

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

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE RIEGO EN LA UNIDAD DE RIEGO
LA PALMA, RIO HONDO, ZACAPA.

TESIS

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

POR

EMERIO ENECON PORTILLO CABRERA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, MARZO DE 1994.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

00
01
10/30/71

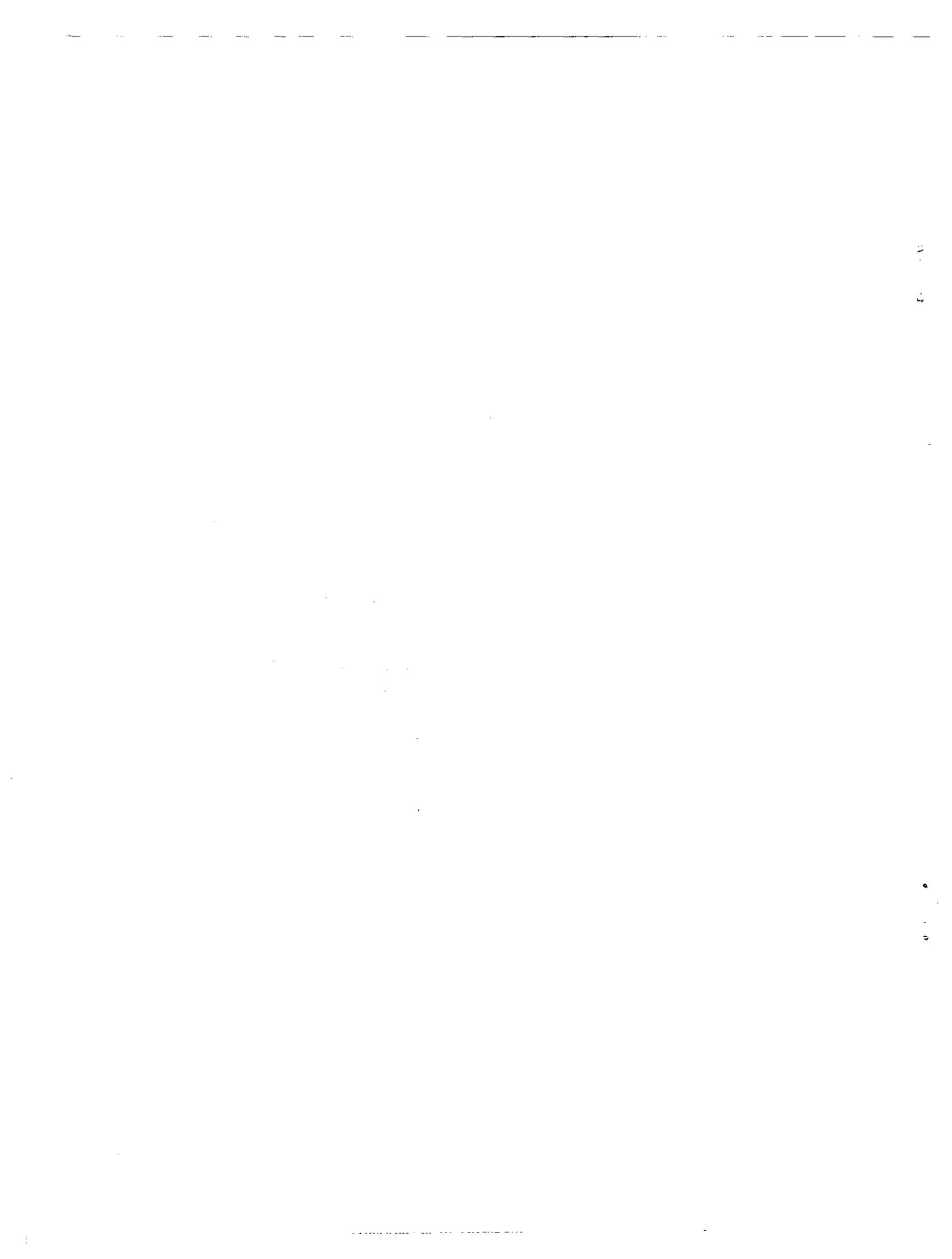
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

DR. ALFONSO FUENTES SORIA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	ING. AGR. EFRAIN MEDINA GUERRA
VOCAL I:	ING. AGR. MAYNOR ESTRADA ROSALES
VOCAL II:	ING. AGR. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL III:	ING. AGR. CARLOS ROBERTO MOTTA DE PAZ
VOCAL IV:	P. AGR. MILTON ABEL SANDOVAL GUERRA
VOCAL V:	BR. JUAN GERARDO DE LEON MONTENEGRO
SECRETARIO:	ING. AGR. ROMILIO ESTRADA MUY



Guatemala, Marzo de 1994.-

Señores
Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía,
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Presente.

Respetables señores:

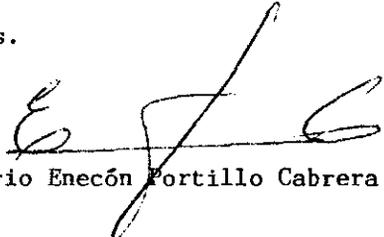
De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

" EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE RIEGO EN LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA, RIO HONDO, ZACAPA".

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agronomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Sin otro particular me suscribo de ustedes.

