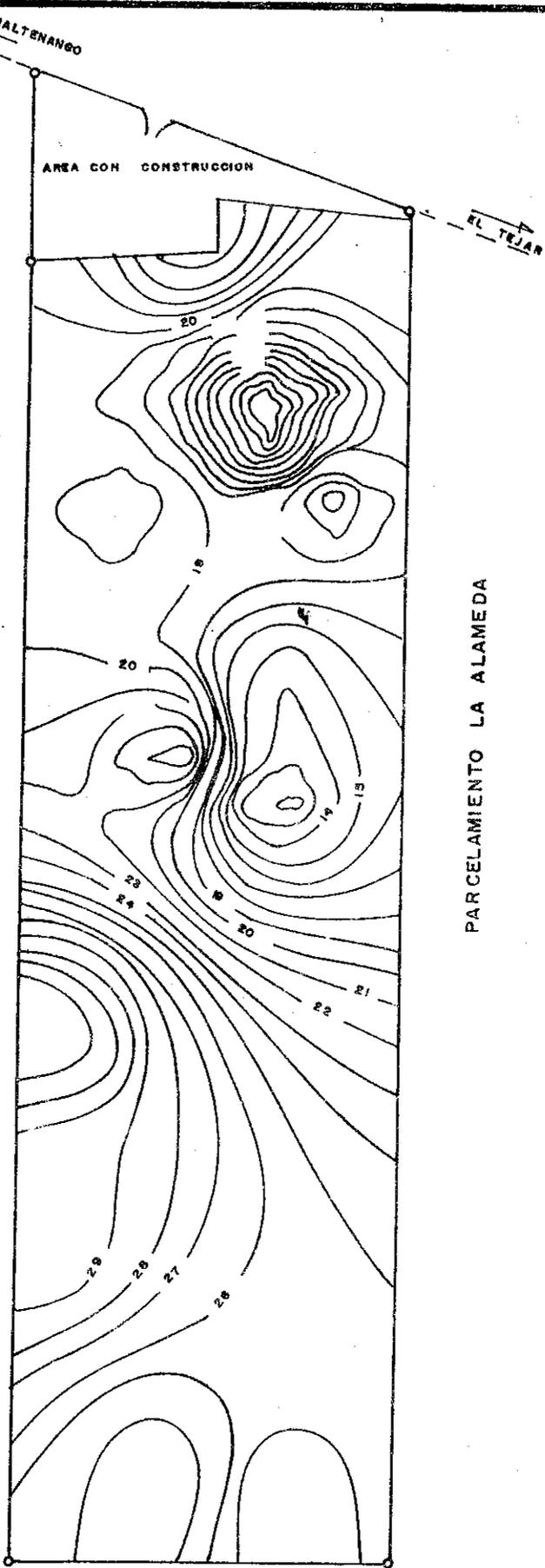
Lámina infiltrada en un tiempo determinado (L):

$$L = \frac{(76.67t)^{0.76}}{45}$$

t = Tiempo transcurrido en minutos



PARCELAMIENTO LA ALAMEDA



PARCELAMIENTO LA ALAMEDA

PARCELAMIENTO LA. ALAMEDA

La FIGURA 10 representa las curvas de igual valor de velocidad de infiltración básica, por lo que puede observarse que la parte sur del área de estudio presenta valores más altos de velocidad de infiltración básica, la cual coincide con el área que ha tenido menos uso (Perfil B).

De acuerdo al análisis de suelo se detectó que esta área presenta un menor contenido de materia orgánica que el área norte, probablemente por el poco uso agrícola que se le ha dado; es de suponer que sea este contenido de materia orgánica que esté influyendo en la velocidad de infiltración en el perfil del suelo. De cualquier manera, se considera que toda el área de estudio presenta una muy alta velocidad de infiltración básica.

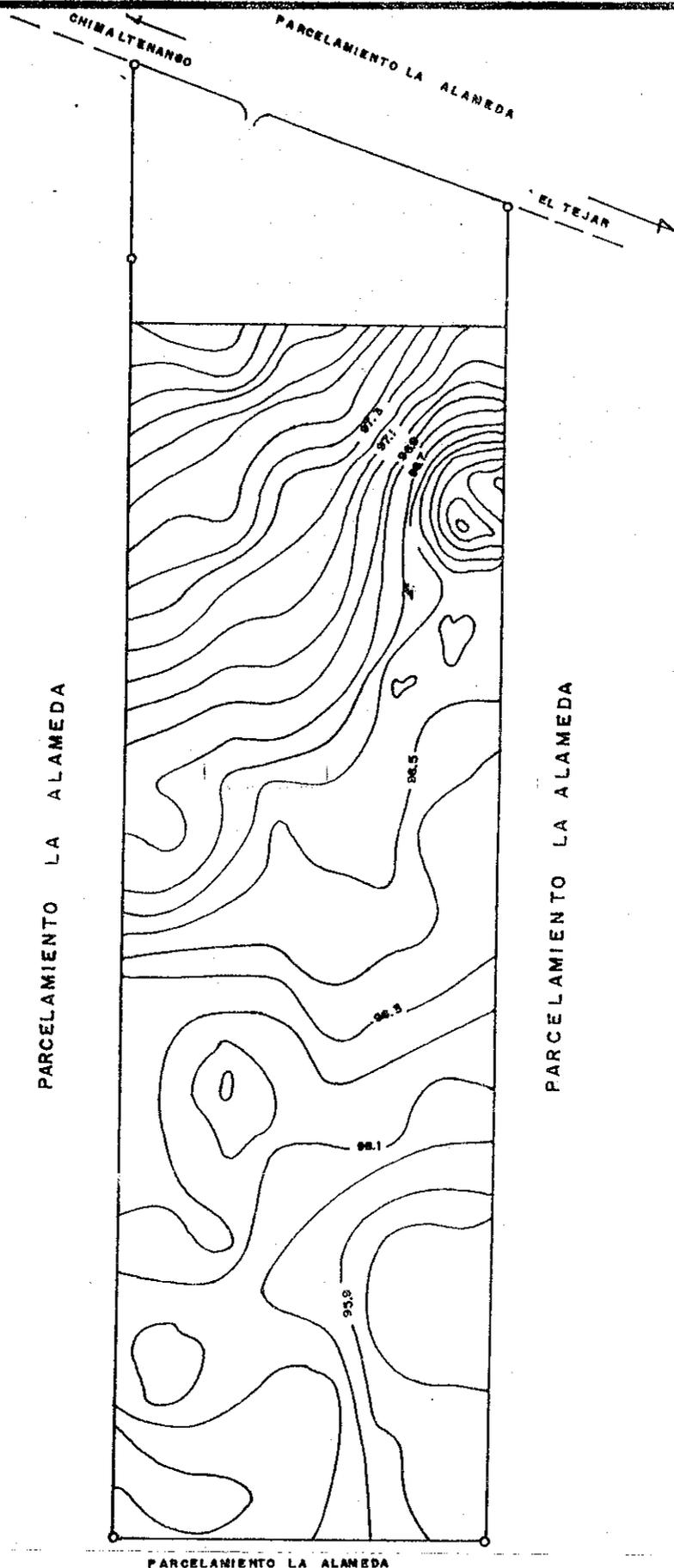
6.4. ESTUDIOS TOPOGRAFICOS:

