

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
AREA DE INVESTIGACION AGRONOMICA**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA LA
ESCUELA DE AGRICULTURA DE NORORIENTE (EANOR),
LLANOS DE LA FRAGUA, ZACAPA.**

TESIS

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

POR

ERLIN ALCIDES MIRANDA ROSALES

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO

DE LICENCIADO



Guatemala, septiembre de 2004.

DL
DI
T(2153)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

Dr. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
VOCAL I	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL II	Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL III	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL IV	Prof. Juvencio Chom Canil
VOCAL V	Prof. Byron Geovany González Chavajay
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, agosto de 2004.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos miembros:

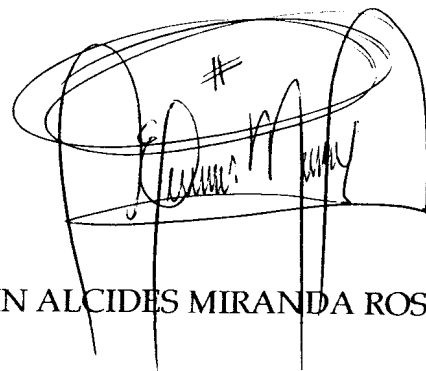
De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA LA
ESCUELA DE AGRICULTURA DE NORORIENTE (EANOR),
LLANOS DE LA FRAGUA, ZACAPA**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado

En espera de la aprobación del mismo, me suscribo de ustedes.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn rectangular box. The signature is stylized and appears to read 'ERLIN ALCIDES MIRANDA ROSALES'. There is a small '#' symbol above the signature.

ERLIN ALCIDES MIRANDA ROSALES

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por haberme permitido alcanzar este triunfo.

MIS PADRES: Lidia de Meli Rosales Sagastume de Miranda
José Javier Miranda Tejada
Dedico este triunfo como una pequeña recompensa por encausarme por el camino del bien y esforzarse cada día por brindarme lo mejor.

MIS HERMANOS: Helen Adamaris, Deysi Amarilis, Nelvin Aroldo y Jaime Ronaldo.
Por su apoyo incondicional en todo momento y que este triunfo sea un ejemplo para ellos.

MIS ABUELOS: Eva Sagastume de Rosales
Martín Rosales
Delia Tejada de Miranda
Antonio Miranda

MI FAMILIA EN GENERAL

TESIS QUE DEDICO

A:

Escuela Oficial Rural Mixta "La Ceibita", San Luís, Petén.

Instituto Nacional Mixto de Ecuación Básica, San Luís, Petén.

Instituto Tecnológico Privado de Oriente, Chiquimula.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Facultad de Agronomía

Mis compañeros y amigos universitarios.

AGRADECIMIENTOS

A:

Ing. Agr. Rolando Lara, Ing. Agr. Carlos Cordón e Ing. Agr. Pedro Peláez, por su asesoría y sugerencias brindadas para el desarrollo de éste proyecto de tesis.

Ing. Agr. David Juárez e Ing. Walter Reyes por sus observaciones mediante la evaluación de éste proyecto de tesis.

A la Escuela de Agricultura de Nororiente (EANOR) por brindarme la oportunidad y el apoyo necesario para realizar éste proyecto de tesis.

A todas aquellas personas de la EANOR, del área administrativa y docente, que de alguna u otra forma contribuyeron con la realización de éste proyecto, mis más sinceros agradecimientos.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGRARIAS

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE PLANOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
1. INTRODUCCION.....	01
2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	03
3. MARCO TEORICO.....	04
3.1 Marco Conceptual.....	04
3.1.1 Importancia del riego.....	04
3.1.2 Concepto de riego agrícola.....	04
3.1.3 Condiciones para establecer un proyecto de riego.....	05
3.1.4 Estudios en el desarrollo de un proyecto de riego.....	06
3.1.4.1 Estudio topográfico.....	06
3.1.4.2 Estudio edafológico.....	06
3.1.4.3 Estudio climatológico.....	08
3.1.4.4 Relación Agua-Suelo-Planta.....	08
3.1.4.5 Consumo de agua por los cultivos.....	09
3.1.4.6 Calidad de agua para riego.....	10
3.1.5 Riego por goteo.....	11
3.1.5.1 Características del riego por goteo.....	12
3.1.5.2 Ventajas y desventajas del sistema de riego por goteo.....	13
3.1.5.3 Componentes del sistema.....	14
3.2 Marco Referencial.....	17
3.2.1 Descripción biofísica del área.....	17
3.2.1.1 Ubicación.....	17
3.2.1.2 Clima.....	18
3.2.1.3 Zona de vida.....	18

3.2.1.4	Suelos.....	18
3.2.1.5	Topografía.....	18
3.2.1.6	Flora y fauna existente.....	19
3.2.2	Creación de la Escuela de Agricultura de Nor-Oriente (EANOR)....	19
3.2.2.1	Visión de la EANOR.....	20
3.2.2.2	Misión de la EANOR.....	20
3.2.2.3	Estrategia de la EANOR.....	20
4.	OBJETIVOS.....	21
4.1	General.....	21
4.2	Específicos.....	21
5.	METODOLOGIA.....	22
5.1	Diseño Agronómico.....	22
5.1.1	Estudio topográfico.....	22
5.1.2	Estudio climatológico.....	22
5.1.3	Estudio edafológico.....	22
5.1.3.1	Muestreo de suelos.....	22
5.1.3.2	Análisis físico-químico de suelos.....	22
5.1.3.3	Constantes de humedad.....	23
5.1.3.4	Determinación de la infiltración.....	23
5.1.3.5	Cultivos a regar.....	23
5.1.4	Estudio hidrológico.....	23
5.1.4.1	Disponibilidad de agua.....	23
5.1.4.2	Calidad de agua.....	24
5.1.4.3	Determinación del consumo de agua o demandas evapotranspirativas.....	24
5.1.4.4	Porcentaje de suelo humedecido.....	25
5.1.4.5	Lámina de agua disponible.....	26
5.1.4.6	Lámina de riego.....	26
5.1.4.7	Intervalo entre riegos.....	26
5.1.4.8	Lámina neta de agua.....	27

5.1.4.9	Lámina de agua a aplicar.....	27
5.1.4.10	Duración del riego.....	27
5.1.4.11	Unidades de operación.....	28
5.1.4.12	Capacidad del sistema.....	28
5.2	Diseño Hidráulico.....	29
5.2.1	Líneas portagotos (laterales).....	29
5.2.1.1	Pérdidas de carga permisibles.....	29
5.2.1.2	Longitud del lateral.....	29
5.2.1.3	Pérdidas de carga en el lateral.....	29
5.2.1.4	Número de goteros por lateral.....	30
5.2.1.5	Caudal del lateral.....	30
5.2.1.6	Diámetro del lateral.....	30
5.2.2	Diseño de manifold (tubería de múltiple salida).....	31
5.2.2.1	Caudal del manifold.....	31
5.2.2.2	Longitud del manifold.....	32
5.2.2.3	Pérdidas de carga en el manifold.....	32
5.2.2.4	Diámetro del manifold.....	32
5.2.2.5	Coefficiente de uniformidad.....	32
5.2.3	Diseño de tubería sub-principal y principal.....	33
5.2.4	Diseño de cabezal.....	33
5.2.5	Carga requerida.....	34
5.2.6	Requerimiento de bomba.....	34
6.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
6.1	Diseño Agronómico.....	35
6.1.1	Estudio topográfico.....	35
6.1.2	Estudio climatológico.....	35
6.1.3	Estudio edafológico.....	36
6.1.3.1	Muestreo de suelos.....	36
6.1.3.2	Análisis físico-químico de suelos.....	37
6.1.3.3	Constantes de humedad.....	38

6.1.3.4	Determinación de la infiltración.....	38
6.1.3.5	Cultivos a regar.....	39
6.1.4	Estudio hidrológico.....	39
6.1.4.1	Disponibilidad de agua.....	39
6.1.4.2	Calidad de agua.....	40
6.1.4.3	Determinación del consumo de agua o demandas evapotranspirativas.....	42
6.1.4.4	Porcentaje de suelo humedecido (P ó PAR).....	44
6.1.4.5	Lámina de agua disponible.....	45
6.1.4.6	Lámina de riego.....	46
6.1.4.7	Intervalo entre riegos.....	46
6.1.4.8	Lámina neta de agua.....	46
6.1.4.9	Lámina de agua a aplicar.....	47
6.1.4.10	Duración del riego.....	47
6.1.4.11	Unidades de operación.....	48
6.1.4.12	Capacidad del sistema.....	48
6.2	Diseño Hidráulico.....	48
6.2.1	Líneas portagotos (laterales).....	48
6.2.1.1	Pérdidas de carga permisibles.....	49
6.2.1.2	Longitud del lateral.....	49
6.2.1.3	Pérdidas de carga en el lateral.....	50
6.2.1.4	Número de goteros.....	50
6.2.1.5	Caudal del lateral.....	51
6.2.1.6	Diámetro del lateral.....	51
6.2.2	Diseño de manifold (tubería de múltiple salida).....	52
6.2.2.1	Caudal del manifold.....	52
6.2.2.2	Longitud del manifold.....	52
6.2.2.3	Pérdidas de carga en el manifold.....	52
6.2.2.4	Diámetro del manifold.....	53
6.2.2.5	Coefficiente de uniformidad.....	53

6.2.3	Diseño de tubería sub-principal y principal.....	54
6.2.4	Diseño de cabezal.....	55
6.2.5	Carga requerida.....	56
6.2.6	Requerimiento de bomba.....	56
6.3	Estimación de costos.....	56
6.4	Especificaciones del sistema.....	60
6.5	Normas para la operación y mantenimiento del sistema de riego diseñado.....	61
6.5.1	Operación.....	61
6.5.2	Mantenimiento.....	63
6.5.2.1	Equipo de impulsión.....	63
6.5.2.2	Sistema de filtrado.....	63
6.5.2.3	Lavado de tuberías y mangueras.....	63
6.5.2.4	Desajuste de válvulas.....	64
6.5.2.5	Necesidad y frecuencia de lavados con ácidos.....	64
6.6	Estimación de impacto sobre componentes ambientales.....	65
6.6.1	Impactos ambientales negativos.....	65
6.6.2	Medidas de mitigación.....	65
7.	CONCLUSIONES.....	67
8.	RECOMENDACIONES.....	69
9.	BIBLIOGRAFIA.....	70
10.	ANEXOS.....	72

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Cuantificación de las áreas netas de diseño para los diferentes cultivos....	35
CUADRO 2. Datos climáticos de la estación LA FRAGUA, para el período 1992-2002...	36
CUADRO 3. Resultados de laboratorio de las características físicas del área de diseño..	37
CUADRO 4. Resultados de laboratorio de las características químicas del área de diseño. Profundidad de muestreo 0- 30 cms.....	37
CUADRO 5. Resultados de laboratorio de las constantes de humedad del área de diseño.....	38
CUADRO 6. Aforo realizado en el pozo de la EANOR, a diferentes presiones (PSI).....	39
CUADRO 7. Análisis de agua provenientes del Pozo de la EANOR.....	40
CUADRO 8. Análisis proveniente del Canal de riego LA FRAGUA.....	41
CUADRO 9. Determinación de la evapotranspiración para los 12 meses del año.....	42
CUADRO 10. Determinación de la evapotranspiración para los diferentes cultivos en los diferentes meses del año.....	43
CUADRO 11. Alternativas utilizadas para determinar el valor de porcentaje de suelo humedecido, utilizando la tabla de Karmellí y Keller.....	44
CUADRO 12. Diámetro de tubería sub-principal y sus pérdidas por fricción para los diferentes cultivos de diseño.....	54

CUADRO 13. Diámetro de tubería principal y sus pérdidas por fricción.....	55
CUADRO 14. Pérdidas de carga en los componentes del cabezal y equipo de inyección.	55
CUADRO 15. Estimación de costos del proyecto de riego para el área agrícola de la EANOR.....	57
CUADRO 16. Distribuciones de riego diarios para cada sub-unidad con su respectivo tiempo (hrs), considerando el tiempo de riego disponible.....	62
CUADRO 17A. Coeficiente de reducción F para tubería de múltiples salidas.....	75
CUADRO 18A. Nomenclatura climatológica.....	75
TABLA 1A. Tanto por uno (p) de horas diurnas del mes respecto a las totales.....	76
TABLA 2A. Duración máxima diaria media de las horas de fuerte insolación N en diferentes meses y latitudes.....	76
TABLA 3A. Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo.....	77
TABLA 4A. Cálculos del diseño agronómico e hidráulico para el cultivo del Maíz.....	84
TABLA 5A. Cálculo agronómico del cultivo del Maíz por medio de un programa de riego.....	86

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Curva de infiltración del agua en el área de estudio.....	38
FIGURA 2A. Ubicación del proyecto.....	73
FIGURA 3A. Predicción de la ETo (eje de ordenadas) a partir del factor f de Blanney-Criddle (Eje de abscisas), para diferentes condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diurnos (FAO).....	74
FIGURA 4A. Nomograma para el diseño de laterales.....	78
FIGURA 5A. Pérdidas de carga en tubería rígida de polietileno o poliducto, para varios diámetros, para diseñar tubería múltiple y principal.....	79

INDICE DE PLANOS

PLANO 1. Mapa topográfico general.....	80
PLANO 2. Mapa curvas a nivel.....	81
PLANO 3. Mapa conducción y distribución de agua.....	82
PLANO 4. Mapa de perfil del terreno.....	83

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA LA ESCUELA DE AGRICULTURA DE NORORIENTE (EANOR), LLANOS DE LA FRAGUA, ZACAPA

STUDY AND DESIGN OF A DRIP IRRIGATION SYSTEM FOR THE NORTH WESTERN SCHOOL OF AGRICULTURE (EANOR), LLANOS DE LA FRAGUA, ZACAPA

RESUMEN

En Guatemala las actividades agrícolas constituyen uno de los sectores más relevantes de la economía, lo que implica que se de mayor prioridad a la educación y capacitación del recurso humano para promover el desarrollo de la agricultura. Lo anterior origino que la Asociación Para el Desarrollo de Nororiente (ADIN) mediante un convenio con el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) se creará la Escuela de Agricultura de Nororiente (EANOR), la cual inicia su funcionamiento el 4 de enero de 1999 bajo las normas académicas y disciplinarias de la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), y cuyo propósito es la formación de profesionales con alto grado de preparación académica consientes de las necesidades de su región y país.

Las actividades agrícolas que se desarrollan en la EANOR, no se hacen en forma continua y constante debido a que están condicionadas a la estación lluviosa, además el recurso agua es limitado, y por ende, las producciones durante el año son muy bajas; esta escasez de cultivos dificulta la formación educativa de Peritos Agrónomos a nivel diversificado, porque el estudiante no complementa sus conocimientos teóricos con la práctica, por tal motivo se plantea el diseño de un sistema de riego por goteo, el cual permite incorporar a la producción agrícola una área de 7.20 Has, las cuales pueden ser utilizadas en forma intensiva por medio de este sistema, el cual se caracteriza por poseer beneficios potenciales en el uso del agua, en el manejo y en el rendimiento agronómico de los cultivos.

Para poder diseñar el sistema de riego por goteo se procedió a efectuar un levantamiento plani-altimétrico del área de diseño. Se consultaron los registros climatológicos de la estación La Fragua, a partir del año 1992 al 2002, los cuales sirvieron para determinar las demandas evapotranspirativas de los cultivos de diseño. Se realizó un estudio edafológico que contiene el análisis físico-químico de los suelos del área a diseñar, se determinaron las constantes de humedad y se hicieron pruebas de infiltración básica. Mediante el estudio hidrológico se determinó la

disponibilidad y calidad del agua, además se obtuvo el consumo de agua para los cultivos: Anuales: Tomate (*Lycopersicon esculentum*), Maíz (*Zea mays*), Pepino (*Cucumis sativus*), Sandía (*Citrullus lanatus*), Melón (*Cucumis melo*) y Frutales: Mango (*Manguiфера indica*), Mandarina (*Citrus reticulata*) y Limón (*Citrus lemon*), utilizando el método de Blaney Criddle modificado.

Realizados los estudios previos, se obtuvieron los resultados siguientes: un área bruta de 7.20 Has y un área neta de 5.21 Has con un porcentaje de pendiente menor del 2 %. Los suelos tienen una textura Franco Arcillo Arenosa, con una velocidad de infiltración de 0.60 cm/hr. El cultivo más exigente en agua para los cultivos anuales fue el Maíz con 5 mm/día y para los frutales de 4.85 mm/día, con una demanda total del agua para todos los cultivos de diseño de 9.18 Lps y el pozo de la EANOR utilizado como fuente principal tiene un caudal de 11.13 Lps el cual cubre la demanda total de los cultivos. En cuanto a calidad del agua para riego, ésta puede usarse en la mayoría de suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles de sodio intercambiable. La lamina de agua disponible es de 9.75 cm para el área de Maíz, 5.91 cm para el Limón, 9.30 cm para la Mandarina y 9.19 cm para Mango, y la lamina de agua a aplicar para el Maíz es de 12.08 mm y 5.86 mm para los tres frutales; el porcentaje de suelo humedecido (P o PAR) para el área de Maíz es de 70 %, 40.63 % para Limón, 39 % para Mandarina y 36.56 % para mango.

En cuanto a los aspectos hidráulicos deben de utilizarse mangueras con un diámetro de 16 mm con goteros de 1.5 lts/hr para el cultivo de Maíz y mangueras con un diámetro de 20 mm con goteros de 4 lts/hr para frutales, las tuberías sub-principales y principales deben ser de PVC 2", 2 ½ ", 3" y 4", y se necesita una bomba de combustión interna (Diesel) de 6 Hp para vencer una carga dinámica total de 29.44 mts. El costo del sistema es de Q. 178,895.5456. Para garantizar el funcionamiento del sistema se incluyen las normas de operación y mantenimiento del mismo. También se consideró el impacto negativo sobre los componentes ambientales y las medidas de mitigación para contrarrestar dicho efecto.

Con el sistema de riego implementado se contribuirá con el proceso de enseñanza-aprendizaje de la EANOR, ya que se estarán vinculando aproximadamente a 200 alumnos con los aspectos de manejo del mismo, además se creará una agricultura intensiva donde se fomentará la formación educativa de Peritos Agrónomos.

1. INTRODUCCION

Para que exista un buen rendimiento en los cultivos es de importancia considerar una serie de factores influyentes en la relación Agua-Suelo-Planta, dentro de éstos se mencionan los siguientes: variedades, fertilizaciones, control de plagas y enfermedades, clima, riego, drenaje, etc. De todos los mencionados, el agua es indispensable para el desarrollo de los cultivos y resulta fundamental aplicarla tanto en época lluviosa como en época seca para que se tenga éxito en la producción agrícola.

Guatemala posee una gran diversidad de suelos aptos para desarrollar actividades de carácter agrícola, pero estos en muchos casos no son utilizados de una forma constante e intensiva, debido a que se encuentran condicionados a la distribución y a la cantidad de las lluvias que solo permiten la actividad agrícola durante un período limitado. Sumado a esto se encuentra la disminución de la disponibilidad de agua causada por el uso irracional e inadecuado del recurso agua. En la actualidad se están tomando consideraciones para optimizar el uso del agua, creando sistemas de riego altamente eficientes, tal es el caso del Riego por Goteo, que aplica el agua gota a gota permitiendo que el suelo siempre se mantenga en condiciones de humedad óptima logrando así, un buen desarrollo del cultivo.

Considerando que la Escuela de Agricultura de Nor-oriente -EANOR- es un centro de educación media que se dedica a la formación educativa de Peritos Agrónomos a nivel de diversificado, utilizando para ellos técnicas innovadoras que aseguren el proceso educativo con eficiencia, aprovechando a la vez las ventajas del sistema de producción agropecuario de la región, es de vital importancia diseñar un sistema de riego por goteo para incorporar a la producción agrícola una área de 7.20 Ha que actualmente no es aprovechada en su totalidad, contribuyendo de esta forma con las actividades de docencia y fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, debido a que los alumnos desarrollaran sus conocimientos con la práctica, también se obtendrán ingresos financieros favoreciendo el desarrollo de las actividades administrativas y productivas de la EANOR.

De esta forma, en el presente trabajo, se desarrollan los estudios topográficos, climáticos, edafológicos e hidrológicos para el diseño de un sistema de riego por goteo utilizando como fuente abastecedora principal el agua de pozo de la EANOR, y como fuente alterna el agua del canal de riego de La Fragua proveniente del Río Grande. Se pretende que el diseño sirva de guía para posteriores proyectos de riego de esta naturaleza, así mismo, se incluye el costo total del sistema de riego, las normas de operación y mantenimiento, y los posibles efectos que ocasionará al medio ambiente.

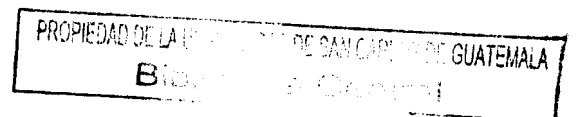
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Escuela de Agricultura de Nororiente -EANOR-, se encuentra dentro de la zona de vida denominada Monte Espinoso Subtropical (me-S), caracterizada por poseer temperaturas elevadas (un promedio anual de 28°C, alcanzándose una máxima de 38°C), precipitaciones pluviales bajas, evaporación media mensual elevada (6.94 mm), así mismo el recurso agua es limitado.

Actualmente las actividades agrícolas que se desarrollan en la EANOR, no se hacen en forma continua y constante debido a que éstas, están limitadas a la estación lluviosa, además el agua no se encuentra disponible tanto en cantidad como en frecuencia. Sumado a esto se cuenta con un sistema de riego por surcos (inundación parcial) deficiente en donde no se hace un uso adecuado del agua, y con este sistema se riegan únicamente 2.40 has, quedando 4.80 has que pueden ser utilizadas.

Por lo anterior en la EANOR, no se establecen diferentes cultivos, teniéndose únicamente Maíz (*Zea mays*), Tomate (*Lycopersicum esculentum*) y Limón (*Citrus lemon*) con rendimientos de 60 qq/Ha, 1,500 cajas/ha y 150 kg/ha, dichos rendimientos son considerados bajos; además, esta escasez de cultivos dificulta la formación educativa de Peritos Agrónomos a nivel diversificado, porque el estudiante no complementa sus conocimientos teóricos en forma práctica, y el ingreso económico obtenido por la venta de la producción agrícola es muy reducido.

En un área donde el agua se encuentra en cantidades reducidas (menor de 700 mm anuales) durante todo el año, resulta necesario aplicar agua de riego para complementar la demanda; por lo tanto, es importante buscar una alternativa que haga eficiente el uso del agua con que se cuenta dentro de la EANOR.



3. MARCO TEORICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 IMPORTANCIA DEL RIEGO

La actividad del regadío ha estado asociada a un objetivo fundamental: la sobrevivencia del ser humano, que ha sido en parte, responsable del auge y caída de florecientes civilizaciones (21).