Atentamente,


Emerio Enecón Portillo Cabrera



TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA

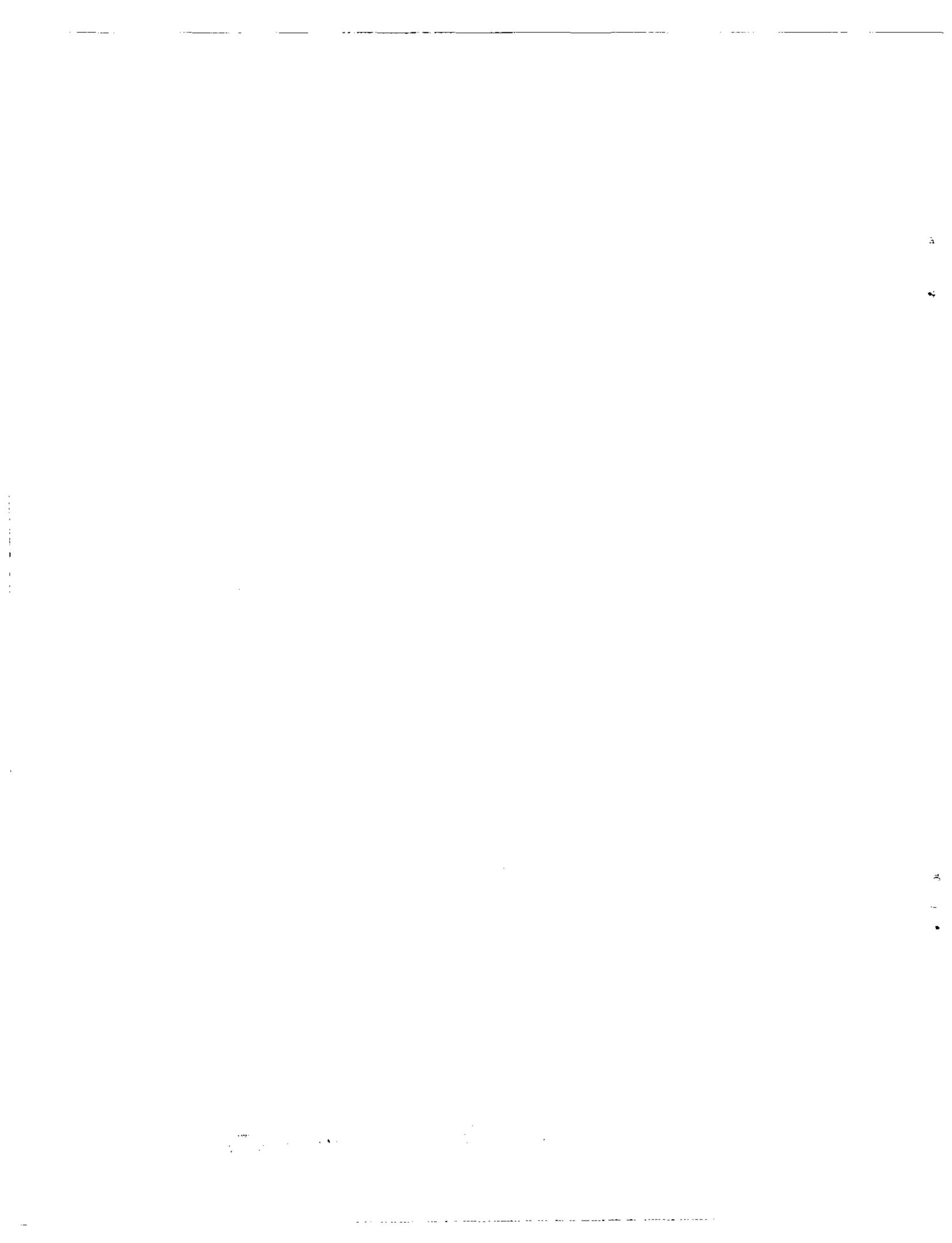
ESTANZUELA, ZACAPA

COLEGIO LA SALLE

UNIVERSIDAD DE CARLOS DE
GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



ACTO QUE DEDICO

A DIOS TODOPODEROSO

A MIS PADRES FRANCISCO ENECON PORTILLO
CARMEN CABRERA DE PORTILLO

A MI ESPOSA OLGA BEATRIZ PAZ DE PORTILLO

A MIS HIJOS ANA BEATRIZ, JOSE ROBERTO y
JOSE EMERIO

A MI HERMANO EDGAR ROLANDO PORTILLO CABRERA

A MI FAMILIA EN GENERAL.



RECONOCIMIENTO

EL AUTOR DESEA EXPRESAR SU AGRADECIMIENTO SINCERO A

ING. AGR. MSC. ROLANDO LARA ALECIO, POR LA EFICIENTE ORIENTACION,
ASESORIA Y REVISION DEL PRESENTE TRABAJO DE TESIS.

ING. AGR. EDWIN CONRADO ORELLANA, POR SU INCONDICIONAL APOYO Y
ASESORIA BRINDADA AL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACION.

EL PERSONAL TECNICO, ADMINISTRATIVO Y DE CAMPO DE LA UNIDAD DE
RIEGO LA PALMA, POR SU COOPERACION EN LA INVESTIGACION DE CAMPO.



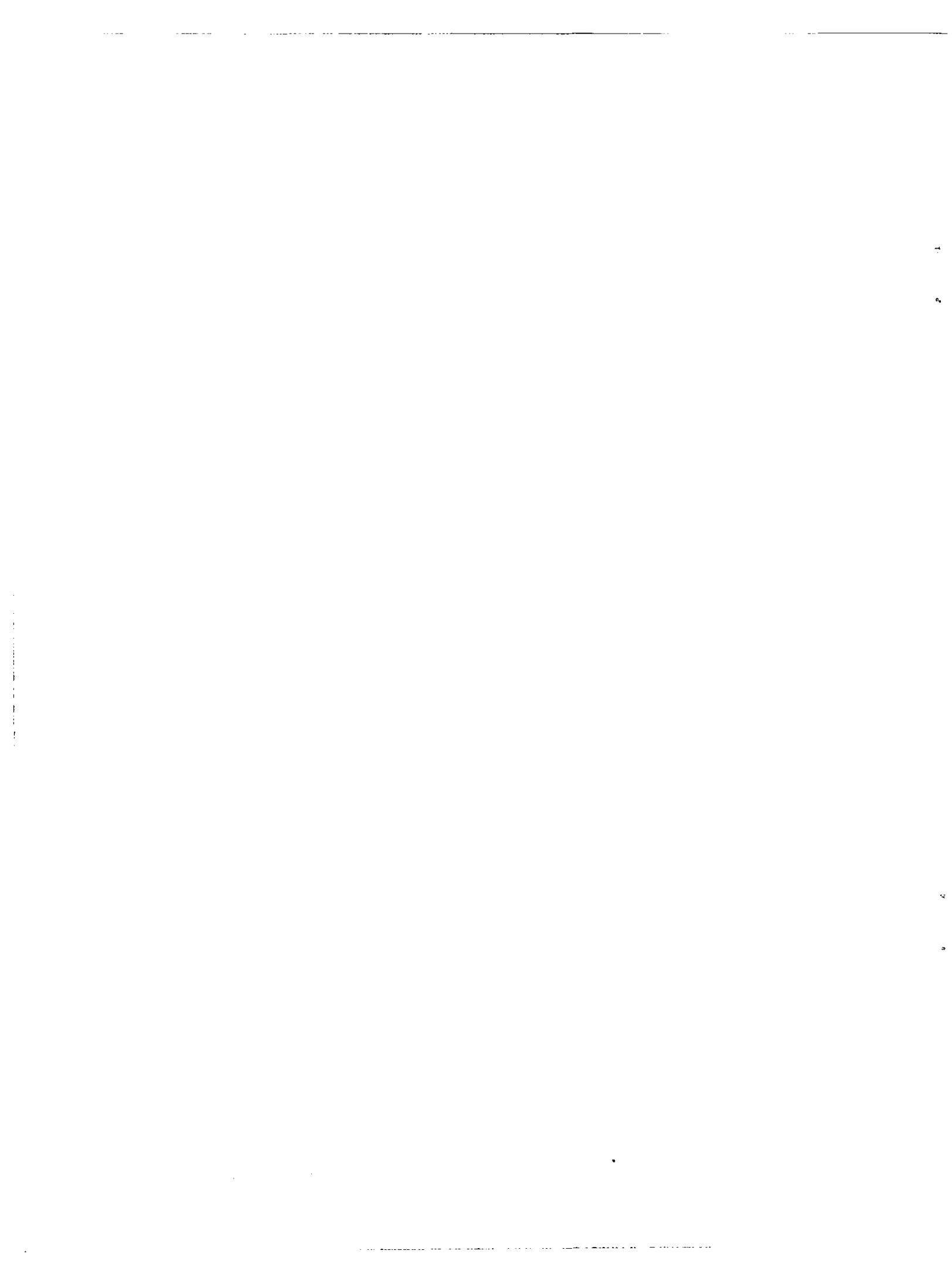
CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	x
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEORICO	4
3.1. MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1. Antecedentes del desarrollo del riego en Guatemala.	4
3.1.2. El riego superficial.	5
3.1.3. Evaluación de un sistema de riego.	7
3.1.4. Principales pérdidas y desperdicios de agua en la red de conducción de la unidad de riego.	7
3.1.5. Eficiencia global del sistema.	11
3.1.6. Medición del agua de riego.	12
3.1.7. Otras investigaciones sobre eficiencias de riego a nivel nacional e internacional.	20
3.2. MARCO REFERENCIAL	22
3.2.1. Descripción general del área de estudio.	22
4. OBJETIVOS	27
5. METODOLOGIA	28
5.1. Eficiencia global del sistema.	28
5.2. Cálculo de la eficiencia de conducción.	28
5.3. Cálculo de la eficiencia de aplicación.	32
5.4. Evaluación de la aplicación de agua a la parcela.	38
5.5. Encuesta a los usuarios de la unidad.	38
6. RESULTADOS Y DISCUSION	41
6.1. Cálculo de la eficiencia de conducción.	41
6.2. Cálculo de la eficiencia de aplicación.	43
6.3. Evaluación de la aplicación del agua a la parcela.	47
6.4. Encuesta a los agricultores-usuarios de la unidad de riego.	51
7. CONCLUSIONES	56
8. RECOMENDACIONES	58
9. BIBLIOGRAFIA	59
10. APENDICE	61



INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
1. Pérdidas de agua en riegos por gravedad.	10
2. Planta, isometría y dimensiones del medidor Balloffet.	17
3. Vertedor WSC1, detalle de construcción.	19
4. Localización geográfica de la unidad de riego La Palma.	23
5. Unidad de riego La Palma, longitud y distribución de los canales.	26
6. Esquema que muestra los puntos de aforo en los canales.	29
7. Profundidad para determinar la velocidad media del agua con molinete en el canal principal.	31
8. Profundidad para determinar la velocidad media del agua con molinete en los canales primarios y secundarios.	31
9. Esquema que muestra la localización de los aforadores Balloffet a la entrada y salida de la parcela.	35
10. Gráfica del comportamiento de la lámina bruta aplicada frente a la lámina neta de reposición de humedad.	44
11. Curvas de retención de humedad para cuatro suelos de la unidad de riego La Palma.	50
12. Area regada por año y cuotas de riego en la unidad de riego La Palma.	52
13. Porcentaje del área sembrada por cultivo en la unidad de riego La Palma.	53



INDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1. Tenor de descarga del vertedero WSC1 en metros cúbicos	18
2. Eficiencia de conducción y longitud de canales revestidos de la unidad de riego La Palma.	41
3. Eficiencia de conducción y longitud de canales no revestidos de la unidad de riego La Palma.	42
4. Eficiencia de aplicación de agua por parcela y por cultivo en la unidad de riego La Palma.	43
5. Datos sobre las pérdidas por percolación profunda y esrrentía, por parcela.	45
6. Datos sobre la aplicación de volúmenes de agua por parcela.	46
7. Datos sobre el área de las parcelas estudiadas, caudales introducidos y tiempo usado por el agricultor para regar 1 manzana de terreno.	47
8. Datos sobre los parámetros de velocidad de infiltración y tiempo de infiltración de la lámina neta de reposición para llevar a capacidad de campo cada una de las parcelas estudiadas.	48
9. Superficie total sembrada por años y por cultivo, cuota por servicio de riego en la unidad de riego La Palma.	51
10. Criterios utilizados por el agricultor para quitar el agua durante el riego (% de usuarios).	55
11A. Registro de caudales y % de eficiencia de conducción.	62
12A. Cálculo de la velocidad de infiltración por el método de entradas y salidas.	63
13A. Constantes de humedad y características físicas de las parcelas estudiadas.	64

1
2

3
4

5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE RIEGO EN LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA,
RIO HONDO, ZACAPA.

EVALUATION OF THE IRRIGATION EFFICIENCY IN LA PALMA DISTRICT,
RIO HONDO, ZACAPA.

R E S U M E N

Actualmente se encuentran en operación 26 unidades de riego a nivel nacional administradas por el estado, con las cuales se cubre una área potencial de 15,000 hectáreas regadas por sistemas de riego por gravedad ó bombeo-gravedad, cuyas principales características es la baja eficiencia de riego, ocasionando grandes pérdidas de agua a causa del mal estado físico que presentan los canales y el inadecuado manejo del agua a nivel parcelario.

El presente trabajo de investigación se realizó en la Unidad de Riego La Palma, en el municipio de Río Hondo, del departamento de Zacapa, con el propósito de evaluar las eficiencias operacionales del sistema, en la unidad de riego a fin de proponer las recomendaciones adecuadas para mejorar el uso y manejo del agua.

La metodología usada fué la siguiente: La eficiencia de conducción se calculó mediante aforos realizados en los canales principal, primarios y secundarios, lo que permitió conocer el porcentaje de volumen de agua entregado en la tomagranja respecto a el derivado en la fuente. La eficiencia de aplicación se determinó en parcelas de agricultores voluntarios en la cuales se realizaron trabajos como la medición de caudales de agua escurrida superficialmente por el método de Entradas y Salidas y los volúmenes de agua perdidos por percolación profunda. Se hizo el cálculo de la lámina bruta aplicada y la lámina neta de reposición de agua para llevar a capacidad de campo la zona radicular de los cultivos.

Se realizaron muestreos de suelo con el propósito de conocer el comportamiento del agua aplicada a las parcelas, cuyos parámetros fueron: la velocidad de infiltración y las curvas características de retención de humedad a diferentes tensiones en atmósferas. Se obtuvo una muestra estadística del número total de usuarios de la unidad, siendo esta de 42 agricultores-usuarios a los cuales se les pasó una boleta de encuesta para determinar el nivel de conocimientos en riego que poseen dichos agricultores.

La eficiencia total del sistema de riego se obtuvo del producto del promedio de la eficiencia de conducción por el promedio de la eficiencia de aplicación.

Se concluyó que la eficiencia global del sistema es de 31.23%, siendo sus componentes: Eficiencia de conducción 76% y Eficiencia de aplicación 41.1%. Las pérdidas por conducción obedecen a la total carencia de compuertas en las tomagranjas, daños físicos como perforaciones y grietas en las paredes de los canales revestidos, así como malezas y azolvamientos en los canales no revestidos lo que provoca desbordamientos del agua de riego. Las principales causas de la baja eficiencia de aplicación se debe al exceso de aplicación de agua en cada riego, el agricultor no conoce los requerimientos hídricos de su cultivo, creando una sobre-aplicación de agua la que se pierde por percolación profunda y escorrentía superficial.

Entre las principales recomendaciones están: Reglamentar el establecimiento de compuertas en las tomagranjas; revestir los canales de tierra; desarrollar un programa de capacitación orientado a que los usuarios del riego mejoren el uso y manejo del agua y se recomienda que los fondos que se generan por cobro de cuotas de riego, sean reinvertidos en forma total en la misma ya que esto coadyuvará a que la unidad funcione con alguna solvencia económica.

1. INTRODUCCION

En nuestro país actualmente se encuentran en operación 26 unidades de riego administradas por el estado, con las cuales se cubre una área potencial de 15,000 hectáreas regadas por sistemas de riego por gravedad ó bombeo-gravedad.

Sin embargo en toda unidad de riego, existen pérdidas de agua, unas a nivel del sistema (presas, canales y obras menores) y las otras a nivel de parcelas, influenciadas por el método de riego, suelos, topografía y habilidad de los regadores (17).

En tal sentido, deben ser los administradores de las unidades de riego y los agricultores, quienes mediante técnicas adecuadas, incrementen la eficiencia en los sistemas de conducción del agua, así como es necesario aumentar la eficiencia de aplicación en la parcela, donde existen pérdidas por escorrentía superficial, que a su vez recargan innecesariamente los sistemas de drenaje y por percolación profunda, más allá de las necesidades de lavado que tienen los suelos.

En la unidad de riego La Palma, el área de diseño es de 156 hectáreas de las cuales se riegan actualmente 112, los factores que inciden en la baja cobertura del área a regar son las pérdidas de agua que se dan en la conducción, distribución y aplicación del agua de riego, ligado a estos factores está la falta de organización de los agricultores. El presente trabajo de investigación, tiene el propósito de evaluar las eficiencias operacionales del sistema en la unidad de riego a fin de proponer algunas recomendaciones y así contribuir a que se realice un uso racional y adecuado del recurso agua. Por lo que es necesario hacer evaluaciones de la eficiencia de conducción y aplicación de agua de riego, así como evaluar el nivel tecnológico del uso y manejo del agua en las parcelas por parte de los agricultores-usuarios de la unidad de riego La Palma.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el departamento de Zacapa, donde el agua es muy escasa, el aprovechamiento de éste recurso exige una planeación, uso y manejo inteligente, a fin de utilizarla de manera adecuada para obtener todos los beneficios que pueda proporcionar.

La Unidad de Riego La Palma, forma parte del Distrito de Riego No. III, de la región Nor-oriental. Dicha unidad de riego se localiza en el municipio de Río Hondo, del departamento de Zacapa; la cual inició sus operaciones de servicio de riego en el año 1973 y desde entonces no se ha realizado ningún tipo de evaluación que establezca la eficiencia en el manejo del agua y que de pautas para mejorar el funcionamiento de la misma.