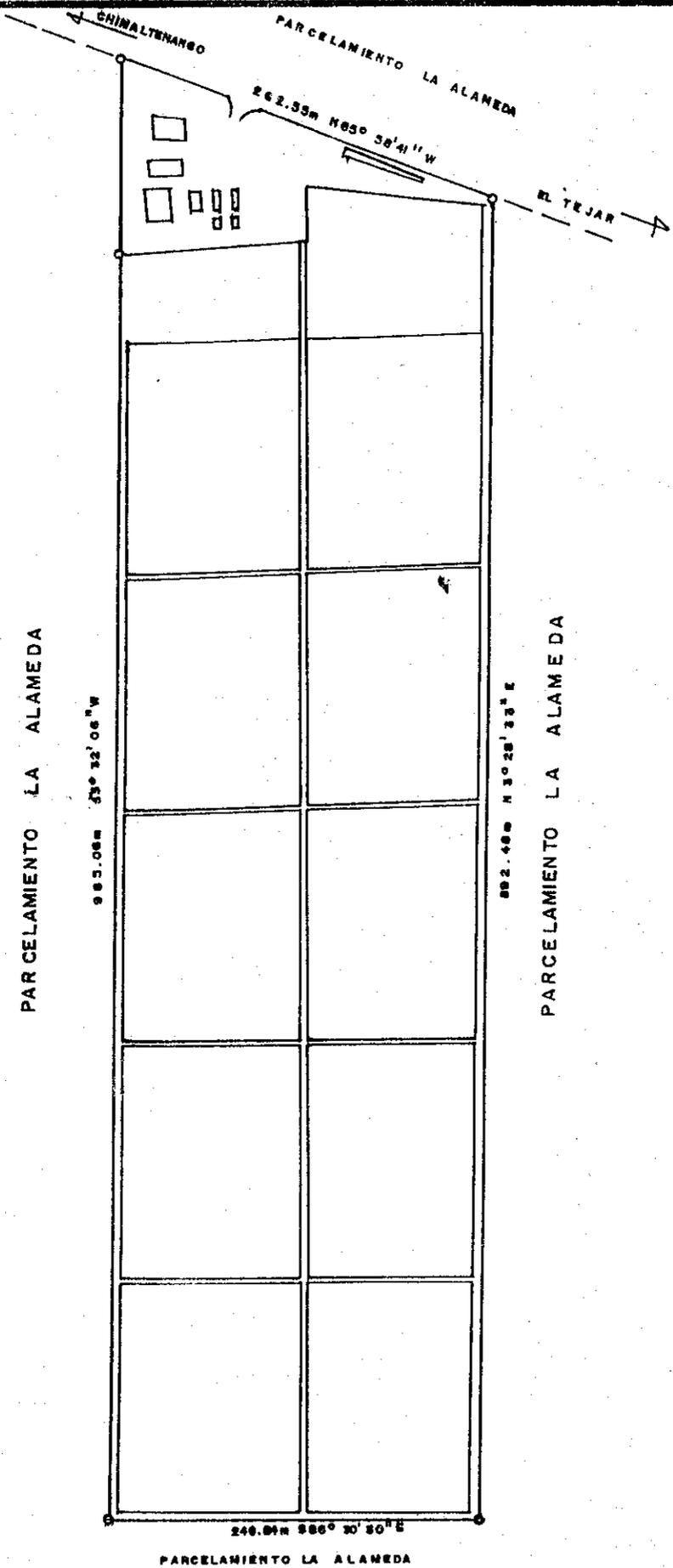
Mediante el levantamiento planialtimétrico se obtuvo el plano general de la estación experimental del ICTA, La Alameda, Chimaltenango (FIGURA 11). Dicho plano fue la base para tomar el criterio de la red de riego.

Como se puede observar en el plano (FIGURA 11), el área total consta de 23.1349596 ha. la cual se encuentra dividida en parcelas de aproximadamente 16,850 metros cuadrados.

El plano de curvas a nivel (FIGURA 12), indica que es una área muy plana, con una pendiente bastante suave que va de Norte a Sur, por lo que el movimiento del agua gravitacional en el suelo también irá en ese sentido. No será necesario una nivelación de tierras para evitar el anegamiento, ya que la infiltración del suelo es bastante alta para no permitir que el agua de lluvia o escorrentía permanezca mucho tiempo en los horizontes superiores, pero sí probablemente antes de los 2 metros de profundidad.

En función de las características reveladas por los estudios anteriores y con base en el plano general y el plano de curvas a nivel se propone el siguiente diseño de un sistema de riego por aspersión (FIGURA 16A).





7. PROPUESTA DEL DISEÑO DE RIEGO POR ASPERSION.

7.1. Datos generales:

Cultivo: Hortalizas

Area total a regar: 5.588 ha.

Infiltración básica: 5.78 cm/hr

Profundidad radicular de diseño: 50 cm.

Evapotranspiración potencial: 5.0 mm. (FIGURA 15A)

Umbral de riego: 40%

Eficiencia agronómica: 76%

Coefficiente Kc para diseño: 0.8

7.2. Cálculos básicos:

A) Lámina de humedad disponible (Lhd):

$$\text{Lhd } 0\text{-}30\text{cm} = (19.29 - 7.68) * 1.30 * 0.3 = 4.53$$

$$\text{Lhd } 30\text{-}50\text{cm} = (19.03 - 8.58) * 1.14 * 0.2 = \underline{2.38}$$

$$\text{Total} \quad 6.91 \text{ cm.}$$

B) Lámina rápidamente aprovechable (Lhra):

$$\text{Lhra} = 6.91 * 0.4$$

$$\text{Lhra} = 2.76 \text{ cm.}$$

C) Lámina bruta de riego (Lbr):

$$\text{Lbr} = 2.76 / 0.76$$

$$\text{Lbr} = 3.63 \text{ cm.}$$

D) Evapotranspiración real (Etr):

$$\text{Etr} = 5 \text{ mm/día} * 0.8$$

$$\text{Etr} = 4 \text{ mm/día}$$

E) Frecuencia de riego (Fr):

$$Fr = 2.76 \text{ cm} / 0.4 \text{ cm/día}$$

$$Fr = 7 \text{ días}$$

F) Lámina neta ajustada (Lna):

$$Lna = 7 \text{ días} * 0.4 \text{ cm/día}$$

$$Lna = 2.8 \text{ cm.}$$

G) Lámina bruta ajustada (Lba):

$$Lba = 2.8 \text{ cm} / 0.76$$

$$Lba = 3.68 \text{ cm.}$$

H) Intensidad de riego (Ir):

$$Ir = 3.68 \text{ cm} / 3 \text{ hrs de riego}$$

$$Ir = 2.46 \text{ cm/hr} < \text{ que } Ib = 5.78 \text{ cm/hr OK}$$

I) Número de turnos de riego:

En función del tiempo de trabajo de 9 hrs por día, se consideraran 3 turnos de riego de 3 horas cada uno.