El riego agrícola se ha desarrollado más intensamente en las regiones áridas del mundo, en las cuales la precipitación pluvial es tan escasa que ningún cultivo puede producirse si no se tiene riego. Cuando el riego ha sido implementado en estas regiones, la agricultura que se desarrolla es altamente productiva ya que el agua puede aplicarse al cultivo en el momento y cantidad que éste lo requiere y no como sucede en caso de otros. La agricultura bajo riego también permite hacer un mejor uso de otras técnicas como la fertilización, mayores densidades de plantas, uso de variedades más productivas, menos uso de fungicidas y además la inversión hecha en un cultivo es más asegurada que con la agricultura supeditada a la lluvia (19).

—Pero el riego no solamente es necesario en regiones áridas. También se justifica en zonas tropicales que acusan una prolongada época seca que varía de uno a varios meses. En estas condiciones se aplica el riego suplementario, que permite obtener dos o más cosechas al año con rendimientos mucho más altos y, a su vez, se garantiza la producción durante la época de las lluvias, actuando como un “seguro de cosecha”, pues el comportamiento de las mismas puede ser muy irregular en cuanto a distribución y cantidad (21).

3.1.2 CONCEPTO DE RIEGO AGRÍCOLA

El riego, es como un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos de forma que ésta pudiera ser utilizada al máximo (12).

Se puede definir el riego agrícola como: la aplicación artificial de agua al perfil del suelo con el propósito de suplir la cantidad necesaria para que los cultivos produzcan en forma permanente y económica (19).

El agricultor de riego debe formularse cuatro preguntas fundamentales; las respuestas permiten el uso eficiente y racional del agua. Esas preguntas son (9):

- A. Por qué regar, o sea cuál es el beneficio que se espera obtener incorporando el riego a un suelo de seco.
- B. Cuándo regar, o sea con qué frecuencia se debe repetir riegos consecutivos y cuál es el criterio para determinar esa frecuencia.
- C. Cuánto regar, o sea durante cuánto tiempo o con cuánta agua debe regarse una superficie agrícola.
- D. Cómo regar, o sea de qué forma aplicar el agua al suelo, lo que constituye el método de riego.

El aumento de la eficiencia en el uso del agua de riego debe basarse en la aplicación de principios racionales y modernos al suelo que se está regando. El riego agrícola puede definirse como una técnica o práctica de producción; el riego es la aplicación oportuna y uniforme a un perfil del suelo para reponer en éste el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos (9).

Los principales problemas que pueden surgir de un riego deficiente son (9):

- A. Pérdidas de agua, o sea una baja eficiencia en el aprovechamiento del recurso. Pueden deberse a dos procesos fundamentales: pérdidas por escurrimiento superficial al final del área que se riega, cuya causa principal es el uso de grandes caudales de agua; o por el proceso de percolación profunda bajo las raíces de las plantas, y esto se debe al uso de unidades de riego de superficies muy grandes.
- B. Lavado de nutrientes bajo la zona donde se desarrollan raíces, derivado principalmente de problemas de percolación profunda, asociada a esto se puede producir una concentración de sales en donde se desarrollan las raíces.
- C. Bajo rendimientos de los cultivos, por falta o de exceso de agua en diferentes lugares de la misma unidad de riego.

3.1.3 CONDICIONES PARA ESTABLECER UN PROYECTO DE RIEGO

Es recomendable la presencia de algunas condiciones antes de abocarse a efectuar fuertes y costosas inversiones en sistemas de riego, principalmente cuando se trata de países poco desarrollados. A continuación se citan algunas de estas condiciones (21):

- A. Cuando la irregularidad (distribución y cantidad) de las lluvias no permite satisfacer la demanda de alimentos y mano de obra.

- B. Cuando la rentabilidad de las fincas de secano (producción agrícola con base en la lluvia), no es suficiente para lograr un desarrollo armónico de la sociedad.
- C. Cuando la distribución de las lluvias (época lluviosa) solo permite la actividad agrícola durante un período limitado.

Dichas condiciones deber ser completadas con la incorporación de personal técnico capacitado y el establecimiento de facilidades para que el agricultor pueda producir sin limitaciones de mercado, mano de obra, financiamiento, asistencia técnica, etc (21).

3.1.4 ESTUDIOS EN EL DESARROLLO DE UN PROYECTO DE RIEGO

El desarrollo de un proyecto de riego está fundamentado en una serie de estudios, los cuales requieren de diferentes grados de información básica (21).

Los estudios previos son los siguientes:

3.1.4.1 Estudio topográfico

Zimmerman (22) menciona que un requisito primordial y simple para todas las investigaciones preliminares, así como para la planeación son las fotografías aéreas. Estas fotografías constituyen la forma más económica y rápida para obtener topografías excelentes y son especialmente valiosas para terrenos escabrosos.

Los levantamientos planialtimétricos, suministran la información para (16):

- A. Proyectar la red de riego y de drenaje en el área.
- B. Subdividir la propiedad en diferentes parcelas o cuarteles.
- C. Seleccionar y proyectar los métodos de riego.
- D. Acondicionar las tierras para riego.

El aspecto planimétrico del estudio topográfico debe fijar claramente los límites de la propiedad y las parcelas existentes. Así mismo, el aspecto altimétrico debe garantizar una correcta representación del relieve del campo, que permita la subdivisión del mismo y planear el desarrollo físico de las tierras (16).

3.1.4.2 Estudio edafológico

El suelo constituye la base donde se va establecer el proyecto de riego y el reservorio donde

las plantas van a obtener el agua y los nutrientes necesarios para su desarrollo, por lo que un conocimiento detallado de las características físicas y químicas dentro del perfil del suelo, así como las externas, es de gran importancia para definir el plan preliminar de cultivos, la cantidad de agua por aplicar y su frecuencia (21).

En este estudio se deben establecer las áreas de cultivos posibles de acuerdo con las condiciones del suelo, los coeficientes hídricos (capacidad de campo y punto de marchites permanente) la velocidad de infiltración y los métodos de aplicación del agua, entre otros (21).

Andrade (1) menciona que en base a la interacción del suelo con otros caracteres físicos como la disponibilidad de agua, la calidad de la misma y sus caracteres topográficos, se deben evaluar estas características del suelo para conocer su importancia local.

A. Características y propiedades físicas del suelo

A.1 Proceso de infiltración

La velocidad de infiltración es la entrada vertical del agua a través de los poros del suelo por unidad de tiempo (19).

La capacidad de infiltración (conocida también como infiltrabilidad del suelo) es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica (9).

La velocidad con que el agua penetra en el suelo depende de varios factores, entre los que se destacan principalmente la estructura y textura del suelo, el contenido de humedad del suelo, la compactación, la estratificación, la lámina empleada para la prueba o riego, la temperatura del agua y suelo, y el estado físico-químico del suelo. Así mismo, el agua se acumula en los poros del suelo y así pasa a ser utilizada por las plantas, es afectada por la evaporación o es desplazada a otros lugares por efecto del drenaje o percolación (19, 21).

A.2 Factores que afectan el proceso de infiltración

Los factores que afectan la velocidad de infiltración son aquellos que afectan las propiedades físicas del suelo (9):

Sellamiento superficial, compactación del suelo, partículas o grietas del suelo, reparación del suelo

Materia orgánica y rotación de cultivos, sales del suelo y del agua, sedimentos en el agua de riego y perfil del suelo.

A.3 Medición de la Infiltración

Para medir la velocidad de infiltración se utilizan varios métodos; se trata siempre de usar alguno aproximado al método de riego que se ha de emplear en la zona o cultivo que se esté trabajando (9).

Según Gurovich (9) existe un sinnúmero de métodos que se utilizan para medir la infiltración en el campo; la decisión del método a usar, depende de las condiciones físicas del suelo y de la disponibilidad de equipo, materiales y servicios adecuados; por tal causa no existe un procedimiento estándar, aplicable en todos los casos. Sandoval (20) menciona que el método del Infiltrómetro de Doble Cilindro, es considerado como el más versátil y el más adecuado para diseñar, operar y evaluar sistemas de riego de inundación total y aspersion.

3.1.4.3 Estudio Climatológico

El clima es fundamental para establecer las posibilidades de producción agrícola en un lugar específico, por lo que se debe disponer de la información básica necesaria en cuanto a los elementos meteorológicos prevalecientes de la zona, con datos de varios años. Esto va a permitir la aplicación de una serie de fórmulas empíricas para determinar las necesidades de agua de los cultivos a establecer en el proyecto (21).

3.1.4.4 Relación Agua-Suelo-Planta

Del estudio edafotécnico puede derivarse una serie de datos que permiten calificar su capacidad como reservorio de agua, la energía con que el agua está retenida a diferentes niveles, la velocidad de penetración de agua desde la superficie y de transmisión a través del mismo (16).

Gardner (5) menciona que una de las principales vías que llevan 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 y otros organismos vivos.

Gardner (5) establece que 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. La cubierta vegetal del suelo juega un papel de igual importancia.

Gardner (5) menciona que muy pocas plantas pueden soportar una falta de agua durante un largo período, en el que se encuentran en un estado de reposo vegetativo, para la vuelta a su vida activa, sólo se puede realizar en presencia de agua.

Grassi (7) establece que el vegetal es, en la naturaleza, un organismo poco favorecido, en el sentido de que es tributario del lugar sobre el cual está fijado, no puede, como los animales, desplazarse donde necesita para buscar el agua y el alimento; como máximo puede dirigir su sistema radicular a la búsqueda del agua contenida en los horizontes del suelo más húmedo y más rico en minerales.

Grassi (7) manifiesta que 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.

3.1.4.5 Consumo de agua por los cultivos

El consumo de agua de los cultivos, llamado uso-consumo (U.C.), se define como la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural y que se utiliza en la formación de tejidos, se pierde por las hojas y se reintegra a la atmósfera debido a la intercepción de la lluvia o del sistema conductor del agua de riego; se utiliza también para este fenómeno la denominación "Evapotranspiración Actual" (9).

Los principales métodos directos para la determinación del uso-consumo son (9):

- A. Tanques y lisímetros.
- B. Estudios de humedad del suelo.
- C. Método de integración.
- D. Método del balance de agua.

- E. Método de equilibrio de energía.
- F. Método aerodinámico o de flujo de vapor.

La evaporación de una unidad de plantas y suelo, comprende la evaporación de la superficie de suelo y la transpiración de la planta, la transferencia de vapor estará controlada por el clima. Este índice de humedad se denomina Índice de Evaporación Potencial y es una función de la energía disponible para vaporizar el agua, junto con el índice de dispersión del vapor de las superficies de las hojas. Los valores típicos de evaporación potencial son de 1 a 3 mm de agua al día para los climas templados, y de 5 a 8 mm/día en trópicos húmedos y de 10 a 12 mm/día en regiones muy áridas (9).

La evapotranspiración, se refiere a la cantidad de agua que necesitan las plantas para poder cumplir sus necesidades de transpiración, así como las de evaporación del medio en que se desarrollan. La evapotranspiración es afectada por varios elementos, siendo estos los siguientes: climáticos, tipo de cultivo, características físicas del suelo y contenido de humedad del suelo (21).

3.1.4.6 Calidad del agua para riego

La calidad del agua para riego se determina por la composición y concentración de los constituyentes que pueda contener en solución o suspensión, adquiridos durante su transporte desde los puntos de precipitación e infiltración hasta donde es utilizada. Esa calidad es determinante en el comportamiento de los suelos y los cultivos en los aspectos relacionados con la salinización, la dispersión o destrucción de la estructura, la acumulación de sedimentos y la diseminación de plagas y enfermedades fungosas (9).

Peña, I De la (14) establece que las características que determinan la calidad del agua de riego son:

- A. La concentración total de sólidos en suspensión (sedimentos de origen erosivo).
- B. La concentración total de sales solubles.
- C. La concentración relativa de sodio con relación a otros cationes.
- D. La concentración de boro u otros elementos tóxicos.
- E. La dureza del agua, o sea la concentración de bicarbonatos con relación a los cationes divalentes.
- F. La presencia de semillas de malezas, esporas de hongos patógenos y huevos o larvas de

insectos.

A. Clasificación del agua de riego de acuerdo a su calidad

Al clasificar las aguas para riego se supone que van a usarse bajo condiciones medias con respecto a la textura del suelo, la velocidad de infiltración, el drenaje, la cantidad de agua usada, el clima y la tolerancia del cultivo a las sales. Desviaciones considerables del valor medio de cualesquiera de estas variables pueden hacer inseguro el uso de agua que en condiciones medias sería de muy buena calidad o al contrario puede inducir a considerar el agua como buena cuando bajo condiciones medias sería de dudosa calidad. Esto debe tenerse en muy en cuenta cuando se trata de clasificar las aguas para riego (9):

B. Diagrama de clasificación

El diagrama para la clasificación de aguas para riego, está basado en la conductividad eléctrica en micromhos por centímetro y en la relación de adsorción de sodio. El significado de las clases por calidad se resume a continuación (9):

B.1 Conductividad

Agua de baja salinidad (C1).

Agua de salinidad media (C2).

Agua altamente salina (C3).

Agua muy altamente salina (C4).

B.2 Sodio

Agua baja en sodio (S1).

Agua media en sodio (S2).

Agua alta en sodio (S3).

Agua muy alta en sodio (S4).

3.1.5. RIEGO POR GOTEO

Puede afirmarse prácticamente que el riego por goteo, tal como lo conocemos en la actualidad, empezó en Inglaterra, después de la segunda guerra mundial, en invernaderos, semilleros y jardinería, utilizándose como emisores microtubos. Sin embargo, en la década de los

sesenta, tras el perfeccionamiento de las técnicas de extrusión e inyección de los plásticos, es en el Estado de Israel, cuando se inicia su expansión (12).

El riego por goteo tiene alguna característica similar al riego por aspersión, en lo referente a que ambos usan una red de tuberías para conducir el agua a los puntos de emisión en la parcela; sin embargo, el sistema de riego por goteo debe ser más preciso al abastecer agua al suelo, para cultivos individuales (15).

El riego por goteo, se define como aquel sistema que para conseguir mantener el agua en la zona radicular en las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. De esta forma el agua es conducida por medio de conductos cerrados desde el punto de toma hasta la misma planta, a la que se aplica por medio de dispositivos que se conocen como goteadores, goteros o emisores (15).

Este método de riego puede ser definido como la aplicación lenta de agua, en forma de gotas, pequeños caudales o microaspersores, a través de dispositivos localizados a lo largo de tuberías (15).

El riego por goteo es un sistema que proporciona agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el suelo al lado de la planta. Este sistema elimina la aspersión y el agua que fluye sobre la superficie del suelo; permite que el agua, liberada a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada (9).

Con este método se aplica la cantidad de agua que los cultivos requieren con bastante precisión y frecuentemente (a diario o cada 2 a 4 días), la humedad del suelo se mantiene todo el tiempo a capacidad de campo, esto favorece la aireación y la tensión a la cual el agua está retenida en el suelo es baja, siendo por lo tanto fácilmente disponible a la planta. Esta es una de las razones por la cual muchas veces los rendimientos obtenidos con riego por goteo sean mayores que con otros métodos (12).

3.1.5.1 Características del riego por goteo

El riego por goteo supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá, por tanto, a una mayor productividad. Comporta un cambio profundo dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que indicará también en las prácticas culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de producción agrícola. Sus características principales son

(12):

- A. El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical.
- B. No se moja todo el suelo, sino sólo parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del gotero y el tiempo de aplicación.
- C. Al existir zonas secas no exploradas por las raíces y zonas húmedas, puede considerarse en cierto modo un cultivo en fajas o surcos, pero con un sistema radical inferior al normal.
- D. El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión de agua en el mismo.
- E. Requiere de un abonado frecuente, pues como consecuencia del movimiento permanente del agua en el bulbo puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.

3.1.5.2 Ventajas y desventajas del sistema de riego por goteo

A pesar de todas las potenciales ventajas (comparados con otros sistemas ya conocidos y ampliamente experimentados) de utilizar el sistema de riego por goteo, como un medio para aumentar la producción y ahorrar agua, existen muchos problemas inherentes, aunque son muy pocos en comparación con las ventajas (15, 12).

A. Ventajas

- A.1 Ahorro importante de agua, mano de obra, y productos fitosanitarios.
- A.2 Posibilidad de regar cualquier tipo de terrenos, por accidentados o pobres que estos sean.
- A.3 Utilización de aguas de peor calidad.
- A.4 Aumento de producción, adelantamiento de cosechas y mejor calidad de los frutos como consecuencia de tener la planta satisfecha de sus necesidades en agua y nutrientes en cada instante.
- A.5 Permite realizar, simultáneamente al riego, otras labores culturales, pues, al haber zonas secas, no presenta obstáculo para desplazarse en el terreno.
- A.6 No altera la estructura del terreno.
- A.7 La propagación de malas hierbas puede reducirse, debido a que solo se humedece una fracción de la superficie del suelo.

- A.8 Los costos de bombeo son reducidos debido a que las presiones de operación son considerablemente menores comparados con otros tipos de sistemas presurizados.
- A.9 No se ve afectado por fenómenos meteorológicos.
- A.10 La eficiencia de aplicación es muy alta hasta un 90 % (12, 15, 21).

B. Desventajas:

- B.1 Es un sistema muy caro de instalar, por lo que existe una limitación de tipo económico en su aplicación a los cultivos.
- B.2 En zonas frías y con cultivos sensibles a las heladas, el riego por goteo no protege contra las mismas, por lo que su uso debe descartarse.
- B.3 Si se proyecta o se instala mal, puede ocasionar la pérdida de la cosecha por la falta de agua o nutrientes.
- B.4 En zonas áridas en que no existe posibilidad de lavado, el uso sistemático y durante varios años de aguas de mala calidad puede arruinar los terrenos de cultivo si no se riega de forma adecuada.
- B.5 Obstrucción de los goteros por las partículas que arrastra el agua, y que, en ocasiones, puede acarrear daños a la instalación y al cultivo.
- B.6 Tuberías y accesorios deben ser altamente resistentes a la corrosión y al intemperismo (efectos del medio ambiente).
- B.7 Requiere personal capacitado.
- B.8 Requiere buen mantenimiento y control (12, 21).

3.1.5.3 Componentes del sistema

Una instalación de riego por goteo consta, en esencia, de los siguientes elementos (12):

- A. Sistema de filtrado.
- B. Equipo de fertilización.
- C. Tuberías que conducen el agua desde el cabezal hasta las proximidades de la planta.
- D. Goteros.
- E. Accesorios.
- F. Dispositivos de regulación.

G. Dispositivos de control.

Los dos primeros elementos, junto con los accesorios y válvulas correspondientes, constituyen lo que se conoce como Cabezal, y que es, junto con el gotero, la parte más importante del sistema, ya que de su calidad dependerá en gran parte el que se riegue bien o mal (12).

A. Sistema de filtrado

El sistema de filtrado está constituido por el conjunto de tratamientos y operaciones que se hacen para limpiar el agua de partículas extrañas. Comprende, por tanto, mallas, depósitos de sedimentación, filtros porosos, depósitos de arena y grava, separadores centrífugos, desarenadores, pantallas de varios tamaños de orificio y diversos tipos de tratamientos químicos (12).

B. Equipo de fertilización

La mezcla de los nutrientes con el agua de riego se realiza de dos formas distintas: presión diferencial e inyección en la red. En este equipo es donde se mezcla el fertilizante que se encuentra en una solución concentrada, con el agua en las dosis ya establecidas (12, 18).

C. Tuberías

Son las que se encargan de llevar el agua hasta cada unidad de riego. Entre las tuberías están (15):

- C.1 Principales y Secundarias: están constituidas por conductos que transportan el agua desde la fuente hasta las unidades o sub-unidades; se ha generalizado el uso de materiales plásticos, que preferiblemente deben ir enterrados para evitar daños, fracturas o descomposición por los rayos solares.
- C.2 Terciarias: éstas son las que llevan el agua a las tuberías laterales. El material utilizado es de cloruro de polivinilo (PVC) o polietileno de alta, PEHD o media densidad, PE; la primera tendrá que ir enterrada, mientras que la de polietileno tiene la alternativa de poder colocarse sobre la superficie.
- C.3 Laterales: son líneas que están conectadas al emisor, generalmente son de PVC, PEMD o PEHD en diámetro entre 12 y 20 mm.

D. Goteros

Los goteros o emisores van insertados en la tubería lateral, su objeto es disminuir la velocidad del agua para darle a la planta en forma de gotas, teniendo así un caudal muy pequeño que se expresa en litros-hora generalmente. El material con que se fabrican generalmente es PVC, aunque hay de polietileno, ABS y otros menos usados (18):

Un emisor eficiente es aquel que cumple con las siguientes características (15):

- D.1 Descarga baja, uniforme y constante (1.2 – 3.8 l/h), para una carga de 10 a 20 m.
- D.2 Debe tener una sección hidráulica adecuada para evitar obstrucciones por lo que la fabricación debe ser precisa.
- D.3 Debe ser económico y compacto.
- D.4 Resistente a la contaminación química y ambiental.
- D.5 Reducida pérdida de carga en el sistema de conexión.

E. Accesorios

Es el conjunto de piezas de PVC, hierro galvanizado, polietileno y otros materiales que se utilizan en una instalación de riego por goteo para unir tuberías, de igual o distinto diámetro, hacer derivaciones, conectar válvulas, salvar obstáculos del terreno. Podemos citar como más importantes las tes, codos, cruces, anillas, niples, empates universales, tuercas, etc (12).

D. Dispositivos de control

Son los manómetros, para controlar y garantizar la presión en cada unidad de riego y en la motobomba y para detectar averías, se instalan antes y después del tanque fertilizador, después de los filtros y en las conexiones de la tubería secundaria a la principal. Los medidores de caudal o de flujo para mantener el caudal constante, los cuales se instalan a la entrada de las unidades de riego y las válvulas, que pueden ser de compuerta o de globo (21).

Los reguladores de presión, utilizados para regular la presión del agua en el sistema, y permiten que todos los emisores trabajen dentro del mismo rango de presiones, lo que conduce a una mayor uniformidad de riego; se instalan en la unión de la línea principal con la secundaria (21).

E. Elementos de seguridad

- E.1 Purgadores y ventosas:** permiten la salida del aire en aquellos puntos especiales de la instalación en que puede acumularse, como codos, partes elevadas de tuberías, filtros tanques de fertilización, etc., y en el caso de ventosas, también la entrada de aire o el llenado y vaciado de tuberías o depósitos (12).
- E.2 Válvulas de seguridad:** permiten la salida del líquido de la instalación cuando se producen fuertes presiones, con lo que se evita la posible rotura de piezas (12).
- E.3 Válvulas de retención:** se colocan intercaladas en la tubería y tienen una doble misión: romper la columna de agua y reducir, por tanto, el golpe de ariete que se produce al abrir o cerrar una instalación, y evitar el retroceso del agua, que puede ser causa de contaminación de la fuente de suministro de agua (12).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 DESCRIPCION BIOFISICA DEL AREA

3.2.1.1. Ubicación

La Escuela de Agricultura de Nororiente -EANOR- se encuentra ubicada políticamente en la jurisdicción del municipio de Zacapa, departamento de Zacapa (Figura 2A), a una distancia de 154 Km de la ciudad capital de Guatemala y a 4.5 Km del Barrio La Fragua, del mismo municipio, el lugar en general es conocido como "Finca el Oasis" (11).