Actualmente, se riegan 112 hectáreas, lo que representa el 72% del área de diseño. La baja eficiencia en el manejo del agua que se da dentro de la unidad ha ocasionado considerables pérdidas del recurso agua y, por ende, la subutilización de la infraestructura; esto ha provocado que en la unidad de riego La Palma, el área de diseño no llegue a ser regada en su totalidad. Un factor importante para que la unidad cumpla con sus objetivos es evaluar y cuantificar la eficiencia de riego con la cuál esta operando el sistema.

A finales del año 1991, las actuales autoridades del Ministerio de Agricultura, crearon el Proyecto Transferencia de Unidades de Riego, cuyos principales objetivos es tranferir la unidad a los agricultores-usuarios, lo que permitirá la participación activa de dichos usuarios en la administración de las unidades de riego. La unidad de riego La Palma, se encuentra en proceso de transferencia a los agricultores-usuarios, siendo necesario conocer la eficiencia de conducción y aplicación de agua, cuantificar las pérdidas por escurrimiento superficial y pérdidas por percolación profunda. Por parte de

los usuarios se señala la falta de experiencia en el conocimiento de técnicas adecuadas de riego en la parcela, por lo que es necesario evaluar el nivel tecnológico utilizado por los agricultores-usuarios para que así ambas partes, Ministerio de Agricultura y agricultores, conozcan las condiciones en que en tregan y reciben la unidad de riego.

3. MARCO TEORICO

3.1. MARCO CONCEPTUAL.

3.1.1. ANTECEDENTES DEL DESARROLLO DEL RIEGO EN GUATEMALA.

El inicio del desarrollo del riego en Guatemala ha estado ligado al sector privado, quién incorporó áreas agrícolas con riego a la producción desde el siglo pasado a través de los esfuerzos de pequeños y medianos agricultores. Grandes compañías bananeras se establecieron en la región costera del pacífico (Standar Fruit Co. y Compañía agricola de Guatemala) y del atlántico (United Fruit Co.) a partir del año 1930, donde practicaban un riego complementario en la estación seca. Se estima que en 1952 existían 31,500 hectáreas bajo riego en todo el país (21).

En 1957 a través del Departamento de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Agricultura, el gobierno inició la elaboración de proyectos de riego (Asunción Mita, Palo Amontonado, Lo de Ramirez, Los Oco-tes, San Jerónimo, La Fragua y la Laguna del Hoyo). También se realizó el único proyecto de drenaje agrícola en la Laguna de Retana. En el período de 1964 a 1980 se ejecutaron 27 proyectos, gran parte de ellos con financiamiento externo. En los últimos años la actividad de el gobierno ha sido mínima en la realización de proyectos de mediana escala (21).

El sector privado para el período de 1964 a 1979 continúa un crecimiento lento pero sostenido. En 1979 con financiamiento de AID, se inicia un programa de miniriego que consiste en incorporar tierras de magnitud variable a una agricultura con riego, mediante el aprovechamiento de la energía de posición (captación y conducción de agua superficial con tubería PVC) para generar presión que permita regar por

aspersión; estos proyectos están orientados a beneficiar a pequeños y medianos agricultores y han sido un modelo muy exitoso por los bajos costos y rentabilidad económica y social que han generado en las comunidades que lo practican (21).

Posteriores proyectos con abastecimiento de agua subterránea con pozos tubulares no han dado similares resultados por diseños no adecuados y altos costos de energía eléctrica. Hasta 1989 se habían ejecutado 307 proyectos cubriendo 2490 hectáreas. Se considera que la falta de un programa en apoyo al desarrollo de la agricultura bajo riego y drenaje y la generación y difusión de la tecnología mejorada, han sido unas de las principales razones de su lento desarrollo. En la actualidad el área con infraestructura de riego y drenaje en Guatemala es de aproximadamente 76,000 hectáreas, de las cuales 61,000 hectáreas corresponden al sector privado y 15,000 al sector público. El sector privado administra el 80% de las áreas bajo riego en 477 sistemas de riego incluido el miniriego y el sector público un 20% con 27 unidades de riego (21).

3.1.2. EL RIEGO SUPERFICIAL.

Israelsen & Hansen (13), dicen que el riego es la aplicación artificial del agua con el fin de suministrar la humedad necesaria para el desarrollo de las plantas.

El riego superficial consiste en desviar una corriente de agua desde la fuente abastecedora de un campo, hacia un surco para permitirle que fluya por gravedad. En éste sistema el agua se infiltra en el suelo mientras atraviesa el surco, camellón ó melga, por medio de subsecuentes embalses y movimientos laterales, la tierra recupera su completa capacidad para retener el agua hasta una profundidad que depen

de de la cantidad aplicada, la duración y la velocidad del flujo, la pendiente, la estructura y la textura del suelo (9).

El riego superficial es el de mayor uso en el país debido a que su costo de inversión es relativamente bajo y las fuentes de agua disponibles, son adecuadas (12). Empleando la conducción a cielo abierto y métodos de riego superficial, menos de la mitad del agua descargada llega a las plantas, esta deficiencia se debe a infiltraciones, evaporación, así como a la mala distribución del agua en las parcelas por causa de una inadecuada preparación de la tierra y falta de conocimientos del agricultor respecto de la aplicación del agua, con los consiguientes excesos de escorrentía y la subsecuente percolación profunda (9).

3.1.2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO SUPERFICIAL.

A. VENTAJAS:

- En superficies de terreno plano la inversión es baja.
- Con grandes caudales de riego y grandes obras de almacenamiento el costo de aplicación es bajo.
- Para plantas de raíces profundas es barato y fácil de manejar.
- De gran uso en campos de pastos.
- Las pulverizaciones al follaje no son lavadas.

B. DESVENTAJAS:

- Requiere de grandes volúmenes de agua.
- Hay pérdidas de agua por conducción.
- Altas pérdidas de agua en la aplicación parcelaria debido a escorrentía superficial y percolación profunda.

- Baja uniformidad en la distribución del agua.
- Aplicable a terrenos planos o con leve pendiente.
- Necesita vigilancia a la aplicación (16).

3.1.3. EVALUACION DE UN SISTEMA DE RIEGO.

Un sistema de riego puede ser sujeto a evaluación a través de la eficiencia de conducción y de aplicación (11). Palacios (14), indica que la eficiencia puede ser un índice para calificar un sistema y hasta cierto punto permite conocer la bondad de operación porque al comparar las eficiencias obtenidas en cada ciclo agrícola, se puede saber si se ha mejorado o no. Cada valor de estas eficiencias es puntual y está sujeta a varios factores, por lo que se deben calcular periódicamente de preferencia en cada ciclo agrícola, ambas eficiencias tienen fuerte influencia en las láminas de riego por lo que es muy importante conocer la variación de estas a través del tiempo, para poder estimar obviamente las variaciones de los coeficientes unitarios de requerimiento de riego ó lámina de agua.

3.1.4. PRINCIPALES PERDIDAS Y DESPERDICIOS DE AGUA EN LA RED DE CONDUCCION DE LA UNIDAD DE RIEGO.

Estas se dividen en pérdidas y desperdicios en la red de conducción interna de la propiedad y las que se producen en la aplicación de agua en la parcela (11).

3.1.4.1. PERDIDAS Y DESPERDICIOS EN EL SISTEMA DE CONDUCCION.

A. PERDIDAS POR EVAPORACION.

Goldberg, citado por Aguirre (1), dice que estas pérdidas tienen poca importancia dada la reducida área evaporante, que en general es la representación del sistema en operación de una propiedad durante el riego por gravedad, aproximadamente del 5 al 10% del área cultivada queda ocupada por los canales principales y laterales de riego y drenaje, siendo esta una superficie expuesta a que sucedan pérdidas por evaporación.