J) Area a regar por día (Ard):

El área a regar por día se definió en función de un caudal disponible y fácil de manejar de $33 \text{ m}^3/\text{hr}$. proveniente del pozo mecánico y sabiendo que se aplicará una lámina de 3.68 cm en un tiempo de riego de 3 horas para cada uno de los tres turnos.

$$Ard = 7982.62 \text{ m}^2.$$

K) Area a regar por turno (Art):

$$Art = 2,660.87 \text{ m}^2.$$

L) Espaciamiento entre aspersores y laterales = 9 X 12
respectivamente

M) Area a regar por lateral (Arl):

$$\text{Arl} = 1392 \text{ m}^2.$$

N) Número de laterales funcionando simultáneamente = 2

7.3 *Requerimiento de Caudal:*

A) Caudal del aspersor = 1.36 m³/hr

B) Número de aspersores = 24

C) Caudal total = 32.64 m³/hr

$$155 \text{ Gpm.}$$

D) Tipo de Aspersor:

Marca: Naan 322/90

tipo : Bivar 4.5 * 2.5

Caudal: 1.36 m³/hr

Presión de trabajo: 30 psi.

Diámetro de Mojado: 24 metros.

7.4 Cálculo de tubería:

CUADRO 4: Diámetro de tubería y condiciones del fluido para el sistema de riego por aspersión, ICTA, La Alameda, Chimaltenango.

Caudal (en Gpm)	Longitud en m.	Diámetro en pulgadas	Velocidad en m/s	Pérdidas por fricción (Hf)	Factor de salidas	Hf real	No. de tubos	Hf real Total
TUBERIA PRINCIPAL								
155	890	4	1.2	11.72	0.63	7.38	1	7.38
TUBERIA LATERAL								
77.5	116	3	1.07	1.72	0.38	0.65	2	1.30
ELEVADORES								
6	1.2	3/4	1.33	0.16	1	0.16	24	2.50

7.5. Requerimiento de potencia:

7.5.1. Carga dinámica total (CDT):

$$CDT = h_e + H_{fp} + h_{fmp} + C_e$$

$$h_e = 27.9 \text{ m.}$$

$$h_{fp} = 7.38 \text{ m.}$$

$$h_{fmp} = 2.21 \text{ m.}$$

$$C_e = 2.1 \text{ m.}$$

$$CDT = 39.59 \text{ m.}$$

7.5.2. Potencia de la bomba (Hp):

$$H_p = \frac{(9.06 \text{ lps} \times 39.59)}{76}$$

$$H_p = 4.72$$

7.5.3. Potencia al eje de la bomba:

$$H_p = (4.71)/0.70 \text{ (eficiencia de la bomba)}$$

$$H_p = 6.7$$

$$H_p = 7$$

7.5.4. Potencia del motor:

Como se utilizará un motor eléctrico trifásico y la transmisión será directa.

$$H_p = 7$$

7.6. Características de la unidad de bombeo:**7.6.1. Carga neta positiva de succión (Npsh):**

$$N_{psh} = 5.31 \text{ m.}$$

Nota: Esta carga es la disponible bajo las condiciones de la región y por lo tanto la carga neta positiva de succión requerida por la bomba no debe sobrepasar este valor (ver FIGURA 12)

$$N_{psh} \text{ de la bomba} = 4.5 \text{ m.}$$

$$5.31 \text{ m} > 4.5 \text{ m. (aceptable)}$$

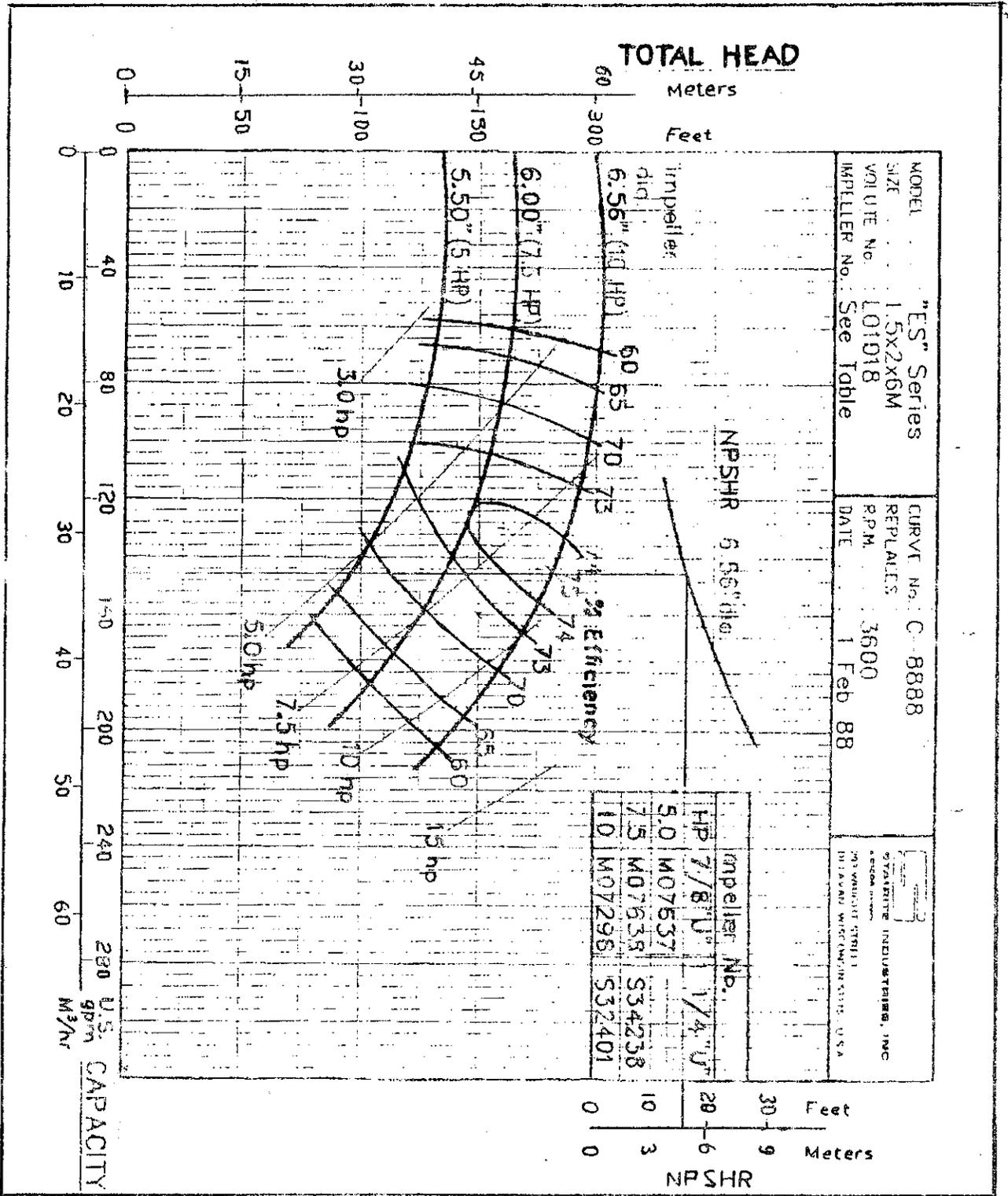


FIGURA 13: Curva característica de la bomba:

7.7 Análisis de Costos:

A) Costos de Inversión = Q. 67,045.03

Unidad de bombeo = Q. 12,264.75

Tubería y Accesorios = Q. 44,780.28

(ver CUADROS 17A y 18A)

Reservorio = Q. 10,000.00

B) Costos fijos = Q.25,821.03

Todos los costos están estimados
por año de trabajo.