Se encuentra localizada geográficamente en 14°57'43" de Latitud Norte, y 89°35'15" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich (11).

La escuela cuenta con dos propiedades, en la primera se encuentra instalada la parte del Casco Central de la escuela, teniendo una extensión de 16 Ha., limita al Norte con la carretera de terracería que conduce desde Zacapa hacia el municipio de Cabañas, en la parte Sur limita con una vereda o pequeño camino de terracería que conduce a la finca melonera PROTISA, finalmente al Oeste limita con la finca del Señor Benjamín Paiz (17).

La segunda finca la constituye la parte destinada a la producción pecuaria, tiene una extensión de 22.7 Ha., los límites de esta finca son: al Norte limita con la línea férrea que va de

Puerto Barrios a Guatemala; al Sur limita con la carretera de terracería que conduce hacia el municipio de Estanzuela y finalmente al Oeste con la finca el señor Mario Pineda (17).

3.2.1.2 Clima

Según la estación meteorológica de La Fragua (13) la escuela se encuentra a una altitud de 212 msnm, la temperatura oscila entre los 22 - 37 °C, teniéndose un promedio anual de 28 °C, la evaporación media diaria es de 6.94 mm, la velocidad del viento alcanza de 5 - 7 km/hr, la precipitación pluvial es de 700 mm anuales distribuidos en los meses de mayo a octubre, de noviembre a abril muchas veces la precipitación efectiva se puede considerar nula.

La humedad relativa media es de un 58 %, teniéndose además un promedio anual de 6.8 horas de luz diarias, la presión atmosférica media es de 744.5 mm de mercurio (13).

3.2.1.3 Zona de vida

Holdridge (10) clasifica la zona de vida como Monte Espinoso Subtropical, en la cual la vegetación está constituida mayormente por arbustos y plantas espinosas, tales como: *Cactus spp.*, *Acacia farnesiana*, *Guayacum spp.*, *Pereskia spp.*, *Cordia alba*, entre las principales.

3.2.1.4 Suelos

Los suelos de esta área son relativamente jóvenes y las diferencias existentes se basan principalmente en el material de origen y en el drenaje (20).

Dentro de la escuela se pueden ubicar tres tipos de suelos, los de la serie Chicaj, Chirrum y Chiquimula, todos ellos con subsuelos muy impermeables. Tienen un horizonte "A" muy arcilloso y un horizonte "B" con alto contenido de arcilla coloidal del grupo de las montmorillonitas, particularmente estos suelos son muy impermeables al agua y tienen baja aireación (6).

3.2.1.5 Topografía

La topografía del terreno es plana en su totalidad, con pendientes que van desde 0 - 4 %. Las mayores pendientes se ubican en los lugares donde corren corrientes efímeras de agua (11).

3.2.1.6 Flora y fauna existente

Debido a la zona de vida en que se encuentra ubicada la escuela, la cantidad de especies tanto vegetales como animales, no son muchas, la mayoría son especies arbustivas como lo son el Subín (*Acacia farnesiana*), Cactus (*Pachycereus lepidanthus*), Nopal (*Nopalea guatemalensis*), Palo de Jiote (*Bursera simaruba*), El Guayacán (*Guayacum sactum*), Conacaste (*Enterolobium ciclocarpum*), etc. Existen además muchas especies vegetales que por sus características son consideradas malezas dentro de los cultivos de la zona (4).

En cuanto a la fauna las especies más comunes son los reptiles y algunos mamíferos inferiores, se encuentran también algunos géneros de aves (4).

3.2.2 CREACION DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA DE NORORIENTE -EANOR-

Según la planeación Estratégica de la Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA- (1997) el nuevo orden económico mundial tiende a la globalización de los mercados, exigiendo mayores niveles de competitividad en el campo agrícola, así como una mayor calidad de los productos y manejo sostenible del medio ambiente, lo cual ha provocado un proceso de transformaciones económicas, sociales y políticas del país. En Guatemala la agricultura constituye uno de los sectores más importantes de la economía, lo que implica otorgar una mayor prioridad a la educación y capacitación del recurso humano para acelerar la modernización de la agricultura. Por ello, el estado a través del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) ha incrementado el apoyo a este campo, con el propósito de producir más en la misma área de la superficie, es decir incrementar la productividad agrícola del país (2).

Lo anterior dio origen a que la Asociación Para el Desarrollo Integral de Nororiente (ADIN) a través de un estudio socioeconómico realizado en la ciudad de Zacapa, determinara que este departamento por su desarrollo y características del sistema de producción agrícola requiere de la formación de profesionales a nivel medio en este campo (agrícola), creándose así la Escuela de Agricultura de Nororiente -EANOR-, que es un Centro de educación media con la carrera de Perito Agrónomo, cuyo propósito es la formación de profesionales con alto grado de preparación académica conscientes de las necesidades de su región (8).

La creación, se da mediante un convenio entre el Ministerio de Agricultura Ganadería y

Alimentación (MAGA) y la Asociación Para el Desarrollo Integral de Nororiente (ADIN), el cual establece el apoyo (Físico y Financiero) para la EANOR de parte del MAGA con una vigencia de 10 años prorrogables. La EANOR inicia su funcionamiento el 04 de enero de 1999, contando con la infraestructura apropiada para desarrollar sus actividades, recurso humano necesario, maquinaria agrícola y recurso financiero otorgado por el gobierno de la República (a través del MAGA) para su funcionamiento (8).

3.2.2.1 Visión de la EANOR

La Escuela de Agricultura de Nororiente -EANOR-, será una institución auto-sostenible financieramente en cuanto al desarrollo de sus actividades docentes, administrativas y productivas, tomando en cuenta la calidad de profesionales egresados de la misma (8).

3.2.2.2 Misión de la EANOR

Es una institución que se dedica a la formación educativa de Peritos Agrónomos a nivel diversificado, utilizando para ello técnicas innovadoras que aseguren el proceso educativo con eficiencia, aprovechando a la vez ventajas del sistema de producción agropecuario de la región (8).

3.2.2.3 Estrategia de la EANOR

Promover la carrera a nivel nacional, en institutos y colegios públicos y privados para captar estudiantes de nivel básico con un rendimiento académico excelente y con deseos de tener una formación académica a nivel diversificado de Perito Agrónomo (8).

4. OBJETIVOS

4.1 General:

Crear una alternativa de producción agrícola continua en la Escuela de Agricultura de Nororiente -EANOR-, mediante el estudio y diseño de un sistema de Riego por Goteo, contribuyendo de esta manera con la formación educativa de Peritos Agrónomos y la capacitación de agricultores que desarrollen actividades vinculadas con el sector agropecuario.

4.2 Específicos:

Desarrollar los estudios topográficos, climáticos, edafológicos, hidrológicos e hidráulicos, y diseñar el sistema de riego por goteo, utilizando el agua del pozo de la EANOR como fuente principal.

Determinar los requerimientos de equipo y materiales necesarios, así como los costos totales en que incurre la implementación del sistema de riego.

Formular las normas de operación y mantenimiento del sistema de riego, que garantice el buen funcionamiento del sistema.

Contribuir con el proceso de enseñanza-aprendizaje, involucrando a los estudiantes de la EANOR con los aspectos de manejo del sistema de riego.

Estimar los efectos negativos que causará al medio ambiente la implementación del sistema de riego.

Servir como fuente de gestiones para la obtención del financiamiento ya sea con instituciones gubernamentales o no gubernamentales para la implementación del sistema de riego.

5. METODOLOGIA

5.1 DISEÑO AGRONOMICO

El diseño agronómico consistió principalmente en determinar la lámina, la frecuencia y el tiempo de riego, además el número de emisores por planta y el caudal de cada emisor.

Para este diseño se realizaron estudios preliminares que se detallan a continuación:

5.1.1 ESTUDIO TOPOGRAFICO

Para este estudio como paso inicial, se hizo un caminamiento por el área logrando así obtener una idea real de la misma. Luego se procedió a efectuar un levantamiento planialtimétrico, obteniendo las áreas y el relieve correspondiente del terreno, con estos datos se elaboraron los planos donde se detallan las áreas de diseño.

5.1.2 ESTUDIO CLIMATOLOGICO

Se consultaron los registros climatológicos de la Estación Meteorológica del Valle de la Fragua, estación tipo "A", Clave 78649. Los registros consultados son a partir del año 1992 al 2002, siendo los siguientes: temperaturas, evaporación, velocidad del viento, precipitación pluvial, horas luz, humedad relativa.

5.1.3 ESTUDIO EDAFOLOGICO

5.1.3.1 Muestreo de suelos

Mediante el reconocimiento del área se eligieron los puntos de muestreo, tomando un promedio de 10 submuestras por área de diseño por estrato. En cada punto de muestreo se tomaron muestras de suelos en dos estratos, el primero de 0 - 30 cms y el segundo de 30 - 60 cms, las cuales se enviaron al Laboratorio de Suelos Ing. Salvador Castillo, de la Facultad de Agronomía (USAC), para el análisis físico-químico.

5.1.3.2 Análisis físico-químico de suelos

Para el análisis físico se determinaron el porcentaje de arena, limo y arcilla por estrato

considerado, obteniéndose así la clase textural del suelo.

Para el análisis químico se determinó el pH, Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn).

5.1.3.3 Constantes de humedad

En los puntos de muestreo elegidos se tomaron muestras de las dos profundidades establecidas para determinar las constantes de humedad: Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchites Permanente (PMP), y conocer así, los porcentajes de humedad retenidos a 1/3 y 15 Atmósferas de presión, además se determinó la Densidad Aparente (Da) del suelo.

5.1.3.4 Determinación de la Infiltración

Utilizando el método del infiltrómetro de doble cilindro se determinó la Velocidad de Infiltración. Los datos que se utilizaron en el desarrollo de la Ecuación Empírica de Kostiakov-Lewis, cuya fórmula es la siguiente:

$$I = K \cdot t^n$$

Donde:

- I : Infiltración básica (cm/hr)
- K : ordenada en el origen
- t : tiempo en minutos
- n : pendiente de la función

5.1.3.5 Cultivos a regar

El sistema se diseñó para las tres especies de frutales existentes y en el caso de los cultivos anuales para el más exigente en agua, aunque este no fuese el cultivo más rentable.

5.1.4 ESTUDIO HIDROLOGICO

5.1.4.1 Disponibilidad de agua

Para abastecer el área a regar se utilizará como fuente principal de agua la del pozo situado en el Casco Central de la EANOR y en el cual se encuentra instalada una bomba eléctrica

sumergida. Además como fuente alterna de agua se utilizará la proveniente del canal de riego de la fragua. El caudal de la fuente se determinó por el método volumétrico.

5.1.4.2 Calidad de agua

Por cada fuente utilizada para abastecer el área a regar, se tomo una muestra de agua para su análisis en el Laboratorio de Soluciones Analíticas, con determinados resultados se estableció la calidad de agua para riego de ambas fuentes. Dentro de los datos considerados están: pH, RAS, Dureza, Alcalinidad total, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc, Sodio, Carbonatos, Bicarbonatos.

5.1.4.3 Determinación del consumo de agua o demandas evapotranspirativas

La cantidad de agua que necesitan las plantas para poder cumplir con las necesidades de transpiración, así como las de evaporación en el medio en que se desarrollan, se determinaron para los siguientes cultivos: Anuales: Tomate (*Lycopersicon esculentum*), Maíz (*Zea mays*), Pepino (*Cucumis sativus*), Sandía (*Citrullus lanatus*), Melón (*Cucumis melo*) y Frutales: Mango (*Mangifera indica*), Mandarina (*Citrus reticulata*) y Limón (*Citrus lemon*).

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó el método de Blaney-Criddle modificado y es el siguiente (3):

$$\bar{E}t_c = K \times F$$

Donde:

Etc : Evapotrasnpiración real total del cultivo representada en lámina de agua en mm ó cm.

K : coeficiente que depende del cultivo (ciclo vegetativo).

F : suma de factores mensuales de uso consuntivo en mm ó cm.

La suma de factores mensuales de uso consuntivo se expresa en:

$$F : f$$

$$f : p(0.46 t + 8.13)$$

Donde:

f : factor de Blaney-Criddle, expresado en mm de agua diarios tienen el mismo

valor para todos los días del mes considerado

t : temperatura media mensual expresada en °C.

$$T_{media} : \frac{[T^{\circ}\text{C máxima} + T^{\circ}\text{C mínima}]}{2}$$

p : tanto por uno de horas diurnas del mes respecto de las totales (tabla 1A).

El valor de f determinado, en la figura viene dado en el eje de las X y el de la ETo en la de las Y. Además en esta figura se presentan unas relaciones correspondientes a tres niveles de humedad mínima diurna (RHmín) y tres niveles de la relación entre las horas reales y las máximas posibles de insolación (n/N), además, se indican las relaciones correspondientes a tres tipos de vientos diurnos (U) a una altura de 2 mts. Después de que se determinó la ETo a partir de la Figura 3A, se obtuvo la ETc utilizando el Kc de cada cultivo.

5.1.4.4 Porcentaje de suelo humedecido

En riego por goteo, el agua es aplicada en pequeños caudales en un punto del terreno, de manera que no se moja toda la superficie del suelo, generando así un patrón de mojado. Este patrón depende fundamentalmente de: caudal del gotero, el número de goteros y su separación (3).

Para determinar el patrón de mojado en los cultivos frutales se utilizó la ecuación siguiente (9):

$$P = \frac{(100.n.Sep.Sw)}{(st. sr)}$$

Donde:

P : porcentaje de suelo humedecido en (%).

n : número de puntos de emisión por planta.

Sep : espaciamiento entre puntos de emisión (m)

Sw : ancho de humedecimiento (m). (Tabla 3A de Karmelí y Keller)

st : distancia entre plantas (m)

sr : distancia entre hileras (m)

Para los cultivos anuales también se utilizó la tabla de Karmeli y Keller, eligiendo como primer paso la descarga del gotero en lt/hr, considerando una textura media ó franca (M), obteniendo al final en esta tabla el espaciamiento entre goteros sobre el lateral y el espaciamiento entre laterales y finalmente el valor de porcentaje de suelo humedecido.

5.1.4.5 Lámina de agua disponible

La lámina de agua disponible o aprovechable está determinada por los límites de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchites Permanente (PMP).

Esta lámina se determinó de la forma siguiente (9):

$$LHA = (CC - PMP) \times Dap \times Z$$

Donde:

LHA : lámina de humedad aprovechable o disponible (cm)

CC : porcentaje de humedad a capacidad de campo

PMP : porcentaje de humedad a punto de marchites permanente

Dap : densidad aparente de cada horizonte (gr/cc)

Z : profundidad de cada horizonte (m)

5.1.4.6 Lámina de riego

Para determinar la lámina de riego se utilizó la ecuación siguiente (9):

$$Idx = Y. (LHA). P/100$$

Donde:

Idx : lámina de riego a aplicar (mm)

Y : es la porción de la humedad aprovechable que se ha agotado y que se desea regar o Déficit Permitido de Manejo.

P : es el área humedecida como un porcentaje del área total.

5.1.4.7 Intervalo entre riegos

El espaciamiento entre los riegos se determinó con la ecuación siguiente (9):

$$li = \frac{Idx}{Uc}$$

Donde:

I_i : intervalo entre riegos (días)

I_{dx} : lámina de riego (mm)

U_c : uso consuntivo promedio diario (mm/día)

5.1.4.8 Lámina neta de agua

Esta lámina se calculó utilizando la ecuación siguiente (9):

$$I_{dn} = (I_i) \cdot (U_c \text{ máximo})$$

Donde:

I_{dn} : lámina neta de agua (mm)

I_i : intervalo entre riego (días)

$U_c \text{ máximo}$: uso consumo máximo diario (mm/día)

5.1.4.9 Lámina de agua a aplicar

Para determinar la lámina de agua a aplicar se utilizó la ecuación siguiente (9):

$$I_d = \frac{100 \cdot I_{dn}}{E_f \cdot E_U}$$

Donde:

I_d : lámina de agua en cada riego (mm)

I_{dn} : lámina neta de riego (mm)

E_f : eficiencia del sistema de riego

E_U : uniformidad de aplicación

5.1.4.10 Duración del riego

Para determinar el tiempo de riego se utilizó la ecuación siguiente (9):

$$I_t = \frac{K \cdot I_d \cdot S_e \cdot S_1}{Q_e}$$

Donde:

I_t : tiempo total de operación para cada unidad operacional durante cada ciclo de riego (hr)

K : constante igual a 1.0 en unidades métricas y 0.623 en unidades inglesas.

I_d : lamina de agua en cada riego para cada aplicación (mm)

S_e : distancia entre emisores sobre la línea (m)

S_1 : espaciamiento promedio entre líneas (m)

q_e : caudal del gotero (l/hr)

5.1.4.11 Unidades de operación

Para calcular el número de unidades de operación se desarrolló la ecuación siguiente (12):

$$N = \frac{I_i \cdot h}{I_t}$$

Donde:

N : unidades de operación

I_i : intervalo entre riegos (días)

h : número de horas de riego disponibles (12 hrs) por día

I_t : tiempo total de operación para cada unidad operacional durante cada ciclo de riego (hr)

5.1.4.12 Capacidad del sistema

La capacidad del sistema se determinó utilizando la ecuación siguiente (18):

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

Donde:

Q_s : capacidad del sistema (Lps)

K : constante igual a 2.78 para el sistema métrico

A : área total a irrigar (Ha)

N : unidades de operación

I_d : lámina de agua a aplicar (mm)

I_t : duración del riego (hr)

5.2 DISEÑO HIDRAULICO

El dimensionamiento de las tuberías, se hizo siguiendo el recorrido inverso del agua; es decir, empezando por los ramales de goteo más alejados, siguiendo con las tuberías terciarias, secundarias, principales y terminando en el cabezal.

5.2.1 LINEAS PORTAGOROS (LATERALES)

El diseño del lateral consistió fundamentalmente en determinar la longitud, diámetro, caudal y número de emisores o goteros que posee el mismo. Para determinar lo mencionado se desarrollaron los pasos siguientes:

5.2.1.1 Pérdidas de carga permisibles

Estas pérdidas de carga se determinaron con la finalidad de conocer las pérdidas permisibles en cada unidad de riego.

Estas pérdidas de carga se repartieron entre el manifold y el lateral, de la forma siguiente:

$$\Delta H_L : (0.80) \times H$$

$$\Delta H_m : (0.20) \times H$$

Donde:

ΔH_L : pérdida de carga permisible en el lateral (m)

ΔH_m : pérdida de carga en el manifold (m)

H : depende de la carga con que operan los sistemas de riego por goteo y la diferencia de carga máxima entre los goteros (m).

5.2.1.2 Longitud del lateral

La longitud del lateral se determinó de acuerdo al área a regar. La longitud que se obtuvo esta entre los límites permisibles de las pérdidas de carga.

5.2.1.3 Pérdidas de carga en el lateral

Para determinar esta carga en la tubería del lateral se utilizó la ecuación de Hazen-Williams y es la siguiente (18):

$$J = \frac{H_L \cdot 100}{L_L}$$

Donde:

- J : pérdida de carga en m/100 m
- H_L : pérdida de carga permisible en el lateral (m)
- L_L : longitud del lateral (m)

5.2.1.4 Número de goteros por lateral

Para determinar N_e se utilizó la ecuación siguiente (18):

$$N_e = \frac{L_L}{d_e}$$

Donde:

- N_e : número de goteros por lateral
- L_L : longitud del lateral (m)
- d_e : espaciamiento entre goteros (m)

5.2.1.5 Caudal en el lateral

El caudal en el lateral se determinó utilizando la ecuación siguiente (18):

$$Q_L = N_e \cdot q_a$$

Donde:

- Q_L : caudal del lateral (lps)
- N_e : número de goteros
- q_a : caudal del gotero (lps)

5.2.1.6 Diámetro del lateral

Para determinar el diámetro del lateral se utilizaron una serie de datos calculados en los pasos anteriores. Los datos utilizados son:

- A. Descarga en los goteros
- B. Número de goteros
- C. Distancia entre goteros sobre el lateral

- D. Longitud del lateral
- E. Pérdida de carga en el lateral
- F. Gradiente de la pérdida de carga
- G. Descarga en el lateral

Todas estas variables permiten determinar mediante un nomograma (Figura 4A) el diámetro del lateral (mm). Este nomograma está basado en la ecuación de Hazen-Williams. Se parte del eje superior. Se traza una horizontal desde el mismo número de goteros del lateral (n) que corte a la separación efectiva entre goteros. Desde este punto se traza una vertical que cortará a la curva correspondiente a la pérdida de carga tolerada (h). Por dicho cruce se traza una horizontal hacia la izquierda (12).

Desde el punto de partida n, se traza una horizontal hasta la curva que da el caudal del gotero utilizado, y desde ésta una vertical hasta que corte a la línea horizontal que se tiene en el cuadrante III, si este punto cae entre las curvas correspondientes a dos diámetros, se elige el mayor (12).

5.2.2 DISEÑO DEL MANIFOLD (Tubería de múltiple salida)

Para diseñar esta tubería se emplearon las mismas fórmulas utilizadas para las líneas portagoteros, asimilando cada portagoteros que conecta con el manifold a un gotero con un caudal igual al de la totalidad de los goteros a los que abastece ese ramal.

Para diseñar el manifold se desarrollaron los pasos siguientes:

5.2.2.1 Caudal del manifold

Para determinar el caudal del manifold se utilizó la ecuación siguiente (18):

$$Q_m = N_L \cdot Q_a$$

Donde:

Q_m : caudal del manifold (lps)

N_L : número de laterales a lo largo de manifold

Q_a : caudal en cada lateral (lps)

5.2.2.2 Longitud del manifold

La longitud del manifold se obtuvo desarrollando la ecuación siguiente (18):

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

Donde:

L_m : longitud del manifold (m)

N_L : número de laterales

d_L : espaciamiento entre laterales (m)

5.2.2.3 Pérdidas de carga en el manifold

Para determinar las pérdidas de carga se utilizó la ecuación siguiente (18):

$$J = \frac{H_m \cdot 100}{L_m \cdot F}$$

Donde:

J : pérdida de carga sobre 100 unidades de longitud (m/100 m)

H_m : pérdida de carga en el manifold (m)

L_m : longitud del manifold (m)

F : coeficiente compensador de las pérdidas por salidas a lo largo del manifold (valores de F están tabulados en Cuadro 17A)

5.2.2.4 Diámetro del manifold

Este se determinó utilizando el caudal (Lps) que conducirá y las pérdidas de carga en el manifold (J en m/100 m); interpolándolos en la Figura 5A, obteniéndose de esta forma el diámetro de la tubería en mención.

5.2.2.5 Coeficiente de Uniformidad

Para determinar el UEs se utilizó la ecuación siguiente (18):

$$U_{Es} = 100 \cdot [1 - (1.27/\sqrt{e}) \cdot v] \cdot [q_n/q_a]_s$$

Donde:

U_{Es} : coeficiente de uniformidad en la sub-unidad (%)

e : número de salidas por emisor o goteo.

v : coeficiente de variación de descarga proporcionada por el fabricante.