B. PERDIDAS POR INFILTRACION.

Estas se dan a través de las paredes de los canales, relacionadas a la longitud de los canales, al perímetro mojado y sobre todo al estado físico de los canales de riego (11).

Del total de pérdidas por conducción, las debidas a la intrusión son por lo general las que cobran mayor importancia.

Gran parte de los trabajos de conservación de las obras y de distribución que en la actualidad realizan las unidades de riego, tienen la finalidad de evitar estas pérdidas, pues la economía del agua tiene gran significado desde el punto de vista económico (3). Es muy importante mantener los caudales con régimen continuo porque esto asegura un menor volumen de pérdidas (11).

C. DESPERDICIOS POR FUGAS EN LAS ESTRUCTURAS.

Reducir los desperdicios de agua es importante, por lo que se recomienda revisar periódicamente los sellos de las compuertas, pues la suma de los caudales de todas las fugas pueden representar un porcentaje bastante alto (11).

D. PERDIDAS Y DESPERDICIOS POR OPERACION.

Las pérdidas por operación son debidas a un manejo incorrecto del canal o de las compuertas, cuando una parte de los volúmenes conducidos no está siendo utilizado y se pierde (16).

Estas pérdidas y desperdicios por operación se deben fundamentalmente a una falla en la programación por desconocimiento de las eficiencias, se solicita más agua de la necesaria la cual ocasiona desperdicios (16).

3.1.4.2. PERDIDAS EN LA APLICACION DE AGUA A LA PARCELA.

A nivel de parcela, pueden ocurrir las siguientes relacionadas al manejo del agua en la parcela:

- A. Pérdidas por colas de surcos,
- B. Pérdidas por percolación profunda, y
- C. Pérdidas por sobre consumo ó consumo de lujo del cultivo, esta pérdida corresponde con una fracción del consumo del cultivo que no es necesaria para su desarrollo y crecimiento. Ocurre cuando el cultivo, mantenido continuamente bajo muy buenas condiciones hídricas, evapotranspira a un nivel alto ETP_1 , mientras que un nivel de evapotranspiración real inferior ETR_2 , sería suficiente para su desarrollo. El consumo de lujo ó sobre consumo corresponde entonces a la cantidad de $ETP_1 - ETR_2$ (15).

En la figura 1 se ilustra las principales pérdidas que se dan en un riego superficial por gravedad.

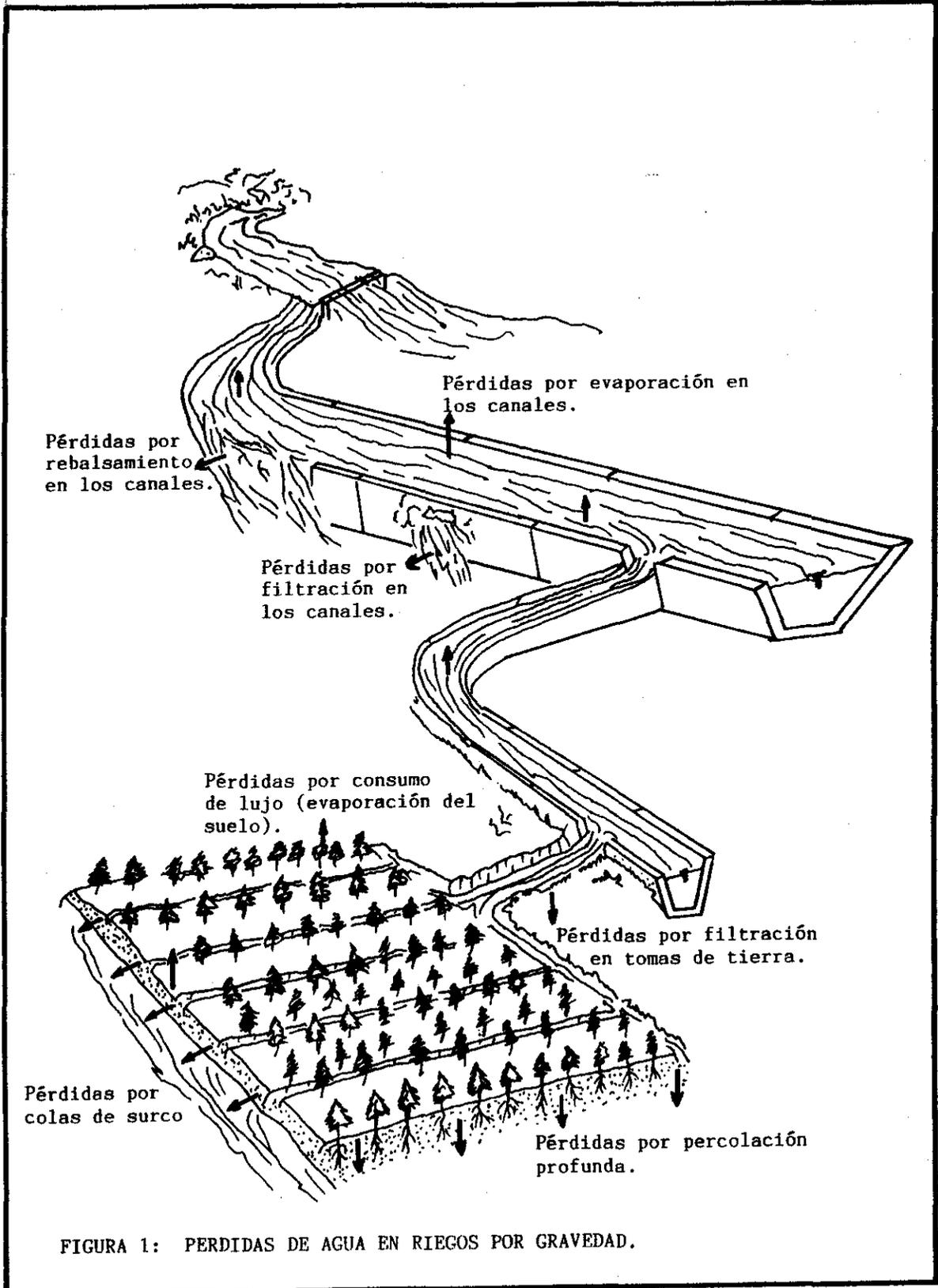


FIGURA 1: PERDIDAS DE AGUA EN RIEGOS POR GRAVEDAD.

3.1.5. EFICIENCIA GLOBAL DEL SISTEMA.

El funcionamiento de un sistema de riego se evalúa a través de la eficiencia global, que son la eficiencia de conducción y la eficiencia de aplicación. Estas eficiencias son índices que caracterizan el funcionamiento de los sistemas de riego. Su evaluación precisa permite diagnosticar y cuantificar las diferentes pérdidas que ocurren en los sistemas, lo que es importante para orientar estudios que tienen propósitos de mejorar la utilización del recurso agua (15).

3.1.5.1. EFICIENCIA DE CONDUCCION.

La eficiencia de conducción representa la capacidad de las obras hidráulicas para conducir el agua hasta las parcelas. Es la relación que existe entre el volumen de agua que entra y el volumen de agua que se derivó o entro en la cabecera del canal (15).

3.1.5.2. EFICIENCIA DE APLICACION DEL AGUA EN LA PARCELA.

Thorne (23), define a la eficiencia de aplicación como la relación entre la cantidad de agua que se almacena en la zona radicular del suelo por efecto del riego y la cantidad de agua aplicada en la tomagranja. Goldberg (9), explica que empleando la conducción a cielo abierto y el método de riego superficial menos de la mitad del agua suministrada llega a la planta, en proyectos operados, aproximadamente la eficiencia oscila entre 24 y 70%, con un promedio aproximado de 47%, registrándose eficiencias bajas entre 20 y 30% en países subdesarrollados.

Esta eficiencia muestra la fracción aplicada que se ha almacenado en la zona de las raíces y que es potencialmente accesible a la evaporación (16).