- Total de horas de riego al año = 1620 hrs.

- Vida útil del equipo (en horas) = 10,000 hrs.

- Años de depreciación = 6.173 años

- Depreciación por año (Bomba) = Q. 4,407.39/año

- Tasa de interés (20%) = Q. 18,102.16/año

- Costo unitario de inversión = Q. 22,509.55/año

- Reparaciones (FR= 0.27)
(0.27 * Q. 12,264.75) = Q. 3,311.48/año

c) Costos variables = Q. 40636.50

- Mano de obra (para 3 personas) = Q. 33,832.5/año

- 1 P. Calificada = Q. 22,312.5/año

- 2 P. No Calificadas = Q. 11,520.0/año

- Gasto de Energía = Q. 6,804.0/año

- Rendim. del motor = 5.6 Kwh/hr.

- Precio por Kwh = Q. 0.75

- Total de horas/año = 1620 hrs.

TOTAL DE COSTOS POR AÑO = Q. 66457.53/año

7.7.1. Costo Total por hora de riego:

a) Costos fijos = Q. 15.93/hora

b) Costos variables = Q. 25.08/hora

COSTO TOTAL POR HORA = Q. 41.02/hora

8. CONCLUSIONES:

1. El período de requerimiento de riego es de aproximadamente de 6 meses que va de noviembre a abril.
2. La ecuación de Penman y el tanque tipo "A" son los métodos indirectos que estiman la evapotranspiración potencial diaria con mejor precisión para las condiciones del área de estudio.
3. Según las curvas de frecuencia de ocurrencia de la Evapotranspiración potencial para el período 1991-1995, el 90% de los casos ocurridos se encuentran por debajo de 5mm/día de evapotranspiración potencial.
4. El pozo o acuífero puede suministrar perfectamente un caudal hasta de 58 metros cúbicos por hora sin ningún problema.
5. Bajo las condiciones actuales de operación el caudal disponible no permite regar el total del área de la estación experimental (23.135 ha.) sino que solo 10 ha. utilizando todo el caudal y con una mejor capacidad para su manejo.
6. El agua del pozo mecánico no tiene ninguna limitante para regar la mayoría de cultivos.
7. Por las características de retención de humedad del suelo, el intervalo de riego se ve reducido a 7 días máximo.
8. La mayor cantidad de la lámina de humedad disponible en el suelo, se encuentra retenida a baja tensión, para el estrato de 0 - 30 cm. de profundidad el 80% de la lámina disponible se encuentra retenida aproximadamente a 1 atm. de tensión, mientras que en el estrato de 30 - 90cm. de profundidad, el 40% de la lámina disponible se encuentra retenida a la misma tensión.

9. **Es suelo soportará una alta intensidad de riego hasta de 5.78 cm/hr.**
10. **El área de la estación experimental es bastante plana, con una pendiente de 0.2 % pero no presenta problemas de anegamiento debido a su alta velocidad de infiltración, la cual no permite que el agua de lluvia permanezca mucho tiempo en los primeros horizontes del suelo.**
11. **La propuesta de diseño implica regar durante 9 horas al día, con dos laterales funcionando simultáneamente, con 3 turnos al día de 3 horas por turno y con una bomba centrífuga de 7.5 Hp; dicha actividad representará un costo de Q. 41.02/hora de riego para la Institución.**
12. **El sistema está diseñado para cubrir una área máxima de 5.588 ha.**

9. RECOMENDACIONES:

1. Para la estimación diaria de la evapotranspiración es más viable utilizar el método del tanque tipo "A".
2. Encaminar estudios a nivel de parcela para la determinación el factor coeficiente hídrico (K_c) de los cultivos que se siembran en la región.
3. Diseñar un sistema de riego para cubrir el 90% de los eventos ocurridos utilizando la gráfica de curva de frecuencia acumulada de Evapotranspiración potencial propuesta en el presente trabajo.
4. Para la operación y diseño de sistemas de riego en la zona, podrá utilizarse las curvas de frecuencia acumulada de evapotranspiración potencial presentadas en este trabajo.
5. Es recomendable utilizar un déficit permitido de manejo hasta del 80% para cultivos con profundidad radicular de 0 - 30cm y un déficit permitido de manejo del 50% para cultivos con profundidad radicular mayores a 30 cm.
6. Para lograr reducir el tiempo de riego e incrementar el área regada en el día podrá utilizarse un aspersor que brinde una alta intensidad de riego sin que este cause problemas de encharcamiento tales como: Marca Naan, 223/94, 223/94-95, esto implica realizar un nuevo diseño.
7. Si se desea regar el total del área de la estación experimental con el sistema de riego propuesto, deberá construirse un reservorio 800 m³, trabajar la bomba de pozo 20 horas al día y utilizar aproximadamente 7 laterales simultáneamente con 9 horas de riego en el día o simplemente incrementar el tiempo de riego a 21 horas al día.
8. Para el perfecto funcionamiento del sistema de riego debe existir un departamento directamente de la operación del sistema de riego.

10. BIBLIOGRAFIA

1. BANISTER, A. 1987. Técnicas modernas en topografía. Guatemala, Guatemala, Representaciones y Servicios de Ingeniería. 514 p.
2. BRINKER RUSSELL, C. 1982. Topografía moderna, 6 ed. Guatemala, Guatemala, HARLA. 525 p.
3. CABRERA CRUZ, R. O. 1984. Estudio y diseño para la implementación de riego por aspersión en la aldea Los Tecomates, Palencia, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 64 p.
4. CASTILLO ORELLANA, S. 1989. Análisis y calidad del agua con fines de riego. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. 108 p.
5. GOMEZ CRUZ, C. A. 1983. Estudio de introducción y diseño de riego por aspersión para la aldea Marajuma, Morazan, El Progreso. Tesis. Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 47 p.
6. GARDNER, W. H. 1973. Física de suelos. México DF., Editorial Hispanoamericana. 529 p.
7. GRASSI, C. J. 1975. Estimación de los usos consuntivos y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Mérida, Venezuela, Centro Internacional de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 88 p.
8. GUATEMALA. DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO. 1990. Plan maestro de riego y drenaje; caracterización hidroclimática de Guatemala. Guatemala. 57 p.
9. GUROVICH, L. A. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. San José, Costa Rica, IICA. 433 p.
10. HOLDIDGE, L. R. 1958. Zonificación ecológica de Guatemala según sus formaciones vegetales. Guatemala, Ministerio de Agricultura. 216 p.
11. ISRAELSEN, D. 1975. Principio y aplicaciones de riego. 2 ed. Madrid, España. Reverté. 396 p.
12. JEAN, S. F. 1975. El riego por aspersión. 3 ed. Barcelona, España. Editores Técnicos Asociados. 247 p.