Además:

$$[q_n/q_a]_s = \frac{1.00 - [X \cdot R_{fn} \cdot \Delta H_m + 0.22 (\Delta H_l)]}{H_a}$$

Donde:

X : exponente de descarga del emisor (fabricante).

R_{fn} : coeficiente de ajuste para el mínimo gasto en función de la conexión en el múltiple (0.22)

ΔH_m : pérdida de carga en el múltiple

ΔH_l : pérdida de carga en el lateral

H_a : presión promedio en el lateral

5.2.3 DISEÑO DE TUBERIA SUB-PRINCIPAL Y PRINCIPAL

El diámetro de la tubería principal se seleccionó de acuerdo al caudal que conducirán y a las pérdidas de carga por fricción de las mismas. Seleccionando a los diámetros que produjeron las menores pérdidas de carga por fricción.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación de Hazen-Williams (19):

$$H_f = 1.131 \times 10^9 (Q/C)^{1.852} (D)^{-4.872} (L)$$

Donde:

H_f : pérdidas por fricción en mts

Q : caudal en m^3/hr

C : coeficiente de fricción (PVC:150, Hierro galvanizado y aluminio :130)

D : diámetro interno en mm

L : longitud de la tubería en mts

5.2.4 DISEÑO DE CABEZAL

El cabezal es la parte de la instalación, salvo excepciones, que está sometida a mayor presión y donde son más fáciles las fugas de agua. Para este cabezal se consideraron principalmente los filtros de grava y los filtros de anillos, los cuales también producirán pérdidas de carga por fricción. Estos filtros deben tener la capacidad para filtrar el Q_s del sistema de riego por goteo.

5.2.5 CARGA REQUERIDA

Para determinar el equipo impulsor, se computaron todas las pérdidas de carga que se producirán desde la toma de agua hasta la entrega al terreno y finalmente se sumaron a la presión de trabajo que requiere la unidad crítica para su funcionamiento, las pérdidas que se tomaron en cuenta son (12):

A.	presión de trabajo de la unidad crítica	Hm
B.	pérdida de carga en tubería sub-principal	a
C.	pérdida de carga en tubería principal	b
D.	pérdida de carga de accesorios de 20 % de todas las pérdidas anteriores	c
E.	pérdida de carga en filtro de grava	d
F.	pérdida de carga en filtro de anillos	e
G.	pérdida de carga en inyector venturí	f
H.	otras pérdidas de carga (5 % de todas las anteriores)	g
	Total (H_T)	<hr/> H_T

5.2.6 REQUERIMIENTO DE BOMBA

Se determino utilizando la ecuación siguiente (18):

$$H_p = \frac{Q_s \cdot H_T}{K \cdot E_f}$$

Donde:

H_p : potencia de la bomba

Q_s : caudal del sistema (lps)

H_T : carga total

K : 0.76 (constante)

E_f : eficiencia de bomba (65 %)

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 DISEÑO AGRONOMICO

Es una parte muy importante en el diseño de un sistema de riego por goteo, debido a que un diseño incorrecto puede resultar perjudicial y grave, ya que puede provocar una escasez o un sobre humedecimiento del volumen de suelo, induciendo el descenso en la producción e incluso la muerte de los cultivos.

6.1.1 ESTUDIO TOPOGRAFICO

Como resultado del levantamiento plani-altimétrico se obtuvieron los planos 1 y 2 que aparecen en los anexos, en donde se ubican las diferentes áreas cuantificadas. El área bruta es de 7.20 Ha y el área neta para el diseño del sistema de riego es de 5.21 Ha. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 1.

CUADRO 1. Cuantificación de las áreas netas de diseño para los diferentes cultivos.

CULTIVOS		AREA (Ha)	AREA (Mz)
ANUALES	AREA 1	0.87	1.24
	AREA 2	0.97	1.38
	AREA 3	0.99	1.41
FRUTALES	Limón (<i>Citrus lemon</i>)	0.76	1.08
	Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>)	0.78	1.11
	Mango (<i>Manguifera indica</i>)	0.84	1.20
TOTAL		5.21	7.42

En el cuadro anterior se puede observar que las áreas netas para los cultivos anuales están divididas en tres, sumadas hacen un total de 2.83 Ha (4.03 Mz) y 2.38 Ha (3.39 Mz) para frutales. El método utilizado para la medición del área en mención, fue: Conservación de Azimut 180° con polígono base o auxiliar. Este método es sin lugar a dudas uno de los más frecuentemente utilizados en trabajos de mensura de terrenos.

6.1.2 ESTUDIO CLIMATOLOGICO

Se consultaron los registros climatológicos de la Estación Meteorológica La FRAGUA, TIPO "A", obteniéndose la información que se presenta en el cuadro 2.

- Municipio: Estanzuela
- Latitud: 14° 57' 51"
- 210 msnm.
- Depto.: Zacapa
- Longitud: 89° 35' 4"

CUADRO 2. Datos climáticos de la estación LA FRAGUA, para el período 1992 - 2002.

MES	TEMP MEDIA	EVAP. DIARIA	VEL. VIENTO	PP	TEMP MAX	TEMP MIN	HORAS LUZ	HR
	° C	mm	Kn/hr	mm	° C	° C	---	%
ENERO	25.98	6.73	4.64	0.31	36.16	13.70	7.08	60.50
FEBRERO	26.77	7.96	5.39	1.21	37.94	14.63	8.33	59.33
MARZO	28.35	9.89	5.61	1.98	39.09	16.00	9.07	55.83
ABRIL	30.64	10.03	5.84	34.56	40.05	19.70	8.38	55.83
MAYO	29.92	9.13	4.95	79.07	39.54	20.50	7.91	61.17
JUNIO	28.98	6.54	3.17	178.33	37.34	21.17	7.38	68.67
JULIO	28.55	6.89	3.70	103.76	35.36	20.65	7.79	68.17
AGOSTO	28.47	7.19	3.58	163.50	35.74	20.35	7.73	66.00
SEPTIEMBRE	28.20	6.14	2.39	149.81	35.57	20.63	6.84	69.83
OCTUBRE	27.65	5.70	2.56	94.65	35.70	18.96	6.63	72.33
NOVIEMBRE	26.44	5.70	3.27	12.24	35.10	16.08	6.43	70.50
DICIEMBRE	25.67	5.71	4.00	1.60	35.47	14.47	6.24	64.00

FUENTE: Estación meteorológica la Fragua, ZACAPA.

Los registros climatológicos que se presentan en el cuadro 2, son de los últimos 11 años de la estación meteorológica LA FRAGUA, los cuales fueron la base para determinar las demandas evapotranspirativas de los cultivos de diseño.

6.1.3 ESTUDIO EDAFOLOGICO

6.1.3.1 Muestreo de suelos

Mediante el reconocimiento del área, se eligieron los puntos de muestreo, estableciéndose la toma de 30 sub-muestras para el área de Hortalizas y 30 sub-muestras para el área de Frutales. Para el área de hortalizas se elaboró una muestra general, mientras que para Frutales una muestra por cada especie establecida. Las profundidades de muestreo fueron para dos estratos el primero de 0 - 30 cms y el segundo de 30 - 60 cms.

6.1.3.2 Análisis físico-químico de suelos

Para definir algunos parámetros para el diseño del sistema de riego, se determinaron las características físicas y químicas del suelo. Estas características fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la FAUSAC y se presentan en el cuadro 3 y 4.

CUADRO 3. Resultados de laboratorio de las características físicas del área de diseño

CULTIVOS		ESTRATOS	%			CLASE TEXTURAL
			ARCILLA	LIMO	ARENA	
ANUALES		0 - 30	36.62	15.29	48.09	ARCILLO ARENOSO
		30 - 60	40.82	15.29	43.84	
FRUTALES	Limón	0 - 30	26.12	19.49	54.39	FRANCO ARCILLOSO ARENOSO
		30 - 60	34.52	17.39	48.09	
	Mandarina	0 - 30	29.57	21.59	48.84	
		30 - 60	33.77	17.39	48.84	
	Mango	0 - 30	25.37	23.69	50.94	
		30 - 60	27.47	19.49	53.04	

FUENTE: Laboratorio de suelos Ing. Salvador Castillo, Facultad de Agronomía, USAC.

Las características físicas del suelo presentadas en el cuadro anterior, tienen mucha importancia para determinar el % de área a humedecer respecto al área total de cada cultivo de diseño. Además se observan que estos suelos tienen tendencia a arenosos, por el % de arena que contienen, además se caracterizan por ser suelos muy impermeables y tienen baja aireación.

CUADRO 4. Resultados de laboratorio de las características químicas del área de diseño.
Profundidad de muestreo de 0 - 30 cms.

CULTIVOS		Ph	Ppm		meq/100gr		Ppm			
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
RANGO MEDIO			12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15
ANUALES		8.6	0.34	98	28.08	6.17	0	0	7.5	17
FRUTALES	LIMON	7.8	5.37	120	9.05	3.55	1.5	1.0	45.5	87.5
	MANDARINA	7.8	18.77	128	10.61	4.27	1.0	1.0	24.5	62
	MANGO	8.7	31.28	255	12.17	5.71	0.50	1.50	8.5	36.5

FUENTE: Laboratorio de suelos Ing. Salvador Castillo, Facultad de Agronomía, USAC.

Estos suelos poseen un pH de fuerte a extremadamente alcalino, dificultando así la disponibilidad de nutrientes para las plantas. De acuerdo a los elementos que presenta este suelo, es importante realizar un buen programa de fertilización, aplicando principalmente fertilizantes de reacción ácida.

6.1.3.3 Constantes de humedad

Con el propósito de conocer la disponibilidad de agua en el suelo, se determinaron las constantes de humedad del mismo, en los puntos de muestreo previamente determinados. Los resultados obtenidos se muestran en cuadro 5.

CUADRO 5. Resultados de laboratorio de las constantes de humedad del área de diseño.

CULTIVOS		ESTRATOS	Densidad gr/cc	CONSTANTES DE HUMEDAD %	
				1/3 ATM	15 ATM
ANUALES		0 - 30	1.3333	25.92	13.05
		30 - 60	1.3333	27.92	16.43
FRUTALES	Limón	0 - 30	1.4286	19.74	10.12
		30 - 60	1.3793	17.00	12.68
	Mandarina	0 - 30	1.3333	22.44	11.69
		30 - 60	1.3793	25.53	13.44
	Mango	0 - 30	1.3333	27.16	14.58
		30 - 60	1.3333	22.79	12.39

FUENTE: Laboratorio de suelos Ing. Salvador Castillo, Facultad de Agronomía, USAC.

La Densidad aparente tiene influencia al calcular el volumen de agua a aplicar en cada riego. Los valores de Capacidad de Campo (1/3 Atm) y Punto de Marchites Permanente (15 Atm), son de gran utilidad para fines de diseño de sistemas de riego, porque muestran el límite superior e inferior del agua disponible a las plantas y la tensión a la cual esta retenida.

6.1.3.4 Determinación de la Infiltración

El comportamiento de la infiltración del agua en el área de estudio a través del tiempo se puede observar en la Figura 1.

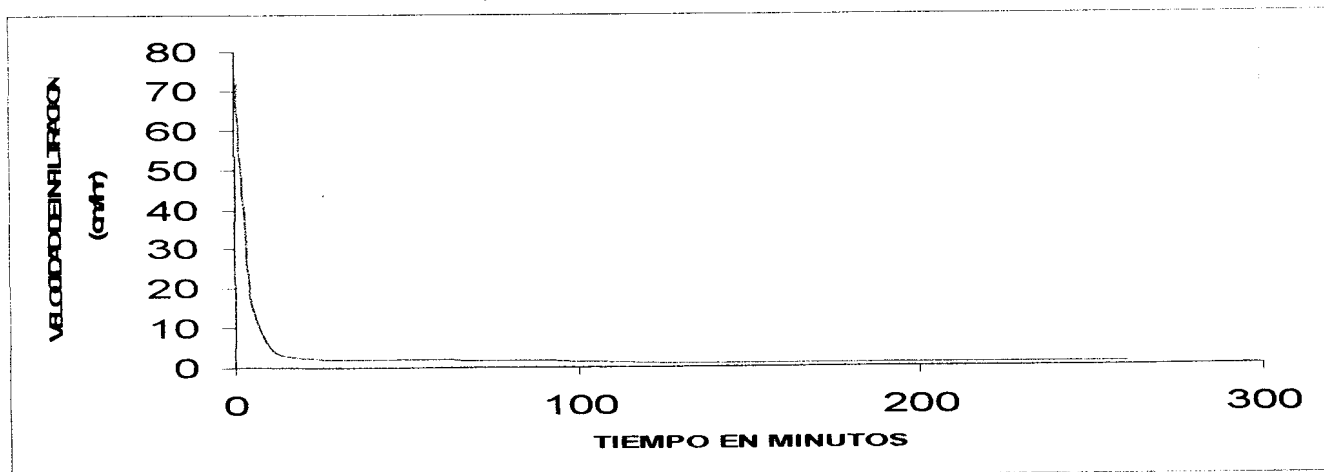


FIGURA 1. Curva de infiltración del agua en el área de estudio.

Utilizando el método del infiltrómetro de doble cilindro se determinó la velocidad de infiltración, obteniéndose los valores de n y K siguientes: $I = 41.68 t^{-0.70}$

La Infiltración básica (I_b) se determinó aplicando los parámetros de Kostiakov-Lewis, obteniendo, la I_b de 0.60 cm/hr.

6.1.3.5 Cultivos a regar

El diseño se realizó en base a los cultivos que con más frecuencia se producen en la EANOR, y son los siguientes: Anuales: Tomate (*Lycopersicon esculentum*), Maíz (*Zea mays*), Pepino (*Cucumis sativus*), Sandía (*Citrullus lanatus*), Melón (*Cucumis melo*) y Frutales: Mango (*Mangifera indica*), Mandarina (*Citrus reticulata*) y Limón (*Citrus lemon*).

6.1.4 ESTUDIO HIDROLOGICO

6.1.4.1 Disponibilidad de agua

La principal fuente que se utilizará como abastecedora del agua, es la del pozo de la EANOR. Los datos obtenidos del aforo por el método volumétrico del pozo son los que se presentan en el cuadro 6:

CUADRO 6. Aforo realizado en el pozo de la EANOR, a diferentes presiones (PSI).

LUGAR	CAUDAL (Lps)	PRESION	
		PSI (Lb/pul ²)	Mts
POZO, EANOR	11.13	0	0
	9.30	10	6.80
	6.62	20	13.60
	4.02	30	20.41
	0.96	40	27.21

El aforo del pozo se realizó durante un tiempo de 10 hrs, obteniéndose un caudal de 11.13 Lps, este caudal debe ser suficiente para cubrir toda el área de riego. Además de este caudal, se utilizará como fuente alterna el agua del canal de riego de La Fragua, el cual posee un caudal de 16 Lps, pero este último solo esta disponible 2 días a la semana (martes y jueves) por tal razón se utilizará el agua del pozo de la EANOR como fuente abastecedora principal.

6.1.4.2 Calidad de agua

Los datos obtenidos sobre la calidad de agua para riego se presentan en los cuadros 7 y 8:

CUADRO 7. Análisis de agua proveniente del Pozo de la EANOR.

PARAMETRO		NIVEL			
PH	7.2				
C. E	931 uS/cm	AGUA ALTAMENTE SALINA			
R.A.S.	1.78	NORMAL			
DUREZA	376.5 ppm CaCO ₃	DURA			
ALCALINIDAD TOTAL	121.7 ppm CaCO ₃	ADECUADO			
ELEMENTO		Ppm	RANGO NORMAL		NIVEL
Nitrógeno	N-NO ₃	18.5	0.0	-- 21.0	Normal
Fósforo	P	2.5	0.0	-- 5.0	Normal
Potasio	K	5.9	0.0	-- 70.0	Normal
Calcio	Ca	124.0	0.0	-- 121.0	Alto
Magnésio	Mg	16.2	0.0	-- 25.0	Normal
Boro	B	< 0.1	0.0	-- 0.5	Normal
Cobre	Cu	< 0.1	0.0	-- 0.2	Normal
Hierro	Fe	< 0.1	0.0	-- 0.2	Normal
Manganeso	Mn	< 0.1	0.0	-- 0.2	Normal
Zinc	Zn	< 0.1	0.0	-- 0.5	Normal
Sodio	Na	79.4	0.0	-- 60.0	Alto
Carbonatos	CO ₃	< 5.0	0.0	-- 5.0	Normal
Bicarbonatos	HCO ₃	129.0	0.0	-- 183.0	Normal

FUENTE: Informe de análisis de aguas. SOLUCIOINES ANALITICAS.

El agua del pozo tiene un pH ligeramente alto, el cual podría alcalinizar el suelo. En cuanto a la conductividad eléctrica (C.E) esta agua necesita prácticas especiales de control de la salinidad y en base a la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) puede usarse en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de ser alcanzados hasta niveles de sodio intercambiable.

CUADRO 8. Análisis de agua proveniente del Canal de riego LA FRAGUA.

PARAMETRO		NIVEL			
PH	7.5				
C. E.	308 uS/cm	AGUA DE SALINIDAD MEDIA			
R.A.S.	0.45	NORMAL			
DUREZA	120.2 ppm CaCO ₃	ADECUADA			
ALCALINIDAD TOTAL	203.0 ppm CaCO ₃	ALTO			
ELEMENTO		ppm	RANGO NORMAL		NIVEL
Nitrógeno	N-NO ₃	1.2	0.0	-- 21.0	Normal
Fósforo	P	0.1	0.0	-- 5.0	Normal
Potasio	K	2.8	0.0	-- 70.0	Normal
Calcio	Ca	36.3	0.0	-- 121.0	Normal
Magnesio	Mg	7.2	0.0	-- 25.0	Normal
Boro	B	< 0.1	0.0	-- 0.5	Normal
Cobre	Cu	< 0.1	0.0	-- 0.2	Normal
Hierro	Fe	0.9	0.0	-- 0.2	Excesivo
Manganeso	Mn	< 0.1	0.0	-- 0.2	Normal
Zinc	Zn	0.1	0.0	-- 0.5	Normal
Sodio	Na	11.3	0.0	-- 60.0	Normal
Carbonatos	CO ₃	< 5.0	0.0	-- 5.0	Normal
Bicarbonatos	HCO ₃	215.1	0.0	-- 183.0	Alto

FUENTE: Informe de análisis de aguas. SOLUCIOINES ANALITICAS.

El agua del canal de riego, tiene similitud con la del pozo, y posee las características siguientes: pH alto y el cual podría alcalinizar el suelo, una conductividad eléctrica (C.E) que indica que esta agua puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado y Relación de Adsorción de Sodio (RAS) que significa que puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de ser alcanzados hasta niveles de sodio intercambiable.

6.1.4.3 Determinación del consumo de agua o demandas evapotranspirativas

La cantidad de agua necesaria para la zona de diseño se determinó para los cultivos citados en el inciso 6.1.3.5, debido a que estos, son los cultivos que con mayor frecuencia se producen en la EANOR. Las demandas evapotranspirativas de los cultivos anuales se determinaron para diferentes meses, con la finalidad de que coincidieran con las fechas de inicio de clases de cada cuatrimestre y así los alumnos desarrollen en forma práctica los conocimientos adquiridos en la teoría. En los cuadros 9 y 10 se muestra la evapotranspiración determinada por el método de Blaney-Criddle modificado.

CUADRO 9. Determinación de la evapotranspiración para los 12 meses del año.

MES	Temp. Media ° C	P Diario	F	n/N		HR %	VIENTO (m/s)		ET _o mm/día
				Valor	Rango		Valor	Rango	
ENERO	24.93	0.260	5.09	0.62	Media	Alta	1.28	Débil	3.75
FEBRERO	26.29	0.262	5.30	0.71	Media	Alta	1.50	Débil	3.95
MARZO	27.55	0.270	5.62	0.76	Media	Alta	1.56	Débil	4.05
ABRIL	29.88	0.280	6.12	0.67	Media	Alta	1.62	Débil	4.75
MAYO	30.02	0.288	6.32	0.62	Media	Alta	1.38	Débil	4.85
JUNIO	29.26	0.290	6.26	0.57	Baja	Alta	0.88	Débil	3.80
JULIO	28.00	0.290	6.09	0.61	Media	Alta	1.03	Débil	4.44
AGOSTO	28.04	0.280	5.89	0.61	Media	Alta	0.99	Débil	4.38
SEPTIEMBRE	28.10	0.280	5.89	0.56	Baja	Alta	0.66	Débil	3.51
OCTUBRE	27.33	0.270	5.59	0.56	Baja	Alta	0.71	Débil	3.11
NOVIEMBRE	25.59	0.260	5.17	0.56	Baja	Alta	0.91	Débil	2.77
DICIEMBRE	24.97	0.242	4.75	0.55	Baja	Alta	1.11	Débil	2.22

T °C: temperatura media diaria, obtenida de $(T^{\circ}\text{C máxima} + T^{\circ}\text{C mínima})/2$.

P Diario: tanto por uno (p) de horas diurnas del mes respecto a las totales.

f: factores mensuales de uso consuntivo (mm/día)

n/N: relación entre las horas reales y las máximas posibles de insolación.

HR: humedad relativa en %

ET_o: evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día

Este método de Blaney-Criddle modificado, además de utilizar el factor original de uso consuntivo (f), también toma en cuenta datos sobre la humedad relativa, la insolación y el viento, teniendo así una mejor predicción de los efectos del clima sobre la evapotranspiración. La ET_o en mm/día, se determinó interpolando en la FIGURA 3A, las datos de f (mm/día), relación n/N,

% HR y velocidad del viento. La terminología utilizada para describir los niveles generales de humedad, insolación y viento se indican en la Nomenclatura Climatológica (CUADRO 18A).

Tomando como base los datos de ETo obtenidos con anterioridad y aplicando el coeficiente de cultivo (Kc), se determinaron los valores de ETc para cada cultivo.

CUADRO 10. Determinación de la evapotranspiración para los diferentes cultivos en los diferentes meses del año.

MES	ETo mm/día	FRUTALES				ANUALES					
		CITRICOS		MANGO		TOMATE		MAIZ		CUCURBITACEAS	
		Kc	ETc	Kc	ETc	Kc	ETc	Kc	ETc	Kc	ETc
ENERO	3.75	1.0	3.75	1.0	3.75	0.75	2.81	---	---	0.54	2.03
FEBRERO	3.95	1.0	3.95	1.0	3.95	1.00	3.95	0.50	1.98	0.79	3.12
MARZO	4.05	1.0	4.05	1.0	4.05	0.80	3.24	0.80	3.24	0.71	2.88
ABRIL	4.75	1.0	4.75	1.0	4.75	---	---	1.05	4.99	---	---
MAYO	4.85	1.0	4.85	1.0	4.85	---	---	0.92	4.46	0.54	2.62
JUNIO	3.80	1.0	3.80	1.0	3.80	---	---	---	---	0.79	3.00
JULIO	4.44	1.0	4.44	1.0	4.44	0.44	1.95	---	---	0.71	3.15
AGOSTO	4.38	1.0	4.38	1.0	4.38	0.75	3.29	0.50	2.19	---	---
SEPTIEMBRE	3.51	1.0	3.51	1.0	3.51	1.00	3.51	0.80	2.81	0.54	1.89
OCTUBRE	3.11	1.0	3.11	1.0	3.11	0.80	2.49	1.05	3.26	0.79	2.46
NOVIEMBRE	2.77	1.0	2.77	1.0	2.77	---	---	0.92	2.55	0.71	1.97
DICIEMBRE	2.22	1.0	2.22	1.0	2.22	0.44	0.98	---	---	---	---

ETo: evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día

Kc: coeficiente que depende del cultivo (ciclo vegetativo)

ETc: evapotranspiración del cultivo en mm/día

Los Kc utilizados para cada cultivo, fueron tomados de acuerdo al estado de desarrollo de cada uno. Para el caso del tomate se consideraron dos siembras en el año en los meses de diciembre y julio, para el maíz febrero y agosto, y para las cucurbitáceas con siembras en el mes de enero, mayo y septiembre.