3.1.6. MEDICION DEL AGUA DE RIEGO.

La medición del agua es muy importante, tanto para riego eficiente como para la operación eficiente de un sistema de riego por las siguientes razones:

- A. Permite el control de las cantidades de agua derivadas de un canal ó río.
- B. Permite una buena organización a las unidades de riego que distribuyen el agua a los usuarios a lo largo del canal ó de un río.
- C. Permite el ajuste de caudales y volúmenes de riego a las necesidades de los distintos cultivos.
- D. Permite al agricultor mejorar el manejo del riego introduciendo las modificaciones que sean oportunas.
- E. Necesario en aquellas ocasiones en que el agua es escasa (24).

3.1.6.1. METODOS Y PRINCIPIOS DEL AFORO DEL AGUA.

Vega (24), manifiesta que los métodos para medir el agua, ya sea de un tubo ó un canal ó bien un río, caen en una de las tres categorías siguientes:

A. Métodos Director:

Si toda el agua que pasa por un punto en un período de tiempo se recibe en un recipiente el volumen puede ser medido y el caudal calculado mediante la siguiente relación:

$$Q = \frac{V}{T} \dots\dots\dots ec.1.$$

Donde:

Q = Caudal (lt/seg, m³/seg, m³/hora).

V = Volumen (lt, m³).

T = Tiempo (seg, min.).

B. Método de Area y Velocidad:

En situaciones en que el volumen de agua por unidad de tiempo no puede ser determinado, se usa el principio de que:

$$Q = A * V \dots\dots\dots ec.2.$$

Donde:

Q = Caudal (lt/seg, m³/seg, m³/hora).

A = Area de la sección transversal del agua en m².

V = Velocidad promedio del agua en m/seg.

En estos métodos tanto el área como la velocidad se miden directamente. La medición de la velocidad es más compleja y en general se requieren varias mediciones en varios puntos de la sección transversal de la corriente. Hay diferentes métodos para medir la corriente, los más importantes y más utilizados son:

- a. método de molinete,
- b. método del flotador,
- c. método tubo de pitot, y
- d. método de proyección del chorro de agua.

El método del molinete es el más comunmente usado en canales abiertos. El molinete hidráulico consiste en un eje en que hay fijas varias aspas, las que giran al impulso de la corriente donde se ha introducido. Estos giros o revoluciones indicarán según una relación conocida experimentalmente para cada aparato, la velocidad del agua; velocidad que irá a un registrador donde se efectuarán las lecturas.

Otros modelos de aparatos estan dispuestos en forma que a cada "X" número de vueltas suene un dispositivo, con lo que, contando los sonidos en un determinado número de segundos, puede ser determinada la velocidad.

No deben hacerse mediciones en corrientes de menos de 10 centímetros por segundo, porque a estas pequeñas velocidades pierden mucho de su precisión esta clase de aparatos (25).

C. Métodos que emplean Constricciones:

Estos métodos también son usados comúnmente en la medida del agua de riego, este grupo de medidores incluye: vertederos de cresta ancha, vertederos de cresta corta, orificios, medidores WSC, medidores Parshall, aforadores Balloffet y sifones: estas estructuras medidoras provocan, de manera efectiva, una sección de flujo crítico en forma artificial en la que se puede medir el gasto (4).

C.1. Medidor Parshall:

Son instrumentos calibrados para la medida del caudal en cauces abiertos. El medidor consiste en una sección convergente con el fondo a nivel, una sección garganta con el fondo en pendiente ascendente. En síntesis es un canal con una garganta donde se presenta una sección crítica seguida por un tramo corto en el que ocurre un flujo supercrítico. Al final de la sección se presenta un salto hidráulico. La ecuación que define la descarga de éste aforador es (4):

$$Q = K * Ha^u \dots\dots\dots ec.3.$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal en lt, m}^3.$$

K = Coeficiente que depende de la anchura de la garganta.

Ha = Altura piezométrica en la sección de control A.

u = Coeficiente que varía entre 1.522 y 1.60.-

C.2. Aforador tipo Balloffet:

El aforador Balloffet, pertenece al grupo de los aforadores de crítica*, y debe su nombre al Profesor Armando Balloffet, quién realizó todos los estudios teóricos y pruebas hidráulicas correspondientes en el año 1949 (5).

En el caso del aforador Balloffet, nos encontramos con una estructura que reúne condiciones de gran importancia, como son tener las paredes paralelas y el fondo plano, las cuales lo hacen extremadamente simple, a la vez que ofrece características de robustez y resistencia a las condiciones de campo (5).

Por otra parte, el hecho de provocar el escurrimiento crítico en la garganta, le crean condiciones de no favorecer la sedimentación, ni de ser afectada por esta. Además es una estructura relativamente económica y en el caso de un canal rectangular ya construido, resulta sumamente barata su realización (5).

A todas las ventajas expuestas anteriormente, se une un funcionamiento hidráulico preciso que responde a ecuaciones comprobables, basadas en los principios generales de la hidráulica (5).

C.2.a. Dimensiones y diseño del Aforador Balloffet:

Las dimensiones del medidor Balloffet se expresan en función del ancho (B) de la sección de acceso y se enuncian a continuación:

* Aforadores de Crítica: Se refiere al escurrimiento del flujo, en que se relaciona la energía específica, la velocidad y el tirante ó altura del flujo en una sección dada.

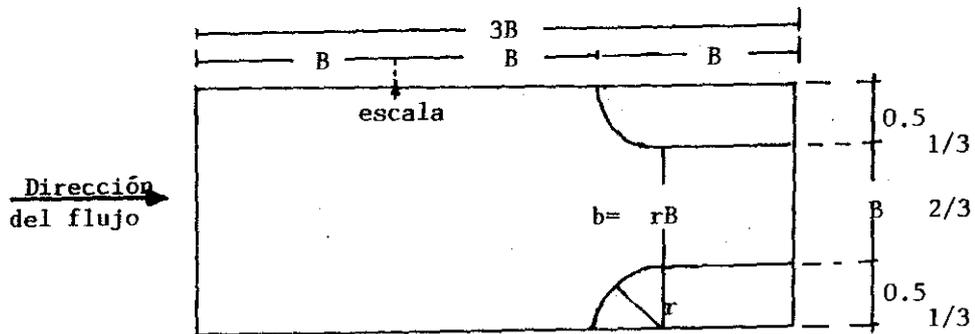
Longitud total del medidor	3 B
Longitud de la sección de acceso	2 B
Longitud de la sección contraída (b) ó garganta	B
Ancho de la sección de acceso	B
Ancho de la sección contraída (b)	r B
Relación de contracción (r)	b/B
Máxima altura	2 B
Ancho de los abultamientos y radio de curvatura	$\frac{1 - r}{2} B$

Los esquemas y dimensionamiento del aforador Balloffet se presentan en la figura 2.

C.3. Vertedero WSC (Washington State College).

El vertedero WSC fué desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica y es ampliamente usado para medir el flujo en surcos. El vertedero se construye de latón o de fibreglass, es de fácil instalación y muy exacto. Existen tres tipos de los cuales, el modelo WSC1 es el más usado, midiendo diferencias de flujo entre 0.5 y 10.0 m³/hora.

Debe ser instalado firmemente y nivelado en el surco, de tal manera que el agua que fluye no pase por sus costados o por debajo de su posición. La altura del agua circulante es leída luego que el flujo se ha establecido. Los vertederos WSC1 de fibreglass son adquiridos ya listos para su uso, pero los de latón pueden ser construídos y por lo tanto pueden planificarse sus dimensiones, ver la figura 3. (19).



PLANTA

$3B$ = longitud en cms. -- 90 cms.

B = ancho, sección de acceso en cms. -- 30 cms.

b = garganta (rB) -- 20 cms.

r = Relación de contracción b/B . -- 0.6666

$2B$ = Altura máxima, -- 40 cms.