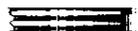
13. KIJNE, J. W. 1978. Determinación de la evapotranspiración. In Principios y aplicaciones del drenaje . Holanda, International Institute for Land Reclamation and Improvement. Estudios e investigaciones. Publication 16s. v.3, p. 60 - 122.
14. MANUAL DE, riego por aspersión. 1982. 2 ed. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 135 P.
15. MEER, K. VANDER; MESSEMAECKERS, VAN DE GRAFF R. H. 1978. Estudio hidropedológico. In Principios y aplicaciones del drenaje. Holanda, International Institute for Land Reclamation and Improvement. Estudios e investigaciones. Publication 16s. v.3, p. 123 - 164.
16. OLIVIER, H. 1979. Riego y clima. Traducido por Ing. Agr. J. L. de la Loma, México, Dirección General de Distritos de Riego de la Secretaría de Recursos Hídricos. 350 p
17. SANDOVAL, J. E. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p.
18. SIMMONS, Ch; TARAMO, J. M.; PINTO, J. H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala, Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
19. STAKMAN, W. P. 1973. Medida de la humedad en el suelo. In Principios y aplicaciones del drenaje. Estudios e investigaciones. Holanda, International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication 16s. v.3, p. 243 - 272.

Vo. Bº

Miriam De la Roca



APENDICE



3



ESSENCE

CUADRO 5A: Profundidad radicular de diseño de algunos cultivos

CULTIVO	PROFUNDIDAD (m)	CULTIVO	PROFUNDIDAD (m)
Alfalfa	1 - 2	Fresa	0.3 - 0.4
Algodón	1.0	Frijol	0.5
Arveja	0.5	Lechuga	0.3 - 0.4
Banano	0.5	Maíz	1.0
Cereales (trigo,avena)	1.0	Papa	0.5
		Repollo	0.5
Fuente: Módulos de entrenamiento de riego. Universidad del estado de Utah (1985).			
ZONA PRINCIPAL DE RAICES DE ALGUNOS CULTIVOS			
CULTIVO	PROFUNDIDAD	CULTIVO	PROFUNDIDAD
Alfalfa	0.9 - 1.8	Melón	0.75 - 0.9
Algodón	1.2	Nueces	0.90 - 1.8
Camote	0.9	Papa	0.60
Cebolla	0.45	Pastos	0.45
Cereales	0.6 - 0.75	Pepino	0.45 - 0.6
Fresa	0.3 - 0.45	Remolacha	0.60 - 0.9
Frijol	0.6	Repollo	0.45 - 0.6
Frutales	0.6 - 1.5	Sorgo	0.75
Lechuga	0.3	Soya	0.60
Maíz	0.75	Tabaco	0.75
Maní	0.45	Tomate	0.30 - 0.6
		Uvas	0.90 - 1.8
		Zanahoria	0.45 - 0.6

Fuente: Rain Bird 1979-1980 Irrigation equipment.

CUADRO 6A: Déficit permitido de manejo (DPM) para varios cultivos

CULTIVO	DPM	ETAPA DEL CICLO DEL CULTIVO
Alfalfa	50	Todo el ciclo
Banano	35	Todo el ciclo
Frijol	40 - 50	Floración y Formación del fruto
	60 - 70	Maduración del grano
Repollo	35	Todo el ciclo
Cítricos	40	Todo el ciclo
Algodón	60	Desarrollo Vegetativo
	70	Floración
	60	Llenado de cápsulas
Sandía	50	Todo el ciclo
Vid	35 - 45	Todo el ciclo
Manía	40 - 50	Todo el ciclo
Maíz	40	Establecimiento (primeros 15-25 días
	55 - 65	Desarrollo vegetativo, Floración y Formación del grano.
	80	Maduración del grano.
Olivo	60 - 70	Todo el ciclo
Cebolla	25	Todo el ciclo
Arveja	40	Todo el ciclo
Chile P.	30 - 40	Todo el ciclo
Piña	50	Desarrollo vegetativo
	75	Maduración del fruto
Papa	25	Todo el ciclo
Sorgo	55	Desarrollo vegetativo
	80	Maduración del fruto
Soya	55	Todo el ciclo
Remolacha azucarera	50 - 60	Todo el ciclo
Trigo	50 - 60	Todo el ciclo
Caña de azúcar	30	Período de establecimiento
	65	Crecimiento vegetativo y formación de cosecha
Girasol	45	Todo el ciclo

Fuente: Rain Bird 1979-1980 Irrigation equipment.

CUADRO 7A: Coeficientes hídricos (Kc) de algunos cultivos

CULTIVO	COEFICIENTE (Kc)
Alfalfa	0.80 a 0.90
Plátano	0.80 a 1.00
Cacao	0.70 a 0.80
Café	0.70 a 0.80
Maíz	0.75 a 0.85
Algodón	0.60 a 0.70
Cereales	0.75 a 0.85
Sorgo	0.70 a 0.80
Girasol	0.65 a 0.75
Huertos	
Aguacates	0.50 a 0.55
Naranjos y limones	0.45 a 0.55
Nogales	0.60 a 0.70
Empastadas:	
Trébol ladino	0.80 a 0.85
Papas	0.65 a 0.75
Arroz	1.00 a 1.10
Sisal	0.65 a 0.70
Remolacha azucarera	0.65 a 0.75
Caña de azúcar	0.80 a 0.90
Tabaco	0.70 a 0.80
Tomates	0.65 a 0.70
Viñas	0.50 a 0.60

Fuente: L. A. Gurovich.

CUADRO 8A: Factor de disminución del diámetro de tiro de los
aspersores de acuerdo con la velocidad del viento

Velocidad del Viento en Km/hr.	Espaciamiento de los aspersores en % del diámetro mojado
Poco o ningún viento	65% del diámetro
Hasta 9.5	60% del diámetro
Hasta 12.5	50% del diámetro
Sobre 12.5	30% - 50% del diámetro

Fuente: L. A. Gurovich.