Según el método de Blaney-Criddle modificado, las demandas más altas de agua para los cultivos frutales corresponden al mes de mayo, y son de 4.85 mm/día. Para los cultivos anuales, el Maíz, es el que presenta una mayor demanda de agua, igual a 4.99 mm/día para el mes de Abril. Por tal razón, son estos valores los que se tomarán para el diseño del sistema de riego por goteo.

6.1.4.4 Porcentaje de suelo humedecido (P ó PAR)

Para determinar el porcentaje de suelo humedecido se utilizó la tabla 3A de Karmeli y Keller para los cultivos frutales y maíz.

A. Frutales

Se consideraron varias alternativas para cada cultivo, utilizando caudales de 2 y 4 lt/hr. Además Keller (1974) citado por Razuri (15) menciona que no se ha establecido un valor mínimo absoluto de porcentaje de suelo mojado y aconseja, para cultivos espaciados ampliamente, porcentajes entre el 33 y 50 % en suelos de textura media o arcillosa. Por tal razón del cuadro 11 que se presenta a continuación, se tomarán las alternativas que se encuentren dentro de este rango y que utilicen el menor caudal y el menor número de goteros por árbol.

CUADRO 11. Alternativas utilizadas para determinar el valor de porcentaje de suelo humedecido, utilizando la tabla de Karmellí y Keller.

CULTIVO	No. ALTERNATIVA	% P	Q gotero Lt/hr	Dist. entre puntos de emisión (mts)	No. de goteros por árbol	Q por árbol (Lt/hr)
LIMON	1	35.71	2	1.0	10	20
	2	42.86	2	1.0	12	24
	3	34.82	4	1.30	6	24
	4	40.63	4	1.30	7	28
MANDARINA	5	28.80	2	1.0	6	12
	6	38.40	2	1.0	8	16
	7	39.00	4	1.30	5	20
	8	46.80	4	1.30	6	24
MANGO	9	33.75	2	1.0	18	36
	10	37.50	2	1.0	20	40
	11	30.41	4	1.30	10	40
	12	36.56	4	1.30	12	48

Todas las alternativas seleccionadas tienen goteros de múltiples salidas o cola de cerdo con descargas de 4 lt/hr, que son fáciles de encontrar en el mercado. Estas alternativas difieren por cada cultivo en lo siguiente:

- Limón:** alternativa 4, utilizando 7 goteros y un caudal por árbol de 28 lt/hr, con un valor de P del 40.63 %.
- Mandarina:** alternativa 7, utilizando 5 goteros y una caudal por árbol de 20 lt/hr, con un valor de P del 39.0 %.
- Mango:** alternativa 12, utilizando 12 goteros y una caudal por árbol 48 lt/hr, con un valor de P del 36.556 %.

Los valores de P obtenidos para cada cultivo son aceptables, debido a que se encuentran dentro del rango de 33 y 50 % recomendados. La distancia entre los puntos de emisión será de 1.30 mts para cada cultivo.

B. Maíz

Para el caso del maíz que se considera un cultivo en líneas, es necesario crear una franja de mojado, por tal motivo el espaciamiento entre goteros se toma de la tabla 3A de Karmeli y Keller.

Los datos obtenidos se presentan a continuación:

- B.1 Descarga de los goteros: 1.5 lt/hr
- B.2 Se consideró un suelo de textura mediana (M)
- B.3 El espaciamiento entre goteros obtenidos en la tabla es de: 0.50 mt
- B.4 El espaciamiento entre laterales es de 1 mt.
- B.5 Además el porcentaje de suelo humedecido es del 70 %, este dato es importante para determinar la lámina de agua a aplicar.

Este porcentaje de suelo humedecido de 70 % se encuentra dentro de los rangos recomendados para los sistemas de riego por goteo que es del 30 - 70 %, por lo tanto es aceptable.

6.1.4.5 Lámina de agua disponible (LHA)

La lámina de agua disponible para los cultivos de diseño, son las siguientes:

- A. Maíz: 9.75 cm
- B. Limón: 5.91 cm
- C. Mandarina: 9.30 cm
- D. Mango: 9.19 cm

Para este cálculo se consideraron dos estratos de 0 – 30 cms y de 30 – 60 cms para todos los cultivos de diseño, obteniendo para maíz: 5.15 y 4.60 cms, limón: 4.12 y 1.74 cms, mandarina: 4.30 y 4.16 cms y para mango: 5.03 y 4.16 cms. Sumando los dos valores se obtuvieron las láminas totales de agua disponible en el suelo.

6.1.4.6 Lámina de riego (I_{dx})

Los datos obtenidos de la lámina de riego se presentan a continuación:

- | | | |
|----|------------|----------|
| A. | Maíz: | 13.65 mm |
| B. | Limón: | 04.80 mm |
| C. | Mandarina: | 07.25 mm |
| D. | Mango: | 06.72 mm |

Para este sistema de riego, además de incluir la LHA, también se utilizó el porcentaje de suelo humedecido y el descenso que se permite en el % de humedad del terreno para que no se resienta la planta (Déficit Permitido de Manejo –DPM-) para determinar la I_{dx} . Para todos los cultivos de diseño se consideró un DPM del 20 %, debido que en este sistema se pretende que los riegos sean más frecuentes y con láminas de agua pequeñas.

6.1.4.7 Intervalo entre riegos (I_i)

Los intervalos obtenidos para los cultivos de diseño son:

- | | | |
|----|------------|--------|
| A. | Maíz: | 2 días |
| B. | Limón: | 1 día |
| C. | Mandarina: | 1 día |
| D. | Mango: | 1 día |

Los I_i se determinaron utilizando la I_{dx} y las tasas de evapotranspiración máximas de cada cultivo. Estos intervalos deben de ser bien manejados cuando este operando el sistema para no alterar el porcentaje de suelo humedecido, el DPM y la profundidad radicular de diseño considerada anteriormente. Estos intervalos son aceptables debido a que en riego por goteo lo ideal es tener un riego continuo.

6.1.4.8 Lámina neta de agua (I_{dn})

Los resultados que se obtuvieron respecto a la lámina neta de agua son los siguientes:

A.	Maíz:	10.00 mm
B.	Limón:	04.85 mm
C.	Mandarina:	04.85 mm
D.	Mango:	04.85 mm

Las Idn se calcularon utilizando los intervalos de riego y las tasas de evapotranspiración máximas. Estas láminas netas de agua sirven de base para determinar la lámina de agua a aplicar en cada riego.

6.1.4.9 Lámina de agua a aplicar (Id)

La lámina de agua a aplicar para los cultivos de diseño, son las que a continuación se presentan:

A.	Maíz:	12.08 mm
B.	Limón:	05.86 mm
C.	Mandarina:	05.86 mm
D.	Mango:	05.86 mm

Para la determinación de las láminas de agua a aplicar, influyen la eficiencia del sistema y la uniformidad de la emisión de los goteros. Para este diseño se tomo una eficiencia del 90 % y uniformidad del 92 %, obteniéndose los datos anteriores para cada cultivo.

6.1.4.10 Duración del riego (It)

La duración de riego para cada uno de los cultivos de diseño es la siguiente:

A.	Maíz:	04.03 hrs
B.	Limón:	07.02 hrs
C.	Mandarina:	07.32 hrs
D.	Mango:	07.81 hrs

Los tiempos de riego obtenidos para cada cultivo difieren para cada uno de ellos, debido a que estos It dependen de las necesidades de agua del cultivo, del caudal del gotero y la lámina de riego a aplicar. Estos tiempos de riego al igual que los intervalos de riego son con fines de diseño, por tal razón pueden ser manejados o ajustados a la operación más adecuada del sistema.

6.1.4.11 Unidades de operación (N)

Las unidades de operación obtenidas para cada área de riego, son:

- | | | |
|----|------------|---|
| A. | Maíz: | 6 |
| B. | Limón: | 1 |
| C. | Mandarina: | 1 |
| D. | Mango: | 1 |

En los sistemas de riego por goteo, se debe de tratar de emplearse el máximo tiempo posible en regar (24 horas), pero en nuestro caso que solo contamos con 12 horas del horario de riego disponible y el área a regar es pequeña, las unidades de operación se determinaron en base a las 12 horas, obteniéndose los resultados arriba citados para cada cultivo.

6.1.4.12 Capacidad del sistema (Qs)

La cantidad de agua a utilizar por cada unidad operacional, determina la capacidad del sistema, obteniéndose los datos siguientes:

- | | | |
|----|------------|----------|
| A. | Maíz: | 3.93 lps |
| B. | Limón: | 1.76 lps |
| C. | Mandarina: | 1.73 lps |
| D. | Mango: | 1.76 lps |

Los Qs obtenidos para el diseño, están en función del área de cada cultivo (Ha), de la lámina de agua a aplicar (Id), del máximo número de unidades operacionales (N) y del tiempo de riego en horas. El Qs total del sistema es de 9.18 Lps.

6.2 DISEÑO HIDRAULICO

El dimensionamiento de las tuberías, se hizo siguiendo el recorrido inverso del agua; es decir, empezando por los ramales o laterales de goteo más alejados, siguiendo con las tuberías terciarias o manifold, secundarias, principales y terminando en el cabezal.

6.2.1 LINEAS PORTAGOTEROS (LATERALES)

El diseño del lateral consistió fundamentalmente en la determinación de la longitud, diámetro, caudal y número de emisores o goteros que poseerá el mismo. Para determinar lo mencionado se desarrollaron los pasos siguientes:

6.2.1.1 Pérdidas de carga permisibles

Las pérdidas de carga se repartieron, 80 % en el lateral y el 20 % en el manifold, logrando de esta manera el costo mínimo de la instalación.

Las pérdidas de carga permisible se calcularon de la siguiente manera:

$$\Delta H_L = (0.80) (\Delta H)$$

$$\Delta H_m = (0.20) (\Delta H)$$

Donde:

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

ΔH_m = pérdida de carga permisible en el manifold (m)

ΔH = depende de la carga con que operan los sistemas de riego por goteo y la diferencia de carga máxima entre los goteros (m)

Como los sistemas de riego por goteo operan con cargas de 8, 10, 14 y 18 mts y las diferencias de carga entre los goteros primero y último no excedan de 10 - 15 %, para este diseño se tomo la operación con una carga de 10 mt, y la diferencia de carga máxima entre los goteros del 15 %, obteniendo así la pérdidas de carga permisibles en la unidad (18).

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

$$\Delta H = 1.50 \text{ m}$$

Al repartir esta pérdida de carga permisible entre las líneas portagoteros (laterales) y el manifold se obtienen los datos siguientes:

$$\Delta H_L = (0.80) (1.50 \text{ m}) = 1.20 \text{ m}$$

$$\Delta H_m = (0.20) (1.50 \text{ m}) = 0.30 \text{ m}$$

6.2.1.2 Longitud del lateral (L_L)

La longitud de laterales para cada uno de los cultivos de diseño, se determino en base al plano topográfico general (Figura 6A), obteniendo los resultados siguientes:

A.	Maíz:	075.00 mt
B.	Limón:	102.50 mt
C.	Mandarina:	65.00 mt
D.	Mango:	55.00 mt

Se comprobó con estas longitudes para ver si las pérdidas de carga obtenidas se encuentran dentro de los límites permisibles al hacer los cálculos para el diámetro del lateral.

La colocación de los laterales para este diseño se hizo a favor de la pendiente, debido a que esta colocación nos evita problemas de anegación de los terrenos para los días cuando la lluvia es intensa. Esta colocación es aceptable debido a que la pendiente de los ramales no debe ser superior al 2 % y en este caso los ramales tienen una pendiente de 1.83 %.

6.2.1.3 Pérdidas de carga en el lateral (J)

Las pérdidas de carga obtenidas en los laterales para los diferentes cultivos de diseño son las siguientes:

A.	Maíz:	1.60 m/100 m
B.	Limón:	1.17 m/100 m
C.	Mandarina:	1.85 m/100 m
D.	Mango:	2.18 m/100 m

Estas pérdidas obtenidas para los laterales de cada cultivo, son de gran utilidad para el diseño del diámetro del lateral, además sirven de comparador para ver si se encuentran dentro de los límites de carga permisibles.

6.2.1.4 Número de goteros (Ne)

El número de goteros obtenidos por lateral para cada cultivo de diseño, se presenta a continuación:

A.	Maíz:	150
B.	Limón:	12
C.	Mandarina:	13
D.	Mango:	6

Para el caso de frutales, el número de goteros depende de la longitud del lateral y el número de plantas por lateral. Mientras que para el cultivo del maíz, depende de la longitud del lateral y el espaciamiento entre los goteros en éste.

6.2.1.5 Caudal en el lateral (Q_L)

Los caudales obtenidos por cada lateral, son los siguientes:

A.	Maíz:	0.063 Lps
B.	Limón:	0.093 Lps
C.	Mandarina:	0.072 Lps
D.	Mango:	0.080 Lps

Estos datos se obtuvieron de multiplicar el caudal de cada gotero por el número de éstos.

6.2.1.6 Diámetro del lateral (\emptyset)

Los diámetros obtenidos para cada lateral son los siguientes:

A.	Maíz:	16 mm
B.	Limón:	20 mm
C.	Mandarina:	20 mm
D.	Mango:	20 mm

Para facilitar los cálculos y de incluir el mayor número de variables que influyen en el diseño de los ramales de goteo, se utilizó un nomograma que permite rápidamente encontrar el diámetro del lateral. Las variables utilizadas son: número de goteros, distancia en cada gotero sobre el lateral, descarga en los goteros, longitud del lateral, descarga en el lateral, pérdida de carga en el lateral, gradiente de la pérdida de carga.

Los resultados obtenidos, pertenecen a mangueras de 16 mm para maíz y 20 mm para los frutales, éstas son de polietileno que soportan 4 atmósferas de presión. Las pérdidas de carga obtenidas con estos diámetros son menores que las permisibles (1.20 m), por lo tanto se acepta el diseño. Las pérdidas de carga para maíz, limón y mango son de 0.50 mts y para mandarina de 0.40 mts.

6.2.2 DISEÑO DEL MANIFOLD (tubería de múltiple salida)

El manifold en este caso se colocará en forma perpendicular a la pendiente del terreno, además, debe estar conectado a la tubería sub-principal, esta conexión debe hacerse al centro del manifold para dividir el caudal de la mejor manera posible, logrando de esta manera que las pérdidas de carga sean de la misma magnitud en ambos lados del mismo.

La tubería utilizada para el manifold debe ser de PVC, y debe estar enterada para que no obstaculice las labores de los cultivos.

Para el diseño del manifold se desarrollaron los siguientes pasos:

6.2.2.1 Caudal del manifold (Q_m)

Los caudales para los manifold de los cultivos de diseño obtenidos son los siguientes:

- | | | |
|----|------------|----------|
| A. | Maíz: | 3.78 Lps |
| B. | Limón: | 1.30 Lps |
| C. | Mandarina: | 1.58 Lps |
| D. | Mango: | 1.20 Lps |

En el caudal del manifold influyen el número de laterales y el caudal de cada lateral.

6.2.2.2 Longitud del manifold (L_m)

Las longitudes obtenidas de los manifold son las que se presentan a continuación:

- | | | |
|----|------------|------------|
| A. | Maíz: | 59.00 mts |
| B. | Limón: | 54.60 mts |
| C. | Mandarina: | 105.00 mts |
| D. | Mango: | 11.20 mts |

La longitud del manifold depende del número de laterales y la separación entre ellos, y del tamaño que posea la unidad de operación.

6.2.2.3 Pérdidas de carga en el manifold (J)

Las pérdidas de carga obtenidas para cada uno de los manifold, son las siguientes:

- | | | |
|----|-------|--------------|
| A. | Maíz: | 1.44 m/100 m |
|----|-------|--------------|

B.	Limón:	1.44 m/100 m
C.	Mandarina:	0.78 m/100 m
D.	Mango:	0.71 m/100 m

Estas pérdidas de carga están influenciadas por las pérdidas de carga permisibles, la longitud del manifold y por un coeficiente (F) que depende del número de salidas o laterales a lo largo de éste. (CUADRO 17A).

6.2.2.4 Diámetro del manifold (Ø)

Los diámetros obtenidos para cada uno de los manifold, se presentan a continuación:

A.	Maíz:	75 mm (2.95 ")
B.	Limón:	50 mm (2.00 ")
C.	Mandarina:	63 mm (2 ½ ")
D.	Mango:	63 mm (2 ½ ")

Utilizando la Figura 5A, se obtuvieron los diámetros para cada manifold, el mayor corresponde a Maíz. La presión de trabajo que soporta la tubería es de 6 Atmosferas para los dos diámetros obtenidos. Esta gráfica relaciona el caudal del manifold y las pérdidas de carga del mismo.

6.2.2.5 Coeficiente de uniformidad (UEs)

La uniformidad del sistema se determino en base a la sub-unidad de riego más crítica, en este caso pertenece a la del cultivo del maíz, además, se consideró a las demás sub-unidades por igual. El dato obtenido es el siguiente:

A.	Maíz:	90 %
----	-------	------

Este 90 % obtenido de la UEs, se considera aceptable, ya que la diferencia de ésta con la UEs considerada (92 %) en el inciso 7.1.4.9, no excede el 2 % (18).

6.2.3 DISEÑO DE TUBERÍA SUB-PRINCIPAL Y PRINCIPAL

En los cuadros 12 y 13 se presentan los resultados obtenidos en el diseño de la tubería sub-principal y principal, en el cual se incluyen los diferentes diámetros a utilizar y sus respectivas pérdidas por fricción.

Las pérdidas por fricción se calcularon con la ecuación de Hazen-Williams (19):

$$H_f = 1.131 \times 10^9 (Q/C)^{1.852} (D)^{-4.872} (L)$$

Donde:

H_f: pérdidas por fricción en mts

Q: caudal en m³/hr

C: coeficiente de fricción (PVC:150, Hierro galvanizado y aluminio :130)

D: diámetro interno en mm

L: longitud de la tubería en mts

CUADRO 12. Diámetro de tubería sub-principal y sus pérdidas por fricción para los diferentes cultivos de diseño.

CULTIVO	CAUDAL		LONG. (mts)	DIAMETRO		VELOC. m/s	PERDIDAS DE CARGA POR FRICCION (mts)
	Lps	m ³ /hr		INTERNO (mm)	EXTERNO (Pulg)		
Maíz	3.78	13.61	95	84.6	3	0.67	0.51
Mango	1.20	4.32	80	69.5	2 ½	0.32	0.13
Mandarina	1.58	5.69	75	69.5	2 ½	0.42	0.21
Limón	1.30	4.68	25	57.4	2	0.50	0.12

Para las pérdidas por fricción de la tubería sub-principal, se consideró como unidad crítica la del cultivo del maíz. Toda la sub-principal tiene una pérdida por fricción total de 0.51 mts. Se considero unidad crítica debido a que es la que mayores pérdidas por fricción tiene desde la fuente de agua hasta el área de riego respecto a las de los otros cultivos de diseño.

Los diámetros internos y externos se tomaron de una tabla de PVC y CPVC de una empresa comercial.

CUADRO 13. Diámetro de tubería principal y sus pérdidas por fricción.

SECCION	CAUDAL		LONG. (mts)	DIAMETRO		VELOC. m / s	PERDIDAS DE CARGA POR FRICCION (mts)
	Lps	m ³ /hr		INTERNO (mm)	EXTERNO (Pulg)		
PRIMERA	7.86	28.30	15	108.70	4	0.85	0.09
SEGUNDA	6.56	23.62	262.50	108.70	4	0.71	1.16
PERDIDAS POR FRICCION TOTALES							1.25

El cálculo de las pérdidas por fricción de la tubería principal se realizó para dos secciones, la primera que conducirá 7.86 Lps y la segunda 6.56 Lps, para las longitudes de 15 y 262.50 mts respectivamente. Las pérdidas por fricción totales en la tubería principal son 1.25 mts.

6.2.4 DISEÑO DE CABEZAL

A las pérdidas de carga producidas en las tuberías hay que añadir las pérdidas en que incurren los componentes del cabezal. Estas pérdidas se presentan en el cuadro 14.

CUADRO 14. Pérdidas de carga en los componentes del cabezal y equipo de Inyección.

APARATO	PERDIDAS DE CARGA EN MTS	PERDIDAS DE CARGA EN Lb/pulg ² (PSI)
- Filtro de arena	5	7.10
- Filtro de anillos	4	5.68
- Inyector ventura	5	7.10

Los filtros a utilizar deben tener capacidad par filtrar 9.18 Lps.

El inyector venturí se utilizará para la fertilización de los cultivos de diseño en cada sub-unidad de riego. No se consideró un sistema de fertilización en el cabezal debido a que se estarán regando varios cultivos en el mismo momento, por tal razón la fertilización se hará específica en cada sub-unidad de riego utilizando un inyector tipo venturí, que es el equipo de fertilización más simple y de bajo costo.

6.2.5 CARGA REQUERIDA

Dimensionada toda la instalación, es importante establecer la presión que se requiere para el funcionamiento del sistema, para que posteriormente se pueda definir el grupo de impulsión. Para ello, es necesario, computar todas las pérdidas de carga que se producen desde la toma de agua hasta su entrega al terreno y sumárselas a la presión de trabajo que requiere la unidad crítica para su normal funcionamiento. A continuación se presentan todas las pérdidas de carga obtenidas en el diseño del sistema:

A.	Presión de trabajo en la unidad crítica.....	10.0	mt
B.	Pérdida de carga en tubería sub-principal.....	0.51	mt
C.	Pérdida de carga en tubería principal.....	1.25	mt
D.	Pérdida de carga en accesorios, 20 % de todas las anteriores.....	2.29	mt
E.	Pérdida de carga en filtro de arena.....	5.00	mt
F.	Pérdida de carga en filtro de anillos.....	4.00	mt
G.	Pérdida de carga en inyector venturi.....	5.00	mt
H.	Otro tipo de pérdidas (5% de las anteriores).....	1.39	mt
	PERDIDA DE CARGA TOTAL (H_T).....	29.44	mt

6.2.6 REQUERIMIENTO DE BOMBA

La capacidad de la bomba se determinó de acuerdo al requerimiento del sistema, obteniéndose el resultado siguiente:

$$H_p = [(9.18 \text{ lps}) (29.44 H_T)] / [(0.76) (65)] = 5.47 \text{ Hp} = 6 \text{ Hp}$$

El equipo de impulsión debe tener 6 caballos de fuerza para llevar el agua a cada sub-unidad de operación.