$\frac{1-r}{2} B$ = Ancho de abultamiento y radio de curvatura, 5 cms.,
equivalentes a 0.1667.

ISOMETRIA

Balloffet tipo 2/3

Garganta = 2/3 de la entrada B

El caudal C (m^3/seg) = $1.23 \times B \times H^{3/2}$

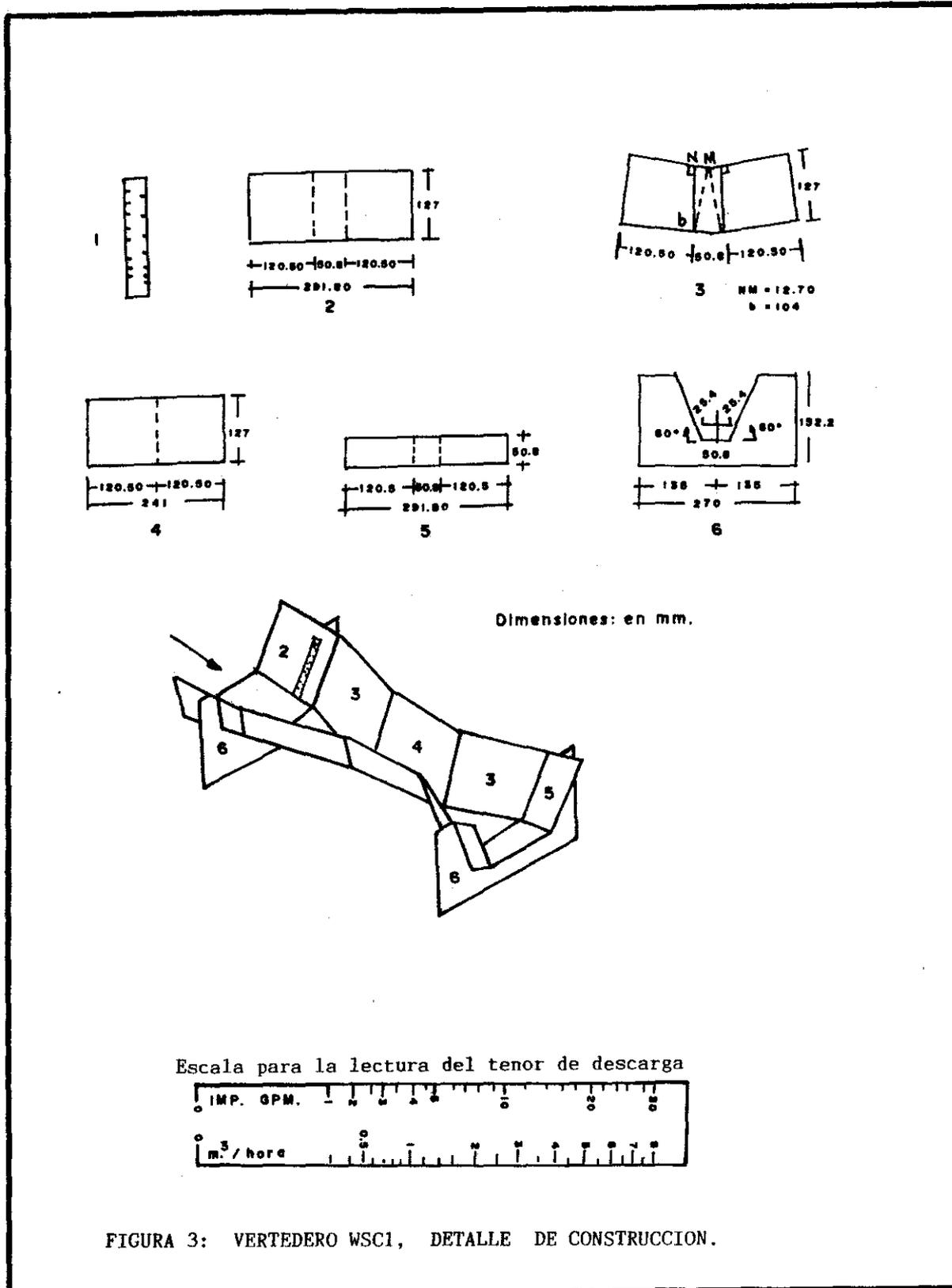
B y H (el tirante en m).

FIGURA 2: PLANTA, ISOMETRIA Y DIMENSIONES DEL MEDIDOR BALLOFFET.

En el cuadro 1 puede observarse el tenor de descarga del flujo en los vertederos WSC1 y WSC2.

CUADRO 1: TENOR DE DESCARGA DEL VERTEDERO WSC EN METROS CUBICOS POR HORA

ALTURA DEL FLUJO h EN CENTIMETROS	WSC1 LAMINA DE ACERO	WSC1 FIBREGLASS	WSC2 LAMINA DE ACERO
2	0.25	----	----
3	0.50	0.25	----
4	0.80	0.50	----
5	1.50	0.90	1.50
6	2.25	1.50	2.25
7	3.25	2.25	3.25
8	4.50	3.25	4.50
9	6.25	4.50	5.75
10	8.00	6.00	7.25
11	10.00	8.00	9.25
12	----	----	11.50
14	----	----	16.25



3.1.7. OTRAS INVESTIGACIONES SOBRE EFICIENCIAS DE RIEGO A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.

3.1.7.1. EFICIENCIAS DE RIEGO A NIVEL NACIONAL.

Aguirre (1), en su estudio sobre eficiencias de riego en la unidad La Fragua, concluye que la eficiencia total del sistema es de 29%, siendo sus componentes: Eficiencia de conducción 74% y eficiencia de aplicación 39%. Atribuye que los principales factores de esta baja eficiencia lo constituyen el exceso de aplicación de agua a las parcelas en cada riego. Las pérdidas por conducción se dan debido al daño físico que presentan los canales de distribución de agua.

Ramirez (16), en su estudio sobre eficiencias de riego en la unidad Nicá, Malacatán, San Marcos, determinó que la eficiencia total en dicha unidad es de 42.05%, siendo la eficiencia media de conducción de 91.2% y la eficiencia media de aplicación del 46%, determinando que las pérdidas por conducción son la total carencia de compuertas en las tomagranjas y falta de unión entre las sizas de las pizarras. Señala también que la principal deficiencia en la aplicación del agua es una lámina insuficiente con la cual no puede llevarse a los suelos a un umbral de humedad del 50% de la capacidad de almacenamiento de humedad, debido a la carencia de conocimientos técnicos en riego por parte de los agricultores.

3.1.7.2. EFICIENCIAS DE RIEGO A NIVEL INTERNACIONAL.

La experiencia en América Latina con respecto a la eficiencia de riego, sitúan a ésta en niveles relativamente bajos. En la República de Chile para el año 1969-70, conjuntamente iniciativa privada y estado, regaban 1,170,704 hectáreas y la baja eficiencia de

riego obedecía a que ha sido muy difícil cambiar las prácticas tradicionales de riego por técnicas más avanzadas. Como resultado salvo honrosas excepciones, la eficiencia actual de riego en Chile es muy baja llegando a 24% (20).

Puede señalarse que en México, la eficiencia nacional actual en el uso del agua de riego es de 46%, con un 70% de eficiencia de conducción y 65% de eficiencia de aplicación del agua a nivel de finca ó parcela. En Argentina, se ha constatado que en importantes áreas regadas, dicha eficiencia total no supera el 30%, en la República Dominicana 28%, Colombia con 54%, lo que en apreciable medida puede ser generalizado a la mayor parte de las áreas bajo riego en los restantes países de la región latinoamericana (20).