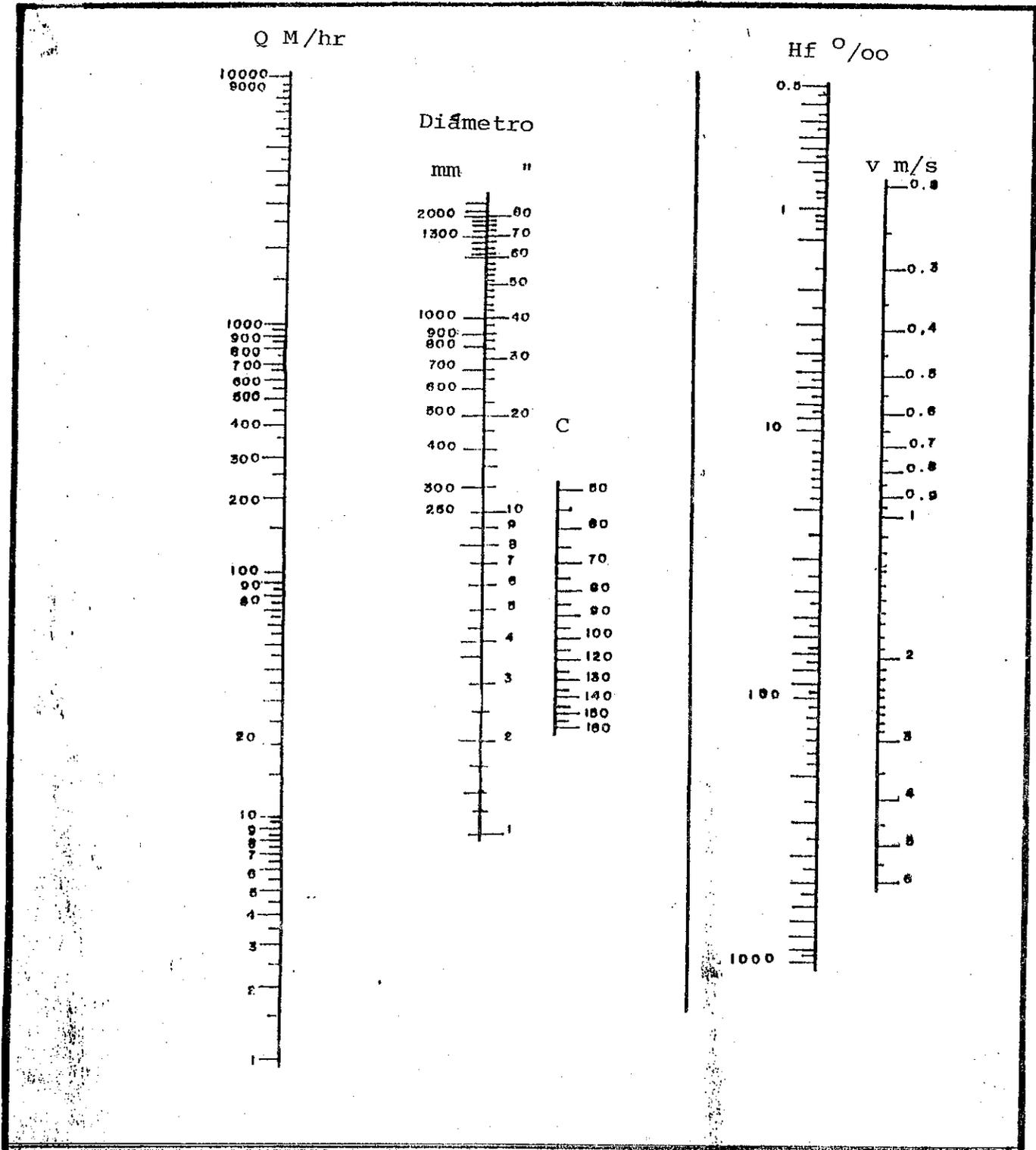


FIGURA 14A: NOMOGRAMA DE HAZEN-WILLIAMS

VALOR DE k EN LA FORMULA:

$$hm = \frac{K + V^2}{2g}$$

CUADRO 9A: Valores de K en accesorios para pérdidas menores por fricción

ACCESORIO	K
Válvula irreversible (abierta)	2.5
Válvula de compuerta abierta del todo	
1/4 cerrada	0.2
1/2 cerrada	1.2
3/4 cerrada	6.0
	24.0
Codo de 90 (curva)	0.9
Codo de 45 (curva)	0.4
Ingreso atornillado a tubo	0.5
Ramificación de T	
Alejamiento	
d1/d2 = 1/4	0.9
d1/d2 = 1/2	0.6
d1/de = 3/4	0.2
d2/d1 = 1/4	0.4
d1/d2 = 1/2	0.3
d2/d1 = 3/4	0.2

Fuente: J. Sandoval

CUADRO 10A: VARIACION DE LOS REGISTROS DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL PARA PERIODOS DE REGISTROS DIARIOS Y MENSUALES EN LA ESTACION EXPERIMENTAL DEL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO

PERIODO DE REGISTROS	MES												
	ENERO	FEBRER	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC	
DIARIOS	DST	0.90	1.41	1.20	1.70	1.78	2.07	1.76	1.77	2.10	1.83	1.50	0.98
	MEDIA	2.78	3.39	4.01	3.82	3.57	2.49	2.47	2.60	2.54	2.36	2.57	2.29
	CV	32.41	41.68	30.01	44.50	49.88	83.21	71.35	68.01	82.65	77.47	58.48	42.80
MENSUAL	DST	6.95	8.46	8.46	14.47	20.14	23.53	20.66	24.05	32.42	20.05	22.04	7.07
	MEDIA	82.77	98.37	98.37	109.12	109.18	72.27	75.73	80.56	76.34	73.28	79.65	70.86
	CV	8.40	8.61	8.61	13.26	18.44	32.55	27.28	29.82	42.47	27.36	27.57	9.98
	DIARIA ESTIMADA	2.67	3.17	3.17	3.52	3.52	2.33	2.44	2.60	2.46	2.36	2.57	2.29

DST = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

Tablas de Frecuencias acumuladas de Evapotranspiración potencial por mes para las condiciones de La Alameda, Chimaltenango

CUADRO 11 A

Mes: enero
Periodo: 1991-1995

Mes: julio
Periodo: 1991-1995

INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia	INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia
0 - 1	4	4	3	0 - 1	7	7	5
1 - 2	30	34	22	1 - 2	30	37	26
2 - 3	52	86	55	2 - 3	41	78	54
3 - 4	56	142	92	3 - 4	30	108	74
4 - 5	8	150	97	4 - 5	27	135	93
5 - 6	4	154	99	5 - 6	5	140	97
6 - 7	1	155	100	6 - 7	4	144	99
7 - 8	0	155	100	7 - 8	1	145	100
8 - 9	0	155	100	8 - 9	0	145	100
total	155			total	145		

CUADRO 12 A

Mes: febrero
Periodo: 1991-1995

Mes: agosto
Periodo: 1991-1995

INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia	INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia
0 - 1	3	3	2	0 - 1	8	8	5
1 - 2	10	13	9	1 - 2	25	33	21
2 - 3	23	36	26	2 - 3	39	72	46
3 - 4	53	89	64	3 - 4	56	128	83
4 - 5	40	129	92	4 - 5	13	141	91
5 - 6	7	136	97	5 - 6	9	150	97
6 - 7	1	137	98	6 - 7	0	150	97
7 - 8	3	140	100	7 - 8	5	155	100
8 - 9	0	140	100	8 - 9	0	155	100
total	140			total	155		

CUADRO 13 A

Mes: marzo
Periodo: 1991-1995

Mes: septiembre
Periodo: 1991-1995

INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia	INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia
0 - 1	0	0	0	0 - 1	11	11	7
1 - 2	8	8	5	1 - 2	28	39	26
2 - 3	14	22	14	2 - 3	51	90	60
3 - 4	51	73	47	3 - 4	26	116	77
4 - 5	53	126	81	4 - 5	16	132	88
5 - 6	24	150	97	5 - 6	5	137	91
6 - 7	5	155	100	6 - 7	3	140	93
7 - 8	0	155	100	7 - 8	10	150	100
8 - 9	0	155	100	8 - 9	0	150	100
total	155			total	150		

**Tablas de Frecuencias acumuladas de Evapotranspiración potencial
por mes para las condiciones de La Alameda, Chimaltenango**