6.3 ESTIMACION DE COSTOS:

Determinados los requerimientos de materiales y equipo, se elaboró una estimación de los costos totales en que incurrirá la implementación del sistema de riego por goteo, dentro de los cuales incluye: Líneas de distribución, líneas de conducción, construcción de tanque de

almacenamiento de agua, equipo de filtrado e impulsión, accesorios y costos de instalación del sistema. El desglose de todos los costos se presentan en el cuadro 15.

CUADRO 15. Estimación de costos del proyecto de riego para el área agrícola de la EANOR.

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO EN Q.	COSTO TOTAL EN Q.
LATERALES:			
- Rollo Manguera Metzterplas S. Compact 16-2-0.50 (500 mts)	53	712.5000	37,762.5000
- Rollo tubo polietileno 20 mm (Rollo 300 mts)	29	678.3000	19,670.7000
- Goteros de 4 lt/hr	3686	1.7100	6,303.0600
- Metro tubo polietileno de 16 mm (Rollo 300 mts)	1	1.7100	513.0000
- Acople de manguera sin ajuste giratorio 16 mm	335	2.6125	875.1875
- Conector de arranque de 20 mm	51	2.6125	133.2375
- Acople inserción dentado para 16 mm	335	1.8050	604.6750
- Acople unión dentado 20 mm	51	0.8759	44.5689
MANIFOLD:			
- Tubo PVC 3" 100 PSI blanco	60	125.7550	7,545.3000
- Tubo PVC 2 ½" 100 PSI blanco	37	85.2179	3,153.0623
- Tubo PVC 2" 100 PSI blanco	9	58.0721	522.6489
- Codo PVC liso de 3" x 45°	12	52.5283	630.3396
- Codo PVC liso de 2 ½" x 45°	4	46.9775	187.9100
- Codo PVC liso de 2" x 45°	2	11.7250	23.4500
- Adaptador PVC macho de 3"	12	25.9767	311.7204
- Adaptador PVC macho de 2 ½"	4	18.1650	72.6600
- Adaptador PVC macho de 2"	2	6.8883	13.7766
- Tapón PVC hembra liso de 3"	12	32.4517	389.4204
- Tapón PVC hembra liso de 2 ½"	4	25.9775	103.9100
- Tapón PVC hembra liso de 2"	2	5.1300	10.2600
SUB-PRINCIPAL AL MANIFOLD			
Entrada:			
- TEE PVC lisa 3"	9	57.8759	520.8831
- TEE PVC lisa 2 ½"	4	45.4857	181.9428
- TEE PVC lisa 2"	2	11.4586	22.9172
- TEE PVC lisa 1"	9	4.4167	39.7503
- Reductor PVC Bushing de 3" x 1"	6	35.1678	211.0068
- Reductor PVC Bushing de 2 ½" x 1"	2	22.3083	44.6166
- Reductor PVC Bushing de 2" x 1"	1	7.4410	7.4410
- Adaptador PVC hembra liso de 1"	9	2.8556	25.7004
- Válvula PVC de aire 1" VBK	9	91.2000	820.8000
- Válvula bronce de compuerta ½"	9	35.0000	315.0000

- Codo PVC liso de 3" x 90°	3	52.9756	158.9268
Inyección:			
- TEE PVC lisa 3"	12	57.8759	694.5108
- TEE PVC lisa 2 ½"	4	45.4857	181.9428
- TEE PVC lisa 2"	2	11.4586	22.9172
- Reductor PVC Bushing de 3" x 1"	12	35.1678	422.0136
- Reductor PVC Bushing de 2 ½" x 1"	4	22.3083	89.2332
- Reductor PVC Bushing de 2" x 1"	2	7.4410	14.8820
- Válvula bronce de compuerta 1"	18	64.1800	1,155.2400
- Unión PVC universal lisa de 1"	18	21.3989	385.1802
- Válvula bronce de compuerta 3"	6	335.3100	2,011.8600
- Válvulas bronce de compuerta 2 ½"	4	254.4800	1,017.92
- Válvulas bronce de compuerta 2"	1	134.0000	134.0000
Regulación de presión:			
- TEE PVC lisa 3"	18	57.8759	1,041.7662
- TEE PVC lisa 2 ½"	6	45.4857	272.9142
- TEE PVC lisa 2"	3	11.4586	34.3758
- Codo PVC liso 3" x 90°	6	52.9756	317.8536
- Codo PVC liso 2 ½" x 90°	2	49.0350	98.07
- Codo PVC liso 2" x 90°	37	10.0590	372.1830
- Reductor PVC Bushing de 3" x 2"	24	35.1679	844.0296
- Reductor PVC Bushing de 2 ½" x 2"	8	22.3088	178.4704
- Reductor PVC Bushing de 2" x 1 ¼"	18	7.4411	133.9398
- Reductor PVC Bushing de 1" x 2"	18	7.4410	133.9380
- Adaptador PVC macho 1 ¼"	18	3.5422	63.7596
- Adaptador PVC macho 1"	18	3.4578	62.2404
- Regulador de presión Senninger 40 PSI 22.2 GPM	18	100.0000	1,800.0000
SUB-PRINCIPAL Y PRINCIPAL			
- Tubo PVC 4" 100 PSI blanco	35	209.2020	7,322.0700
- Tubo PVC 3" 100 PSI blanco	46	125.7550	5,784.7300
- Tubo PVC 2 ½" 100 PSI blanco	26	85.2179	2,215.6654
- Tubo PVC 2" 100 PSI blanco	5	58.0721	290.3605
- TEE PVC lisa 4"	5	96.3478	481.7390
- Codo PVC liso 4" x 90°	3	62.2513	186.7539
- Codo PVC liso 2 ½" x 90°	2	49.0350	98.0700
- Codo PVC 2" x 90°	1	10.0590	10.0590

FILTRADO:			
- TEE PVC lisa 4"	2	96.3478	192.6956
- Codo PVC liso 4" x 90°	5	62.2513	311.2565
- Reductor PVC Bushing de 4" x 2"	4	55.9575	223.8300
- Reductor PVC Bushing de 4" x 3"	2	55.9600	111.9200
- Adaptador PVC macho 2"	4	6.8883	27.5532
- Válvula bronce de compuerta 4"	1	596.5500	596.5500
- Manómetro con glicerina RBC-L 100	3	188.1500	564.45
- Filtro de Grava de 20"	2	4,453.8650	8,907.7300
- Filtro de Anillos DOBLE ARKAL 3" 120 MESH	1	1,600.00	1,600.0000
EQUIPO DE IMPULSION:			
- Motor Diesel de 6 HP	1	8,000.0000	8,000.0000
COSTOS TOTALES DE MATERIALES Y EQUIPO DE RIEGO			129,629.0456
INSTALACION DEL SISTEMA			
ALMACENAMIENTO DE AGUA			
- Block de 20 x 20 x 40 cm	1500	2.2500	3,375.0000
- Sacos de Cemento	200	37.0000	7,400.0000
- M ³ de Arena	40	90.0000	3,600.0000
- Quintales de Barilla de hierro de 3/4"	14	350.0000	4,900.0000
ZANJEO (888.75 Mts) en Horas	45	200.0000	9,000.0000
ALBAÑILERIA			15,000.0000
INSTALACION DEL SISTEMA	5.21 Has	1,150.0000	5,991.5000
COSTOS TOTALES DE INSTALACION DEL SISTEMA			49,266.5000
COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE RIEGO			178,895.5456

NOTA: Precios actualizados al mes de abril del año 2004.. DURMAN EZQUIVEL (TUBOFORT)

Según datos del cuadro anterior el costo total del sistema de riego asciende a la cantidad de Q. 178,895.5456; considerando únicamente los costos de materiales y equipo del sistema se tiene un costo de Q. 129,629.0456, teniendo un costo por Ha de Q. 24,880.8149. Mientras que los costos por instalación del sistema que incluye un tanque de almacenamiento con dimensiones de 2.25 mt profundidad, 10 mt de ancho y 20 m de largo, zanjeo, albañilería, instalación y dirección técnica son de Q. 49,266.50. Con el dato del costo total del sistema de riego se tiene que gestionar los fondos ya sea con entidades gubernamentales o no gubernamentales para la implementación del proyecto.

6.4 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

DEL CULTIVO	MAIZ	LIMON	MANDARINA	MANGO
- Ciclo vegetativo	120 días			
- Siembra	Febrero			
- Cosecha	Mayo			
- Profundidad radicular de diseño	60 cm	60 cm	60 cm	60 cm
- Evapotranspiración/diaria	5 mm	4.85 mm	4.85 mm	4.85 mm
DE RIEGO				
- Lámina neta de agua	10 mm	4.85 mm	4.85 mm	4.85 mm
- Lámina de agua a aplicar	12.08 mm	5.85 mm	5.85 mm	5.85 mm
- Intervalo entre riegos	2 días	1 día	1 día	1 día
- Tiempo de riego	4.03 hrs	7.02 hrs	7.32 hrs	7.81 hrs
- Tiempo para regar disponible	12 hrs			
- No. De unidades de operación	6	1	1	1
- Mes crítico	Abril	Mayo	Mayo	Mayo
- Tiempo para chequeos	1 hr			
- Infiltración básica	0.60 cm/hr			
GOTEROS				
- Presión	1 Atm.	1 Atm	1 Atm	1 Atm
- Caudal	1.5 lt/hr	4 lt/hr	4 lt/hr	4 lt/hr
- Diámetro de humedecimiento	0.57 mt	1.50 mt	1.50 mt	1.50 mt
- Separación entre goteros	0.50 mt	1.30 mt	1.30 mt	1.30 mt
- No. De goteros por árbol		7	5	12
LATERALES				
- Diámetro	16 mm	20 mm	20 mm	20 mm
- Material	Polietileno	Polietileno	Polietileno	Polietileno
- Separación entre laterales	1 mt	8 mt	5 mt	8 mt
- Longitud	75 mt	102.50 mt	65 mt	55 mt
- % de suelo humedecido	70 %	40.63 %	39.0 %	36.56 %

	MAIZ	LIMON	MANDARINA	MANGO
MANIFOLD				
- Diámetro	3 "	2 "	2 ½ "	2 ½ "
- Material	PVC	PVC	PVC	PVC
- Número de laterales	60	14	22	15
- Longitud	59 mts	54.60 mts	105 mts	112 mts
- Caudal	3,78 Lps	1.30 Lps	1.58 Lps	1.20 Lps
SUB-PRINCIPAL				
- Diámetro	3 "	2 "	2 ½ "	2 ½ "
- Material	PVC	PVC	PVC	PVC
- Longitud	95 mts	25 mts	75 mts	122.50 mts
PRINCIPAL				
- Diámetro	4 "			
- Material	PVC			
- Longitud	277.50 mts			
DE OPERACIÓN				
- Area total de riego	2.83 Ha	0.76 Ha	0.78 Ha	0.84 Ha
- Area de riego por día	1.415 Ha	0.76 Ha	0.78 Ha	0.84 Ha
- No. De laterales/turno	60	14	22	15
- No. De goteros/turno	9,000	168	286	90
- Caudal del lateral	0.063 Lps	0.093 Lps	0.072 Lps	0.08 Lps

6.5 NORMAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO DISEÑADO

El elevado costo de implementar un sistema de riego por goteo, obliga a tener el máximo rendimiento del sistema, y esto se consigue con el cumplimiento de algunas normas sobre operación y mantenimiento del mismo.

6.5.1 OPERACION

De acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño del sistema de riego por goteo para el área de cada uno de los cultivos, se realizó la operación más adecuada del sistema y se presenta a continuación:

- A. **Maíz:** dividida en 6 sub-unidades de operación, aplicando una lámina de agua de 12.08 mm cada 2 días, con un tiempo de riego de 4.03 hrs para cada sub-unidad.
- B. **Limón:** posee 1 unidad de operación, aplicando una lámina de agua de 5.86 mm diariamente, con un tiempo de riego de 7.02 hrs para cada unidad.
- C. **Mandarina:** posee 1 unidad de operación, aplicando una lámina de agua de 5.86 mm diariamente, con un tiempo de riego de 7.32 hrs para cada unidad.
- D. **Mango:** posee solamente 1 unidad de operación, aplicando una lámina de agua de 5.86 mm diariamente, con un tiempo de riego de 7.81 hrs para la unidad.

Utilizando los datos anteriores, se diseñó la operación del sistema de riego por goteo operando el sistema diariamente, además se consideró un tiempo disponible de riego de 12 horas. Para el cultivo de maíz se regarán 3 sub-unidades diarias con un tiempo de riego de 4.03 horas por sub-unidad cada 2 días y para los frutales los riegos se aplicarán diariamente. En el cuadro 16 se presenta la distribución de los riegos en horas:

CUADRO 16. Distribuciones de riego diarios para cada sub-unidad con su respectivo tiempo (hrs), considerando el tiempo de riego disponible.

TIEMPO (hrs)	MAIZ						LIMON	MANDARINA	MANGO
	SUB-UNIDADES DE OPERACIÓN						UNIDAD DE OPERACIÓN		
	1	2	3	4	5	6	1	1	1
6:00 - 7:00	■			■			■		■
7:00 - 8:00	■			■			■		■
8:00 - 9:00	■			■			■		■
9:00 - 10:00	■			■			■		■
10:00 - 11:00		■			■		■	■	
11:00 - 12:00		■			■		■	■	
12:00 - 13:00		■			■		■	■	
13:00 - 14:00		■			■		■	■	
14:00 - 15:00			■			■			■
15:00 - 16:00			■			■			■
16:00 - 17:00			■			■			■
17:00 - 18:00			■			■			■

Esta distribución de las sub-unidades de riego en el tiempo disponible de 12 horas que aparecen en el cuadro anterior, significa que el sistema de riego debe estar operando de manera interrumpida durante la época de requerimiento de agua, en el caso de los frutales es todo el tiempo y el cultivo de maíz, obviamente solo cuando este se encuentre establecido. Es importante mencionar que para el cultivo del maíz, el día 1 se regaran las sub-unidades 1,2 y 3, mientras que el día 2 se regaran las sub-unidades 4, 5 y 6, por lo tanto cada sub-unidad de éstas se regaran a un intervalo de 2 días.

6.5.2 MANTENIMIENTO

6.5.2.1 Equipo de impulsión

Para el equipo de impulsión se utilizará una bomba de combustión interna (Diesel), por tal razón es necesario darle mantenimiento para que su eficiencia de trabajo no disminuya e influya en la presión requerida en cada unidad de riego.

El mantenimiento que debe hacerse es el siguiente:

- A. Cambios de aceite de acuerdo a la normas de fabricación.
- B. Chequeos de filtros de aceite y diesel.

6.5.2.2 Sistema de filtrado

Se requiere de una revisión constante de los sistemas de filtrado para disminuir la obstrucciones en la tuberías. Para comprobar si existe obstrucción en los filtros, deben leerse los manómetros colocados a la entrada y salida de los mismos, si existe aumento en la presión de estos significa que existen obstrucciones en el sistema de filtrado y es necesario limpiarlos.

Los filtros se deben limpiar cuando la presión decaiga 7 lb/pulg² (PSI) en los filtros de arena y 3 lb/pulg² (PSI) en los filtros de malla (anillas), aunque estas cifras no son absolutas y dependerán de la carga disponible a la entrada del cabezal y la que se necesita a la salida. El retrolavado es efectivo, cuando es posible, además puede hacerse la revisión de los filtros y su limpieza manual en los casos que se puedan desarmar.

6.5.2.3 Lavado de tuberías y mangueras

En el sistema de riego por goteo, la suciedad se concentra al final de las líneas, como resultado de la sedimentación por la baja velocidad del flujo o por impurezas que quedan

atrapadas en el final de éstas, los laterales deben ser lavados al menos una vez por estación. Debido a que el agua que se utilizará para riego no es de buena calidad, el lavado debe hacerse más frecuente (hasta 2 veces por mes).

El lavado se efectúa abriendo los tapones finales de las líneas (laterales) durante el riego por aproximadamente 30 segundos o cuando ya no aparezca suciedad. No deben abrirse más de dos laterales a la vez, para conservar una presión de lavado y velocidad de flujo adecuado. En el caso de los manifold el lavado se hace abriendo los tapones colocados en ambos extremos del mismo, durante 30 segundos o cuando ya no aparezca suciedad.

6.5.2.4 Desajuste de válvulas

Cuando se manipulan con frecuencia las válvulas de compuerta, puede darse la rotura de alguna pieza interior o desgaste de las partes móviles, dando lugar a que las válvulas no produzcan un cierre completo o que a veces no habrá totalmente, produciendo así pérdidas de carga superiores a las previstas, por tal motivo debe cuidarse la calidad de dichas válvulas y ver el sistema de cierre.

También, es necesario revisar periódicamente la presión a la salida de las válvulas de regulación de presión, debido a que estas son afectadas por el ataque del agua a la membrana que hace la regulación.

6.5.2.5 Necesidad y frecuencia de lavados con ácidos

El objetivo de lavar con ácidos, es disolver la costra y otras precipitaciones que puedan haberse formado en el sistema, también es efectivo contra sedimentos orgánicos en aguas con pH altos, como las que se utilizarán para este sistema de riego.

El tratamiento con ácidos debe de realizarse al final de cada estación de riego o cuando sea necesario. Los ácidos que se pueden utilizar son: Hipoclorito técnico al 33 %, ácido fosfórico al 85 % y el ácido nítrico al 60 %. Las aplicaciones se hacen a una concentración de 0.6 %.

Cuando ya se haya completado el tratamiento, debe seguirse operando el sistema con agua limpia por aproximadamente ½ hora y después volver a lavar los laterales para evacuar los sedimentos disueltos.

6.6 ESTIMACION DE IMPACTO SOBRE COMPONENTES AMBIENTALES

Para estimar el impacto que causará a los componentes ambientales las diferentes actividades que conlleva la implementación y la operación del sistema de riego por goteo, se consideró el efecto negativo y/o positivo sobre el ambiente, con la finalidad de contrarrestar dicho efecto mediante las medidas de mitigación consideradas.

6.6.1 IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS

- A. El factor menos afectado es la cobertura boscosa, debido a que únicamente serán removidos aproximadamente unos 6 árboles y es precisamente donde pasará la tubería sub-principal para los cultivos de Mango y Mandarina.
- B. Se prevee una contaminación del agua subterránea provocada por la infiltración de agroquímicos, debido a que en este sistema la aplicación de éstos, se hace usualmente en el agua de riego. Además se alterará la microflora y microfauna del suelo provocada por los mismos agroquímicos.
- C. Existirá erosión del suelo, debido a que estos suelos van a ser explotados de una manera intensiva durante todo el año.
- D. Producción de basuras y otros desechos, principalmente durante la etapa de operación del proyecto inducida por el uso intensivo de las áreas a cultivar.
- E. Contaminación del aire provocado por la emanación de humo producido por el motor de combustión interna (Diesel) utilizado como equipo de impulsión.

6.6.2 MEDIDAS DE MITIGACION

Para contrarrestar los efectos negativos que causará al medio ambiente la implementación del sistema de riego, es necesaria la capacitación de personal para la operación y mantenimiento del sistema, además, se deberá concientizar a los estudiantes sobre la importancia que tiene la protección del medio ambiente en lo que a la implementación de sistemas de riego se refiere. Algunas medidas de mitigación consideradas son:

- A. Eliminar la menor cantidad de árboles al momento de hacer las zanjas donde se colocarán las tuberías, ya que estos además de servir como barreras rompevientos, forman parte del paisaje del lugar.

- B. **Deben de aplicarse las dosis adecuadas de los agroquímicos a utilizar con la finalidad de reducir la contaminación de las aguas subterráneas y la alteración de la microflora y microfauna del suelo.**
- C. **Debe de existir una recolección constante de basura para evitar la contaminación del suelo y del aire.**
- D. **Es importante que se optimicen las funciones del motor que se utilizará como equipo de impulsión, para reducir la cantidad de emanaciones producidas por el escape del mismo.**

7. CONCLUSIONES

1. Por medio de los estudios preliminares realizados, se determinaron características importantes que se tomaron como base para el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego por goteo y los más relevantes son los siguientes: una área neta de riego de 5.21 Ha con un porcentaje de pendiente menor del 2 %. Las necesidades de agua para el cultivo de maíz de 5 mm/día y para los frutales de 4.85 mm/día; una velocidad de infiltración de 0.60 cm/hr con un suelo Franco Arcillo Arenoso.
2. La fuente de agua que principalmente se utilizará para abastecer el área de riego es la del pozo de la EANOR en el cual se encuentra instalada una bomba sumergible de 10 HP con un caudal de 11.13 Lps. Utilizando esta bomba se llevará el agua del pozo al tanque de almacenamiento de agua con dimensiones de 2.50 mts de profundidad 10 mt de ancho, 20 mts de largo.
3. De acuerdo a los aspectos hidráulicos deben de utilizarse mangueras de 16 mm con goteros de 1.5 lt/hr para el cultivo del maíz y mangueras de 20 mm con goteros de 4 lt/hr para frutales. Las tuberías de conducción deben ser de PVC con sus respectivos diámetros, además, se necesita una bomba de combustión interna diesel de 6 HP para vencer una Carga Dinámica Total de 29.44 mts.
4. La cantidad de equipo y materiales que integran todo el sistema y que van desde las tuberías distribuidoras y conductoras de agua hasta el equipo de impulsión tienen un costo de Q. 129,629.0456, además los costos por instalación del sistema que incluye la construcción de un tanque de almacenamiento de agua, zanjeo, albañilería, instalación y dirección técnica tiene un costo de Q. 49,266.50; determinando de esta manera que el costo total en que incurre la implementación del sistema de riego por goteo para 5.21 Ha netas es de Q. 178,895.5456.
5. De acuerdo a las normas de operación del sistema este debe estar operando 12 horas diarias para cubrir con las demandas evapotranspirativas del Maíz, Limón, Mandarina y Mango que son los cultivos de diseño. También es necesario realizar operaciones de mantenimiento del sistema tales como: Lavados de mangueras y tuberías con ácidos (hipoclorito técnico al 33 %,

ácido fosfórico al 85 % y ácido nítrico al 60 %), revisión constante del sistema de filtrado y equipo de impulsión y revisiones periódicas en válvulas para comprobar presiones o desajustes en piezas de las mismas.

6. Con el sistema de riego implementado se contribuirá con el proceso de enseñanza aprendizaje de la EANOR, ya que se estarán vinculando aproximadamente a 200 estudiantes en los aspectos de manejo del mismo, además se creará una agricultura intensiva en donde se fomentará la formación educativa de Peritos Agrónomos.
7. Lo que provocará impacto negativo al ambiente, es la producción de basura y otros desechos por la adopción de una agricultura intensiva, también el factor suelo será afectado debido a que estará sujeto a la utilización constante y a la aplicación de agroquímicos que provocan la erosión y la alteración de la microflora y microfauna del mismo.
8. En base al costo total del proyecto se deben de realizar las gestiones que sean necesarias ya sea con instituciones gubernamentales y no gubernamentales para obtener el financiamiento que se requiere para la implementación del sistema de riego por goteo para la Escuela de Agricultura de Nororiente -EANOR-.