CUADRO 14 A

Mes: abril

Mes: octubre

Periodo: 1991-1995

Periodo: 1991-1995

INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia	INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia
0 - 1	3	3	2	0 - 1	7	7	5
1 - 2	6	9	6	1 - 2	40	47	30
2 - 3	16	25	17	2 - 3	60	107	69
3 - 4	43	68	45	3 - 4	24	131	85
4 - 5	51	119	79	4 - 5	8	139	90
5 - 6	19	138	92	5 - 6	6	145	94
6 - 7	10	148	99	6 - 7	3	148	95
7 - 8	1	149	99	7 - 8	7	155	100
8 - 9	1	150	100	8 - 9	0	155	100
total	150			total	155		

CUADRO 15 A

Mes: mayo

Mes: noviembre

Periodo: 1991-1995

Periodo: 1991-1995

INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia	INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia
0 - 1	2	2	1	0 - 1	8	8	6
1 - 2	11	13	8	1 - 2	37	45	31
2 - 3	17	30	19	2 - 3	44	89	61
3 - 4	52	82	53	3 - 4	24	113	78
4 - 5	44	126	81	4 - 5	24	137	94
5 - 6	14	140	90	5 - 6	5	142	98
6 - 7	11	151	97	6 - 7	3	145	100
7 - 8	4	155	100	7 - 8	0	145	100
8 - 9	0	155	100	8 - 9	0	145	100
total	155			total	145		

CUADRO 16 A

Mes: junio

Mes: diciembre

Periodo: 1991-1995

Periodo: 1991-1995

INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia	INTERVALO ETP	F	Fa	% Prob. Ocurrencia
0 - 1	4	4	3	0 - 1	10	10	6
1 - 2	15	19	14	1 - 2	42	52	34
2 - 3	34	53	38	2 - 3	75	127	82
3 - 4	41	94	67	3 - 4	21	148	95
4 - 5	28	122	87	4 - 5	6	154	99
5 - 6	8	130	93	5 - 6	0	154	99
6 - 7	6	136	97	6 - 7	1	155	100
7 - 8	4	140	100	7 - 8	0	155	100
8 - 9	0	140	100	8 - 9	0	155	100
total	140			total	155		

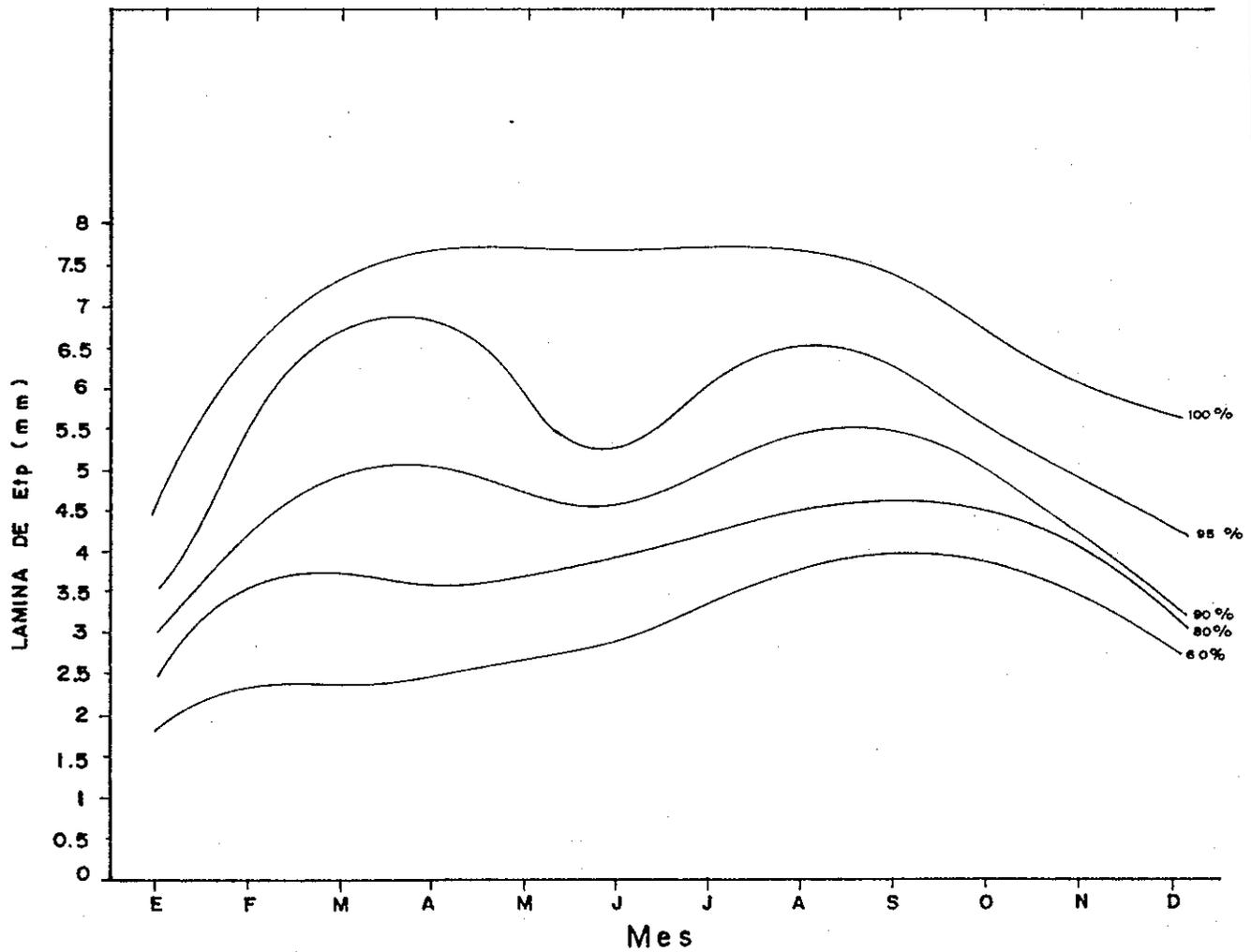
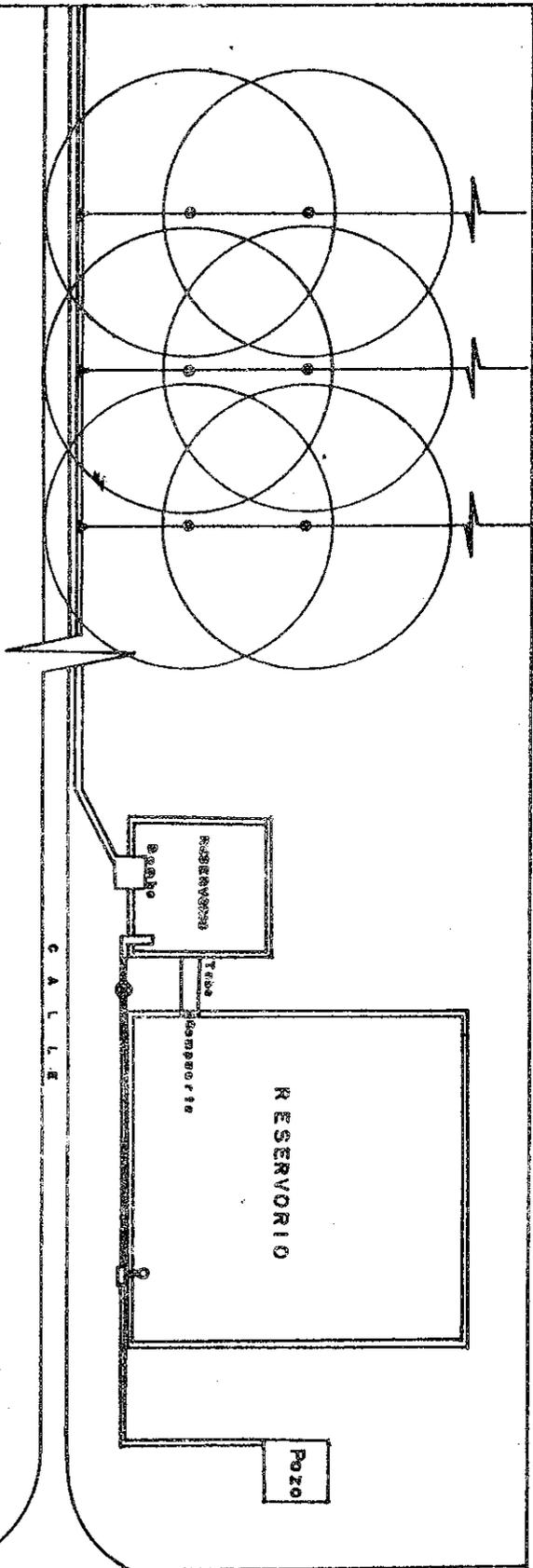
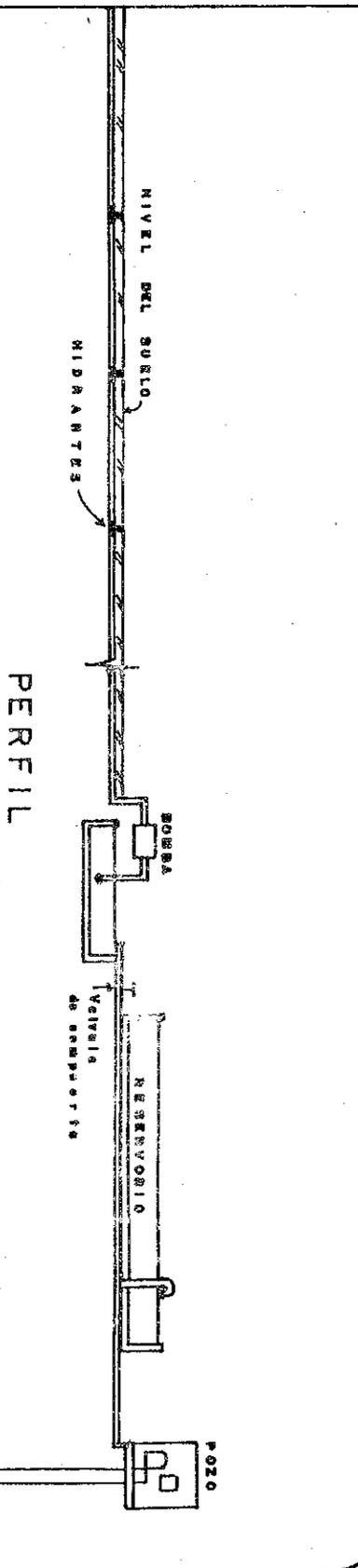


FIGURA 15A: Curvas del Porcentaje de frecuencia acumulada de Evapotranspiración potencial para los diferentes meses bajo las condiciones de la Alameda, Chimaltenango.



PLANTA



PERFIL

ESCALA 1:500

CUADRO 17A: Cotización por la implementación de un equipo de bombeo con capacidad para 160 GPM y una carga dinámica total de 125'.

DESCRIPCION		COSTO
1	Bomba centrífuga horizontal marca Sta-Rite modelo ES 1.5x2x6M de 7.5 Hp, 220V. trifásica.	Q. 6,308.00
1	Válvula de pie de 4"	560.00
1	Válvula de compuerta de 3"	411.10
1	Válvula de Cheque de 3"	703.00
1	Manómetro amortiguado de 100psi	
1	Arrancador magnético F25	147.00
1	Botonera	844.00
1	Guardanivel con 3 electrodos	202.00
1	Interruptor de seguridad de 3x30 Amps. 240V.	1,139.00
1	Flip-On 3x40 Amps.	242.05
	Material Complementario	357.98
	Instalación y Arranque	710.32
		<u>640.30</u>
TOTAL		12,264.75

Fuente: IRRITECH, S.A. Guatemala, febrero 1997

CUADRO 18A: Cotización sobre equipo de riego.

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO	IMPORTE
48	Aspersores marca NAAN modelo 322/90, con boquilla 4.5 x 2.5mm	180.00	8,640.00
151	Tubos de PVC de 4" x 20'x 125PSI, Junta cementada	216.70	32,721.10
48	Elevadores de aluminio de 3/4" x 1.2m. de largo	63.81	3,062.69
1	Galón de cemento solvente para PVC	356.50	356.50
INCLUYE: Mano de obra calificada en la instalación y puesta en marcha.			Q.44,780.28
			IMPORTE TOTAL

Fuente: Riegos Modernos de Guatemala, S. A. Guatemala, febrero de 1997.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 AGRONOMICAS

01/7/97

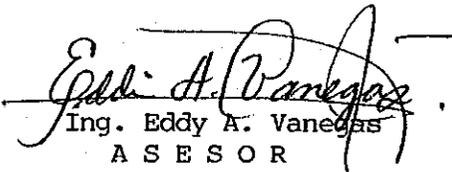
LA TESIS TITULADA: ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DE RIEGO POR ASPERSION
 EN LA ESTACION EXPERIMENTAL, DEL ICTA, LA ALAMEDA, CHIMALTENANGO.

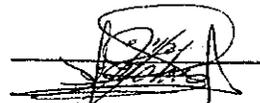
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: EDUARDO ANIBAL TOLEDO MENESES

CARNET NO. 88-13156

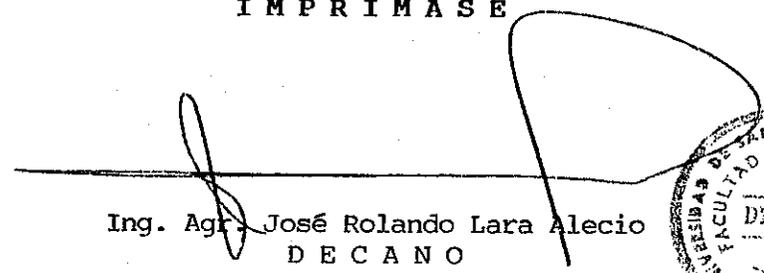
HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: ING. AGR. WALTER GARCIA TELLO
 ING. AGR. GUSTAVO MENDEZ
 ING. AGR. LUIS FERNANDO MORAN

El asesor y las autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que
 ha cumplido con las normas y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la
 Universidad de San Carlos de Guatemala.


 Ing. Eddy A. Vanegas
 ASESOR


 Ing. Fernando Rodríguez B.
 DIRECTOR DEL RIA INSTITUTO
 DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS
 DIRECCION
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

I M P R I M A S E


 Ing. Agr. José Rolando Lara Alecio
 DECANO



CC. Control Academico
 Archivo

APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770