8. RECOMENDACIONES

1. Se deben de utilizar los equipos y materiales considerados en el diseño con el propósito de garantizar el funcionamiento adecuado del sistema.
2. Para reducir el costo total del proyecto, es necesario que se involucren a varias empresas comerciales dedicadas a este ramo, obviamente, para que planteen sus ofertas y decidir técnica y económicamente la más conveniente.
3. Una vez instalado el sistema de riego, deberán de hacerse evaluaciones sobre la uniformidad de aplicación del agua de riego como una actividad de docencia e investigación.
4. Cuando el sistema esté en operación es importante que se determinen las láminas de agua a aplicar de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo, logrando de esta manera la optimización y la buena aplicación del agua.
5. Involucrar a los alumnos de la EANOR en las actividades de operación y mantenimiento del sistema de riego contribuyendo así con el proceso de enseñanza-aprendizaje de la institución y al buen funcionamiento del sistema.
6. Por ser la EANOR una institución educativa que se dedica a la formación de Peritos Agrónomos, es indispensable que se posean áreas con diferentes sistemas de aplicación de agua tales como: riego de superficie, riego por aspersión, por micro-aspersión y por nebulización, y donde el estudiante conozca ventajas y desventajas de los mismos.
7. De acuerdo a las características químicas del suelo, se recomienda que en los programas de fertilización se contemplen fertilizantes que tengan reacción ácida.
8. Para reducir el efecto negativo que se provocará al suelo y a las aguas subterráneas, se recomienda que los agroquímicos que se utilicen se apliquen en las dosis adecuadas.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Andrade, RA. 1974. Los estudios de suelos: la planificación general del uso de la tierra. El Salvador, CIDIAT. 114 p.
2. ENCA (Escuela Nacional Central de Agricultura, GT). 1997. Planeación estratégica. Barcena, Villa Nueva, Guatemala. 28 p.
3. Fuentes Yagüe, JC. 1990. Técnicas de riego. Madrid, España, IRYDA. 351 p.
4. García Zeceña, EA. 1998. Diagnóstico general del Centro de Producción del ICTA, finca el Oasis, Estanzuela, Zacapa. Diagnóstico General. Ing. Agr. Guatemala, USAC, CUNORI. 64 p.
5. Gardner, WH. *et. al.* 1973. Física de suelos. México, UTHEA. 529 p.
6. González Salan, MR. 1980. Diagrama de la porosidad de 7 series de suelos del valle de La Fragua, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 63 p.
7. Grassi, CJ. 1975. Estimación de los usos consuntivos y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 88 p.
8. Guirola De la Rosa, CR. 2003. Elaboración de un manual de organización para una Escuela de Agricultura, Zacapa, Guatemala. Tesis Lic. Admón. Empresas. Guatemala, URL, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. 148 p.
9. Gurovich, LA. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. San José, Costa Rica, IICA. 433 p.
10. Holdridge, LR. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Costa Rica, IICA. 107 p. (Material Educativo no. 34).
11. IGM (Instituto Geográfico Militar, GT). 1987. Mapa topográfico república de Guatemala; hoja cartográfica Zacapa no. 2250-I, Serie E. 754. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
12. Medina San Juan, JA. 1979. Riego por goteo: teoría y práctica. Madrid, España, Mundi-Prensa. 201 p.
13. Observatorio Climatológico Nacional, GT. 2000. Datos climatológicos del valle de La Fragua, Zacapa; estación tipo "A", clave 78649, Estanzuela, Zacapa. Guatemala. s.p.
14. Peña, I De la 1976. Calidad de las aguas de riego. Guatemala, Ministerio de Agricultura. 32 p. (Memorando Técnico no. 2).
15. Razuri, RL. 1998. Riego por goteo. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 142 p.

16. Rojas, RM. 1982. Manual de riego por aspersión. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 135 p.
17. Sagastume García, DA. 2001. Diagnóstico general de la EANOR, Llanos de La Fragua, Zacapa. Diagnóstico EPSA. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 45 p.
18. Sandoval Illescas, JE. 1977. Diseño de dos sistemas de riego (aspersión y goteo) para el campo experimental de la Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 72 p.
19. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 72 p.
20. Simmons, CS; Tarano, JM; Pinto, JH. 1954. Reconocimiento de los suelos de los Llanos de La Fragua, Zacapa. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional. 110 p.
21. Valverde, JC. 1988. Riego y drenaje. San José, Costa Rica, EUNED. 223 p.
22. Zimmerman, JD. 1982. El riego. Trad. Guillermo Fernández. México, CECOSA. 604 p.

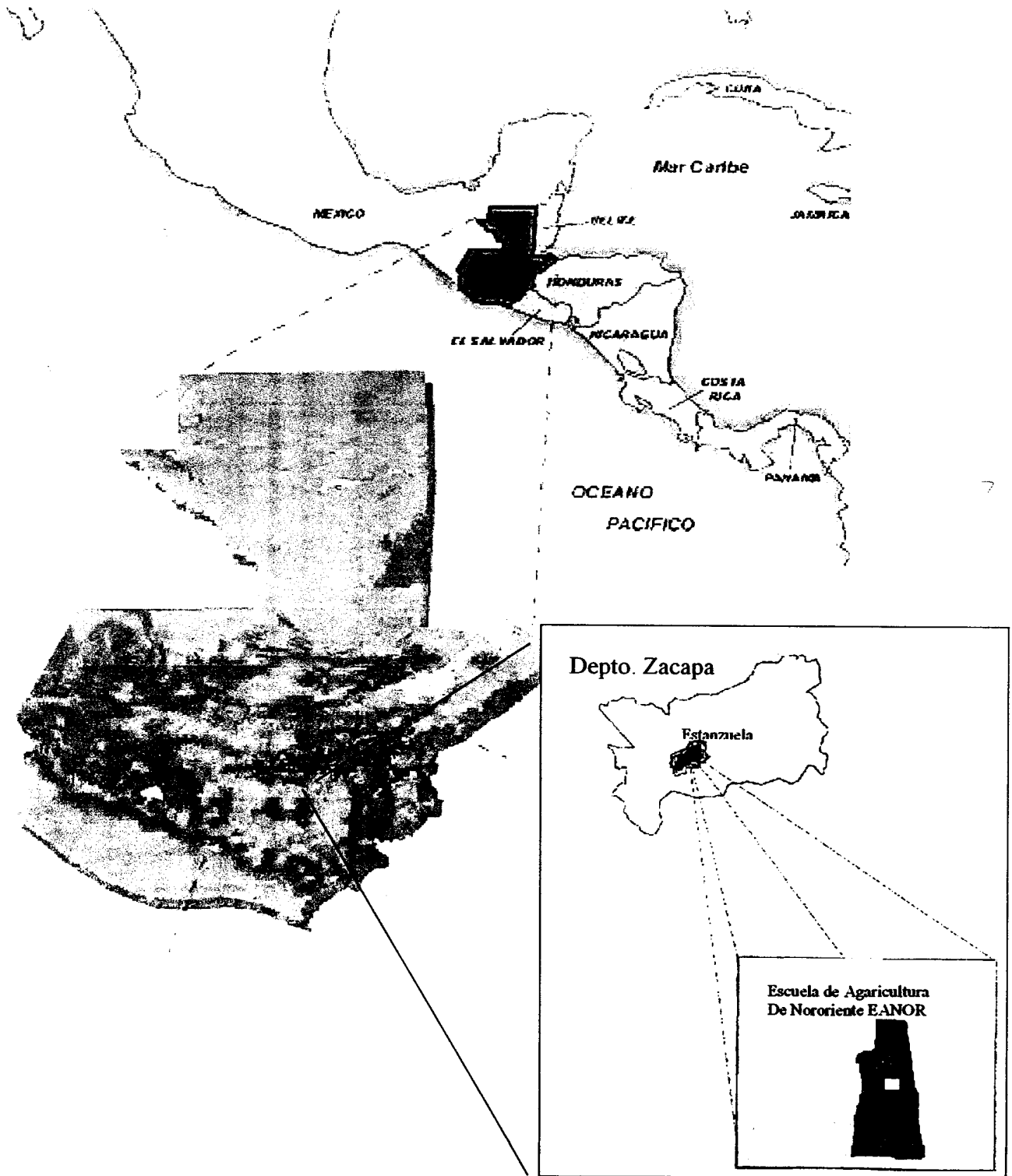


Bo.

Rolando Barrios.

10. ANEXOS

Figura 2A. Ubicación del Proyecto



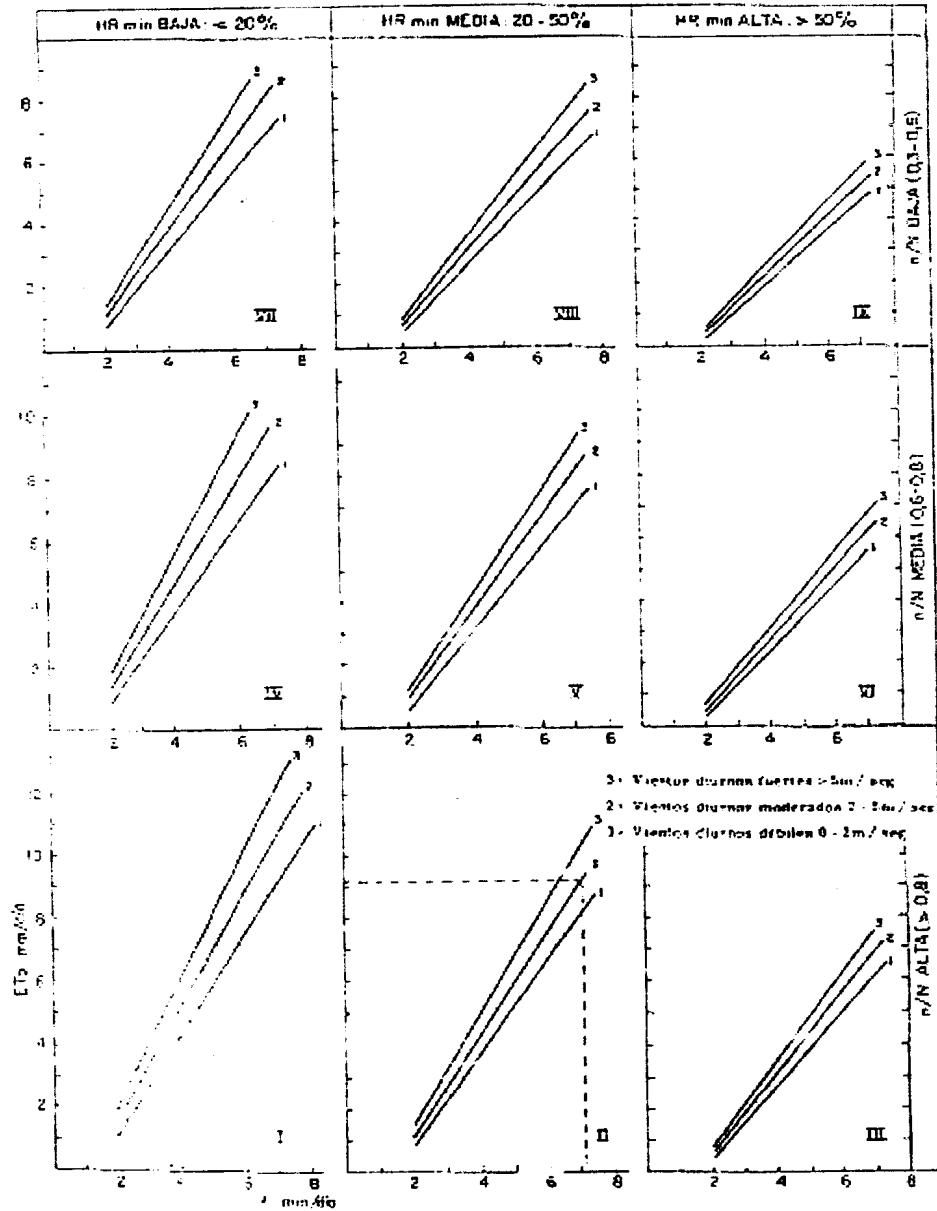


Figura 3A. Predicción de la ETO (Eje de ordenadas) a partir del factor f de Blaney-Criddle (Eje de Abscisas), para diferentes condiciones de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diurnos (FAO). (4)

CUADRO 17A. Coeficiente de reducción F para tubería de múltiples salidas.

No. de salidas	F	No. de salidas	F	No. de Salidas	F
1	1	11	0.392	22	0.366
2	0.634	12	0.382	24	0.366
3	0.528	13	0.384	26	0.364
4	0.480	14	0.381	28	0.363
5	0.451	15	0.379	30	0.362
6	0.433	16	0.377	35	0.359
7	0.419	17	0.375	40	0.357
8	0.410	18	0.373	50	0.355
9	0.402	19	0.372	100	0.350
10	0.396	20	0.370	Mas de 100	0.345

FUENTE: Riego por goteo. Teoría y Práctica. Ing. Agr. Medina San Juan.

CUADRO 18A. Nomenclatura climatológica.

HUMEDAD RHmin: humedad relativa mínima Blaney-Criddle (I)		VIENTO GENERAL		RADIACION Blaney-Criddle (I)	
RANGO	PORCENTAJE	RANGO	VELOCIDAD	RANGO	INSOLACION n/N
Baja	< 20 %	Débil	< 2 m/seg	Baja	< 0.60
Media	20 - 50 %	Moderado	2 - 5 m/seg	Media	0.60 - 0.80
Alta	> 50 %	Fuerte	5 - 8 m/seg	Alta	> 0.80
		Muy fuerte	> 8 m/seg		

FUENTE: Técnicas de riego. Ing. Agr. Fuentes Yague, JL.

TABLA 3^A

Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo.

Espaciamiento entre laterales [m]	Descarga del Gotero [l/h]														
	Menos de 1.5			2			4			8			Más de 10		
	Textura del Suelo %)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	Espaciamiento de los goteros sobre el lateral de [m]														
0.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1.0	0.6	1.0	1.3	1.0	1.3	1.7	1.3	1.6	2.0	
Porcentaje del área bajo riego (estimado) [%]															
0.5	38	38	100	53	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1.0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1.2	26	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1.5	20	47	71	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2.0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2.5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3.0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3.5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4.0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4.5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5.0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6.0	5	12	20	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

G = Textura Gruesa, Arenosa.
M = Textura Mediana, Franca.
F = Textura Fina, Arcillosa

Kalbarl & Karmas Co., 1975 - Trickle Irrigation Design.
Ran. Bird-Sprinkler Manufacturing Co., California, U.S.A.

Figura 4A. Nomograma para el diseño de laterales

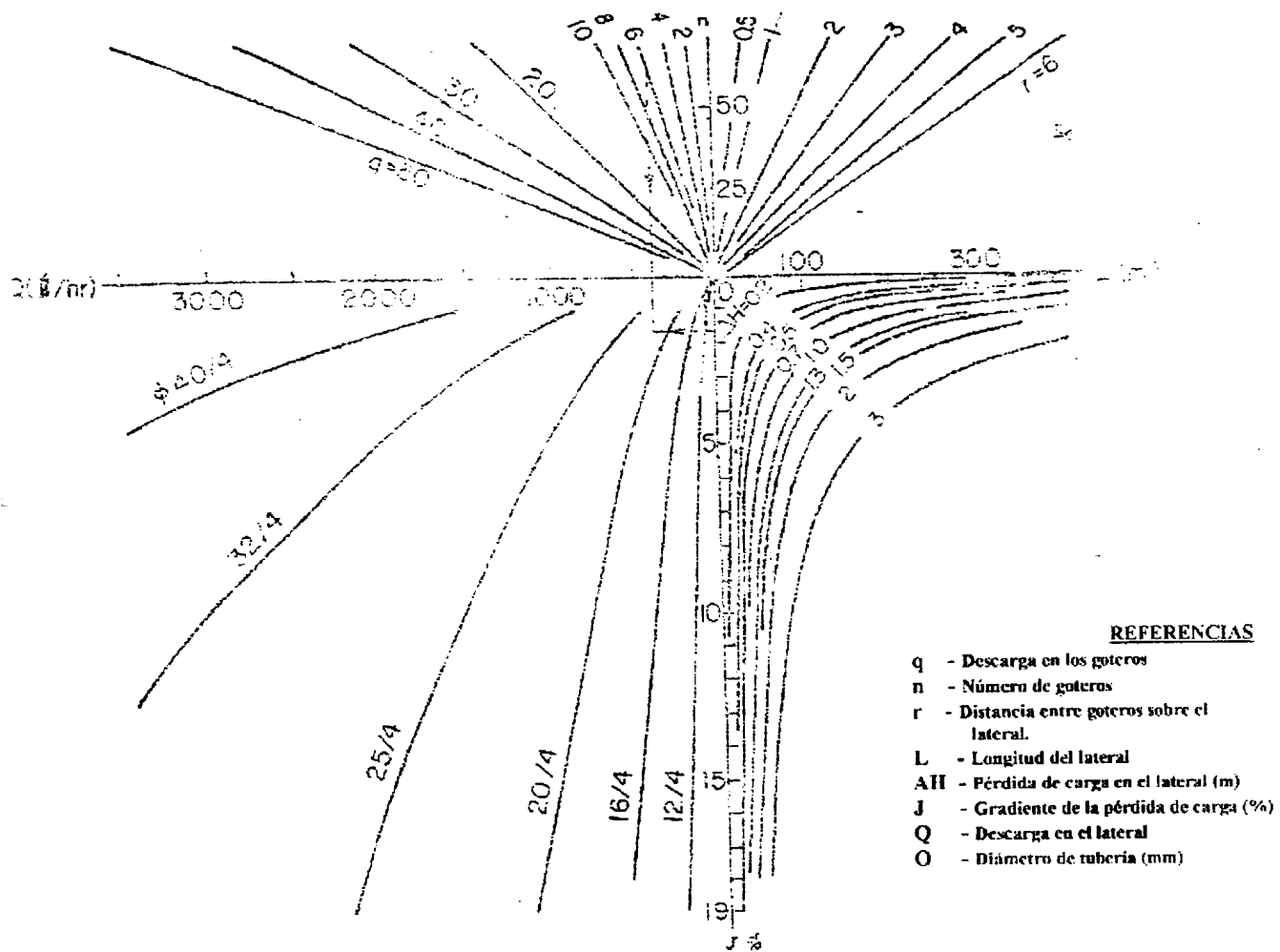
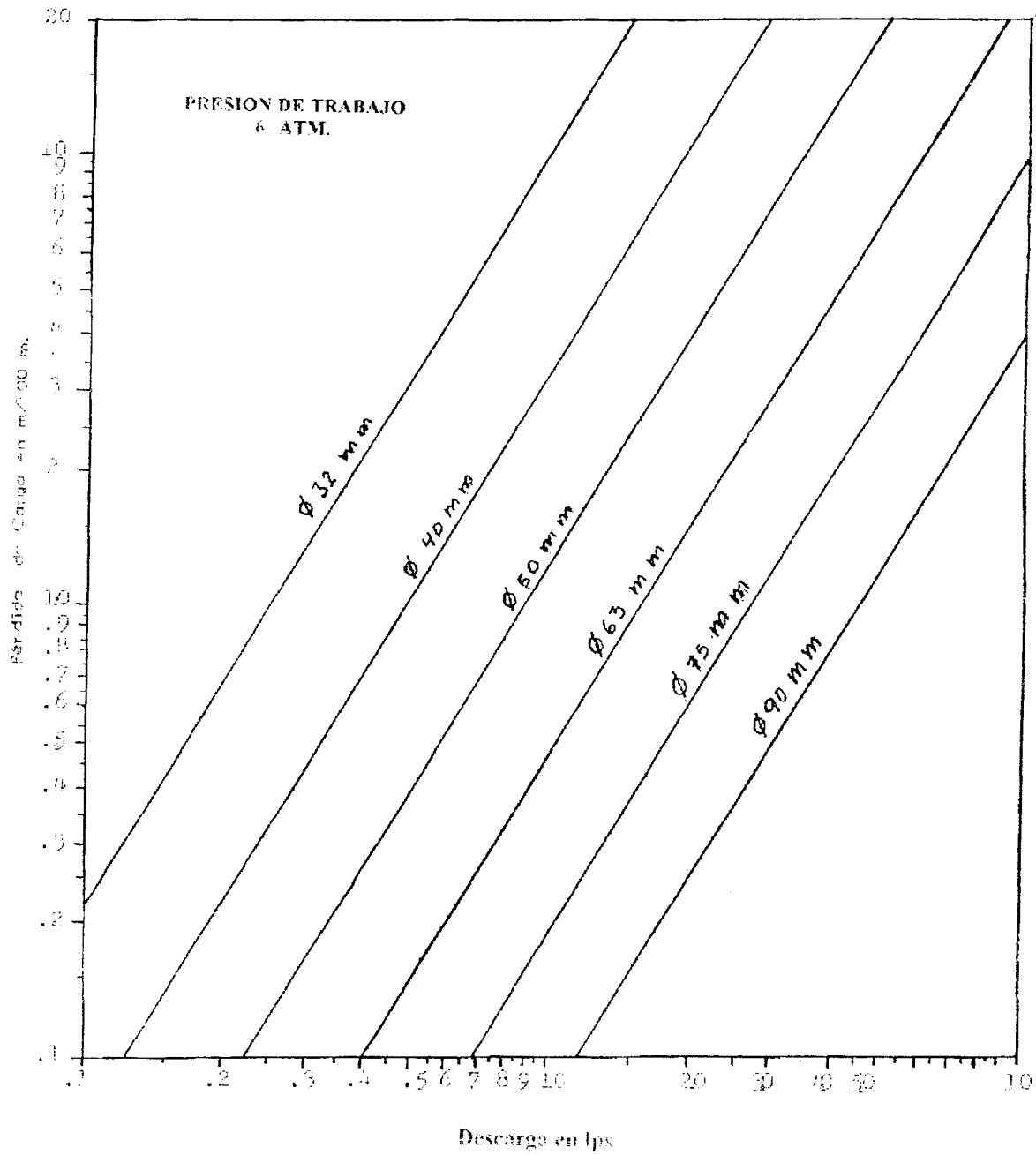
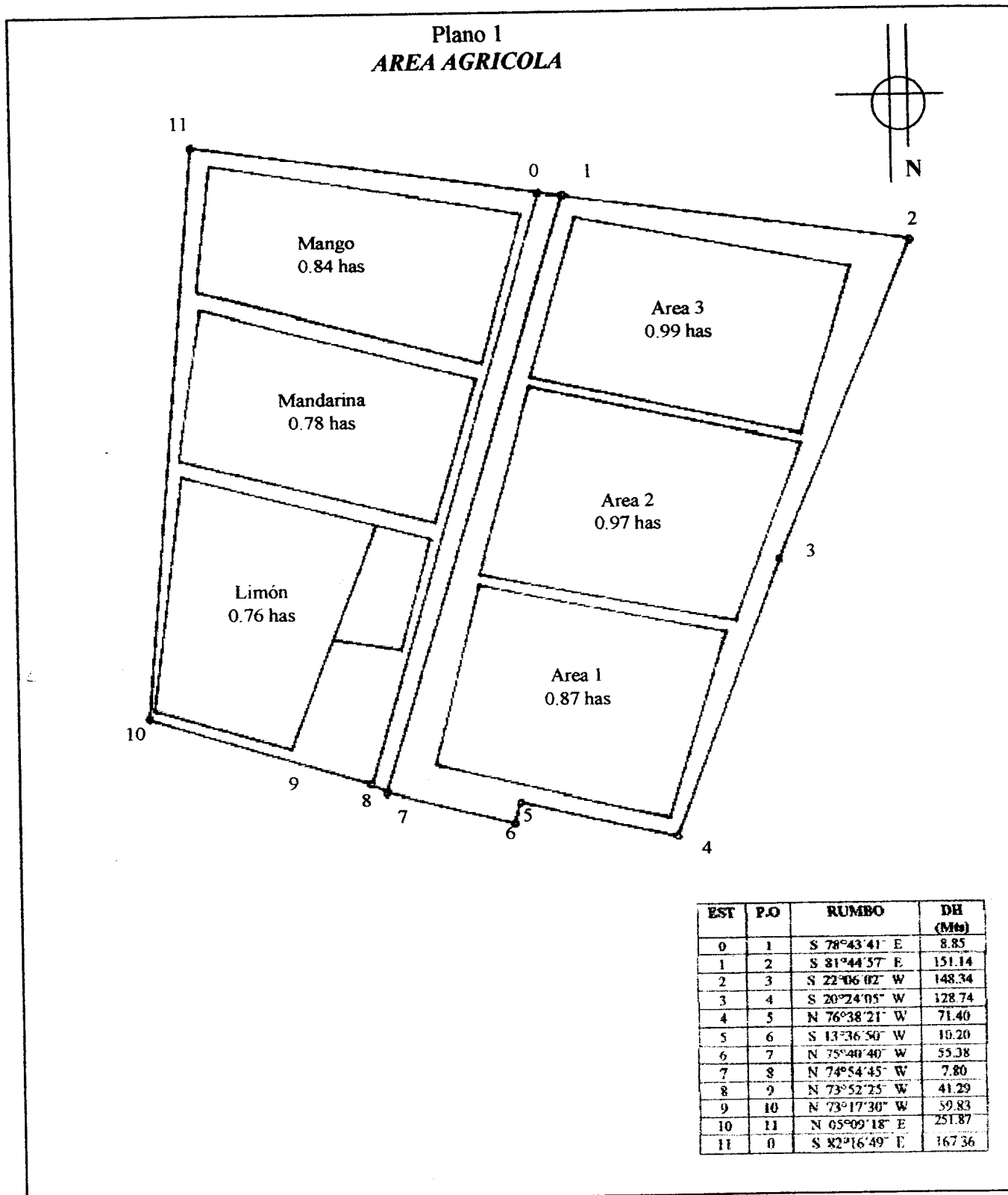


Figura 5A. Pérdidas de carga en tubería rígida de polietileno o poliducto, para varios diámetros, para diseñar tubería múltiple y principal

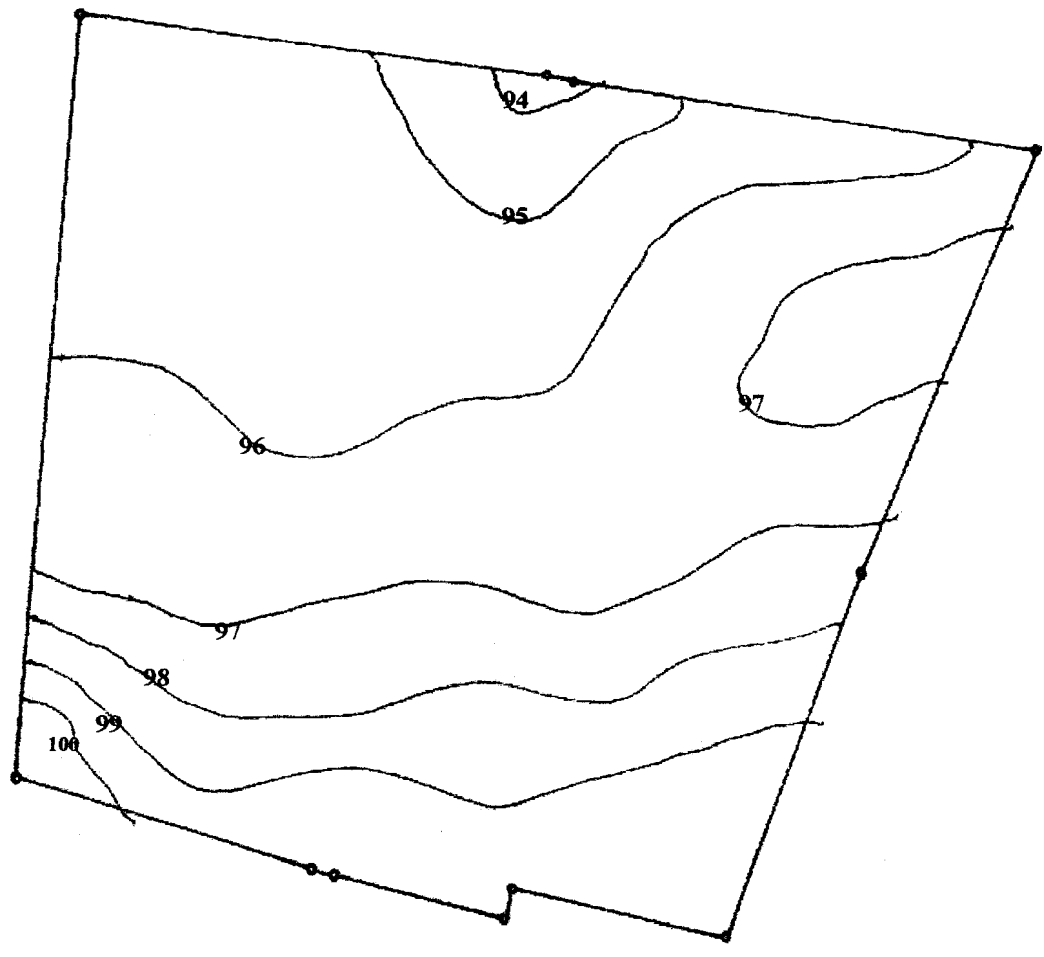
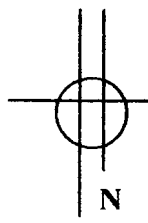




EST	P.O	RUMBO	DH (Mts)
0	1	S 78°43'41" E	8.85
1	2	S 81°44'57" E	151.14
2	3	S 22°06'02" W	148.34
3	4	S 20°24'05" W	128.74
4	5	N 76°38'21" W	71.40
5	6	S 13°36'50" W	10.20
6	7	N 75°40'40" W	55.38
7	8	N 74°54'45" W	7.80
8	9	N 73°52'25" W	41.29
9	10	N 73°17'30" W	59.83
10	11	N 65°09'18" E	251.87
11	0	S 82°16'49" E	167.36

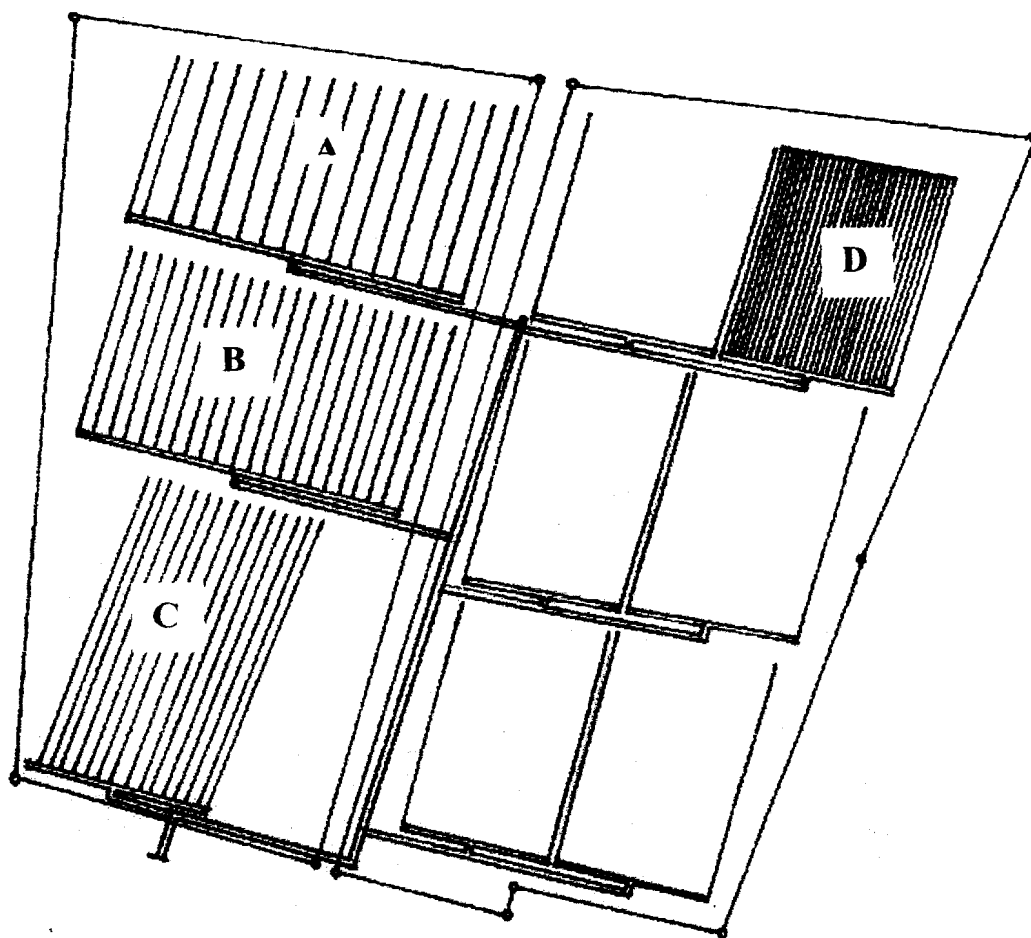
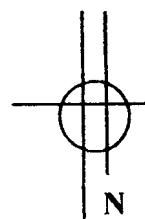
ESCUELA DE AGRICULTURA DE NORORIENTE EANOR - ZACAPA	MAPA TOPOGRAFICO GENERAL	
	ERLIN A. MIRANDA R.	SEPTIEMBRE 2003
ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEÓ	AREA 7.20 has	FAUSAC Escala 1:2,500
	1 4	

Plano 2
AREA AGRICOLA



ESCUELA DE AGRICULTURA DE NORORIENTE EANOR - ZACAPA	MAPA CURVAS A NIVEL		
	ERLIN A. MIRANDA R.		SEPTIEMBRE 2003
ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	AREA 7.20 has	FAUSAC	2
		Escala 1:2,500	

Plano 3
AREA AGRICOLA



Referencias

A = Mango
B = Mandarina
C = Limón
D = Maiz

ESCUELA DE AGRICULTURA DE
NORORIENTE EANOR - ZACAPA

MAPA CONDUCCION Y DISTRIBUCION
DE AGUA

ERLIN A. MIRANDA R.

SEPTIEMBRE 2003

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

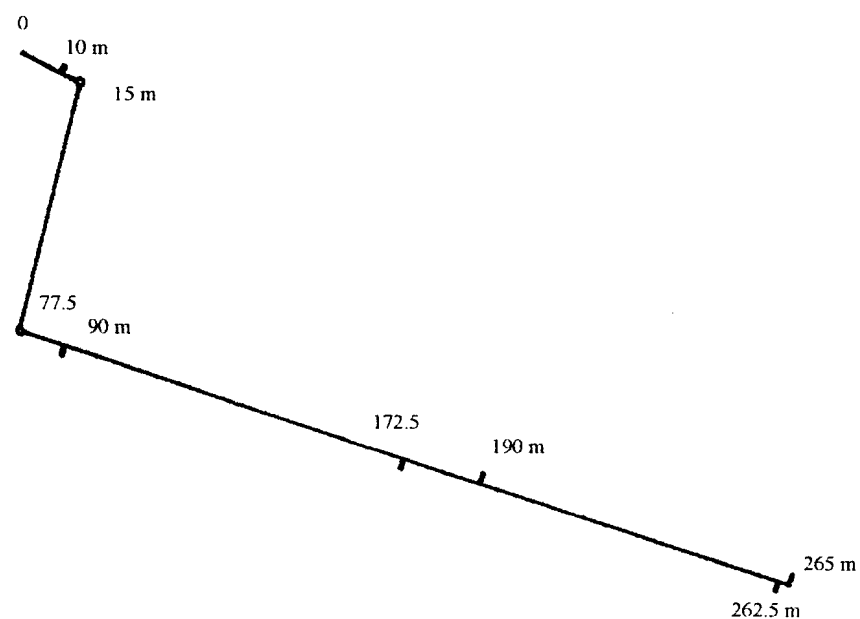
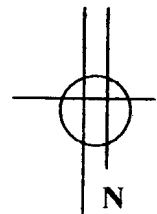
AREA
7.20 has

FAUSAC

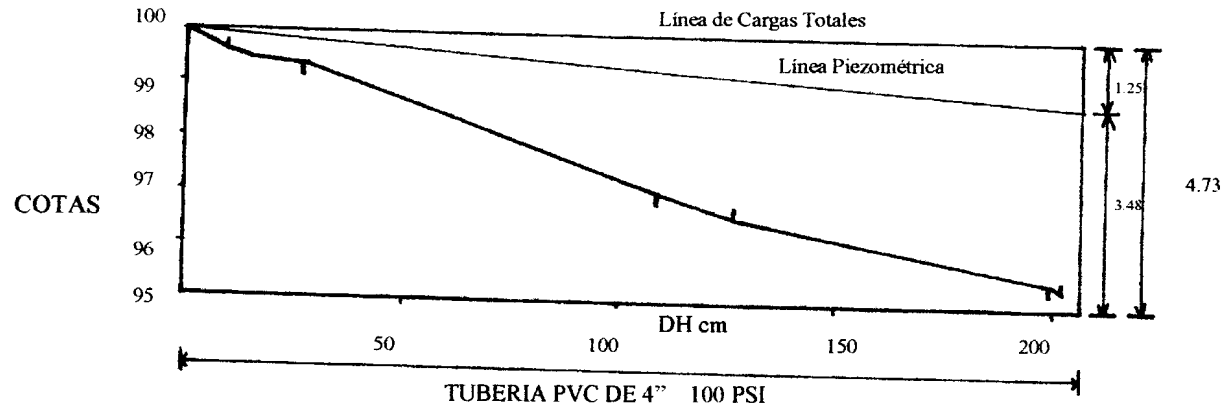
Escala
1:2,500

3

4



PLANTA DE TRAMO DE TUBERIA PRINCIPAL PVC



■ = Conexión a tubería secundaria

ESCUELA DE AGRICULTURA DE NORORIENTE EANOR - ZACAPA	PERFIL DEL TERRENO		
	ERLIN A. MIRANDA R.		SEPTIEMBRE 2003
ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	AREA 7.20 has	FAUSAC	4
		Escala 1:1,185	

TABLA 4A. CALCULOS DEL DISEÑO AGRONOMICO E HIDRAULICO PARA EL CULTIVO DEL MAIZ

=====

DISEÑO AGRONOMICO:

MAIZ:

Lámina de agua disponible:

$$\begin{aligned} \text{LHA} : (25.92 - 13.05) (1.3333) (0.30 \text{ mt}) &= 5.15 \text{ cm} \\ (27.92 - 16.43) (1.3333) (0.30 \text{ mt}) &= 4.60 \text{ cm} \\ &= \underline{9.75 \text{ cm}} \end{aligned}$$

Lámina de riego:

$$\text{Idx} : (0.20) (97.50 \text{ mm}) (0.70) = \mathbf{13.65 \text{ mm}}$$

Intervalo entre riegos:

$$\text{li} : \frac{13.65 \text{ mm}}{5 \text{ mm/día}} = 2.73 \rightarrow \mathbf{2 \text{ días}}$$

Lámina neta de agua:

$$\text{Idn} : (2 \text{ días}) (5 \text{ mm/día}) = \mathbf{10 \text{ mm}}$$

Lámina de agua a aplicar:

$$\text{Id} : \frac{(100) (10 \text{ mm})}{(0.90) (92)} = \mathbf{12.08 \text{ mm}}$$

Duración del riego:

$$\text{It} : \frac{(1) (12.08 \text{ mm}) (0.50 \text{ m}) (1 \text{ m})}{1.5 \text{ lt/hr}} = \mathbf{4.03 \text{ hrs.}}$$

Unidades de operación:

$$\text{N} : \frac{(2 \text{ días}) (12 \text{ hrs})}{\boxed{4.03 \text{ hrs}}} = 5.96 \rightarrow \mathbf{6 \text{ unidades}}$$

Capacidad del sistema:

$$\text{Qs} : \frac{(2.78) (2.83 \text{ Ha}) (12.08 \text{ mm})}{(6) (4.03 \text{ hrs})} = \mathbf{3.93 \text{ Lps}}$$

=====

DISEÑO HIDRAULICO:

LATERALES:

Pérdidas de carga permisibles:

$$\Delta H_l : (0.80) (1.50 \text{ mt}) = \mathbf{1.20 \text{ mt}}$$

Longitud del lateral:

$$L_L = 75 \text{ mt (ver plano 1)}$$

Pérdidas de carga en el lateral:

$$J : \frac{(1.20 \text{ mt}) (100)}{75 \text{ mt}} = 1.60 \text{ m/100 m}$$

Número de goteros en el lateral:

$$N_e : \frac{75 \text{ mt}}{0.50 \text{ mt/gotero}} = 150 \text{ goteros}$$

Caudal en el lateral:

$$Q_L : (150 \text{ goteros}) (1.50 \text{ lt/hr}) = 225 \text{ lt/hr} \rightarrow 0.063 \text{ Lps}$$

Diámetro del lateral:

Trabajando en el nomograma (Fig. 4A) con todos los datos anteriores se obtuvo un diámetro de: **16 mm/4 atm**

MANIFOOLD:

Pérdidas de carga permisibles:

$$\Delta H_m : (0.20) (1.50 \text{ mt}) : 0.30 \text{ mt}$$

Caudal del manifold:

$$Q_m : (60) (0.063 \text{ Lps}) = 3.78 \text{ Lps}$$

Longitud del manifold:

$$L_m : (60 - 1) (1 \text{ mt}) = 59 \text{ mts}$$

Pérdidas de carga en el manifold:

$$J : \frac{(0.30 \text{ mt}) (100)}{(59 \text{ mt}) (0.354)} : 1.44 \text{ m/100 m}$$

Diámetro del manifold:

$$\varnothing_m : 75 \text{ mm (2.95 ")/6 atm, obtenido de la Fig. 5A.}$$

TABLA 5A. Cálculo agrónomico del cultivo de maíz por medio de un programa de riego.

Riego de cultivos

Sistema de riego:		Maiz	
		Goteo	
	UNIDAD		VALOR
A (area bruta)	Ha		3.00
Sr (area neta bajo riego)	Ha		2.83
Tipo de suelo	textura		Fr.ArAre
Cc (Capacidad de campo)	%		26.92
Pm (Punto de marchites)	%		14.74
Pea (Peso específico aparente)	(gr/cm ³)		1.3333
Inf (Infiltración básica)	mm/h		6
Pr (profundidad efectiva del suelo)	m		0.70
Etan (Evaporación media diaria del tanque clase "A")	mm/d		5.00
Viento > 3m/s	d(h)a(h)		
HR (humedad relativa)	%		70
Fuente de agua			Pozo
Caudal	(m ³ /h)		40.06
Calidad	mg/lit		
Kc (El coeficiente del cultivo)	coeficiente		1
Zr (Prof. ef. de raíces)	m		0.6
Pa (max. agua aprovechable)	%		20%
dh (Distancia e/hileras)	m		1.00
dp (Distancia e/plantas)	m		0.40
Espaciamiento- area	m ²		0.40
Método de riego			Goteo
Ef (Eficiencia del sistema)	%		90.00%
Emisor	tipo		S.C.
Presión de operación	m(altura)		10.00
qe (Caudal del emisor)	(L/h)		1.50
dl (Espaciamiento entre laterales)	m		1.00
de (Espaciamiento entre emisores)	m		0.50
Espaciamiento de la red	m ²		0.50
d Diámetro efectivo/humedecido	m		0.60
Angulo de cobertura	grados		360.00
Hd (Max. horas de operación por día)	H		12.00
Días de paro	d		0.00
Ld _{zr} (Lamina disponible de la zona radicular)	mm/zr		97.44
Vd _{zr} (Volumen de agua disponible -zona radicular)	(m ³ /Ha/zr)		974.38
Laz _r (Lamina aprov. a la prof. radicular)	mm/zr	56.5%	19.49
Par (Porcentaje del area bajo riego)	%	0.28	56.5%
Phr (Precipitación horaria del sistema de riego)	mm/h	CIERTO	5
Ktan (Coeficiente del tanque clase "A")			1.00

ETc (Uso consuntivo)	mm/dia		5,00
Ir (Intervalo de riego)	d		2,20
Ir aj(Intervalo de riego aj.)	d		2,00
CR (Ciclo de riego)	d		2,00
LR(aj) (Lamina de riego ajustado)	mm		17,69
Pa (Porcentaje del agua aprovechada)	%		18,16%
LB (Lamina bruta)	mm		19,66
DB (Dosis de riego bruta)	(m³/Ha)		111,11
Ht (Horas de riego por turno)	h/turno		3,70
Td (Max. numero de turnos de riego diarios)	turno/dia		3,24
Td aj(Max. numero de turnos de riego diarios ajustado)	turno/dia		3,00
Hd (Horas de riego por dia)	h/dia		11,11
Hc (Horas de turnos por ciclo)	h/ciclo		22,22
Tc (Numero de turnos por ciclo)	turnos/ciclo		6,00
St (Superficie bajo riego, por turno)	Ha/turno		0,47
DBt (Dosis de riego bruta por turno)	(m³/turno)		52
Qr (Caudal requerido)	(m³/h)		14
E_{mt} (Numero de emisores por turno)	e/turno		9,433
V_{Bc} (Volumen bruto por ciclo de riego)	(m³/ciclo)		314
Q_e (Caudal especifico)	(m³/Ha/h)		4,72



REF. Sem. 50/2004

FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA:

"ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE
RIEGO POR GOTEO PARA LA ESCUELA
DE AGRICULTURA DE NORORIENTE
(EANOR), LLANOS DE LA FRAGUA,
ZACAPA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE :

ERLIN ALCIDES MIRANDA ROSALES

CARNE:

9711265

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES : Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
Ing. Agr. David Haroldo Juárez Quim

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. José Rolando Lara Alecio
A S E S O R

Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes
A S E S O R

Ing. Agr. Carlos Alberto Cerdón Castañeda
A S E S O R

Dr. David Monterroso Salvatierra
DIRECTOR DEL IIA

IMPRIMASE

Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
DECANO

DMS/nm
c.c. Archivo
IIA

Control Académico APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.

TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: ilusac.edu.gt & <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central