3.2. MARCO REFERENCIAL.

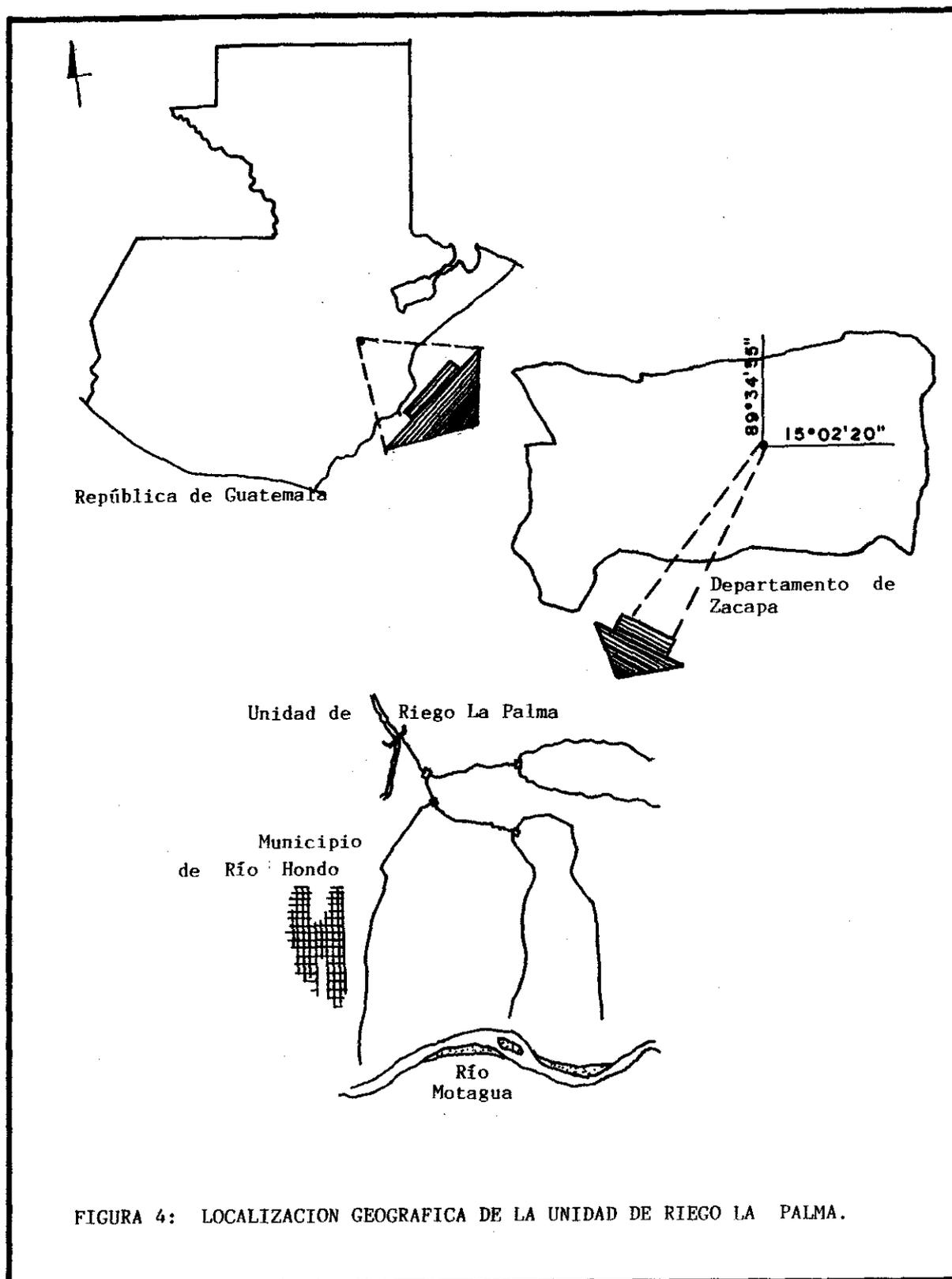
3.2.1. DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO.

3.2.1.1. UBICACION.

La unidad de riego La Palma, comprende lo que es el Distrito de riego No. III-2, administrado por el estado, está ubicado en la región Nor-oriental del país, en el municipio de Río Hondo, del departamento de Zacapa, a 137 kilómetros de la ciudad capital y su elevación es de 185 msnm, en el pie de monte de la Sierra de las Minas. Las coordenadas geográficas son 15°02'20" de latitud norte y 89°34'55" de longitud oeste del meridiano de Greenwich (6), ver la figura 4.

3.2.1.2. ECOLOGIA.

- A. Clima: Según la clasificación de Thorntwaite (7), el clima en el área de la unidad de riego La Palma, es cálido, sin estación fría bien definida, semiseco e invierno seco.
- B. Precipitación: El promedio de precipitación es de 647 mm. anuales; la época lluviosa se caracteriza por ser escasa y mal distribuida (8).
- C. Temperatura: La temperatura es cálida, siendo su promedio de 25.7 grados centígrados (8).
- D. Zona de Vida: J. de la Cruz (2), basado en el sistema Holdridge, clasifica esta área en Monte Espinoso Subtropical y Bosque seco Subtropical.
- E. Suelos: Las series de suelos presentes en el área que cubre la unidad de riego son la Serie de Suelos de los Valles no diferenciados, que incluye las clases miselaneas de terrenos donde no domina ninguna clase particular de suelos; y la Serie de sue-



los Chol, que incluye suelos poco profundos sobre serpentina y esquistos en clima seco, se encuentran en pendientes escarpadas y presentan un alto nivel de pedregosidad (22).

3.2.2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA.

La unidad de riego La Palma, inició sus operaciones en el mes de mayo de 1973, con un área de diseño de 156 hectáreas, su fuente de abastecimiento lo constituye el río La Lima. Esta unidad funciona por gravedad y posee dos lugares de captación, siendo estos los siguientes:

- A. La presa derivadora: es de tipo sencillo y esta sobre el río La Lima, en la Sierra de las Minas, a una altura de 1200 metros sobre el nivel del mar, en el lugar denominado Monte Verde, su accesibilidad es por carretera de terracería, que se inicia en la aldea Las Pozas, pasando por la aldea Jones, del municipio de Río Hondo, siendo necesario recorrer 16 kilómetros para llegar a dicha presa. En época de invierno es imposible su acceso en vehículo, debido a la topografía del terreno. A partir de dicha presa se inicia un canal de conducción de 4000 metros de longitud, revestido, el cual termina en la Quebrada denominada del Oro.
- B. Habiendo recorrido 3 kilómetros de longitud sobre el lecho rocoso de la Quebrada del Oro, en el cacerío Chan-Chan, se encuentra la otra presa derivadora, de tipo sencillo que capta el agua de dicha quebrada, la cual es conducida por un canal principal de 506.26 metros de longitud hasta la caja estrella, en donde se inicia la distribución por medio de canales primarios y secundarios, alcanzando una longitud total de 7260.68m.

El proyecto de riego La Palma, fue iniciado con tomas de tierra que eran propiedad de condueños de la Aldea La Palma y de la cabecera municipal de Río Hondo; por la condición de ser tomas de tierra, se producían grandes pérdidas de agua en la conducción de ésta, lo que repercutía en que la superficie cubierta por la red de distribución fuera bastante limitada.

Dada la necesidad de que el proyecto cubriera una mayor extensión de área regable, por intereses personales de muchos agricultores, gestionaron ante el gobierno para que interviniera a efecto de que fueran revestidos los canales de tierra y el proyecto pasara a ser de servicio colectivo y administrado por el estado.

Las gestiones tuvieron éxito y fué así como se logró la ejecución del proyecto. Sin embargo, la obra tuvo fallas de origen, de diseño y planeación, ya que ésta, fué deficientemente construída, las pizarras y las plantillas de los canales las hicieron muy delgadas, razón de ello y por cuestiones de tiempo que ha transcurrido, la obra ha comenzado a deteriorarse. El proyecto fue construído parcialmente, ya que quedaron muchos tramos de canal sin revestir, factor que da muchos problemas en la operación y mantenimiento de la unidad. En la figura 5 se presenta un croquis de la unidad de riego La Palma.

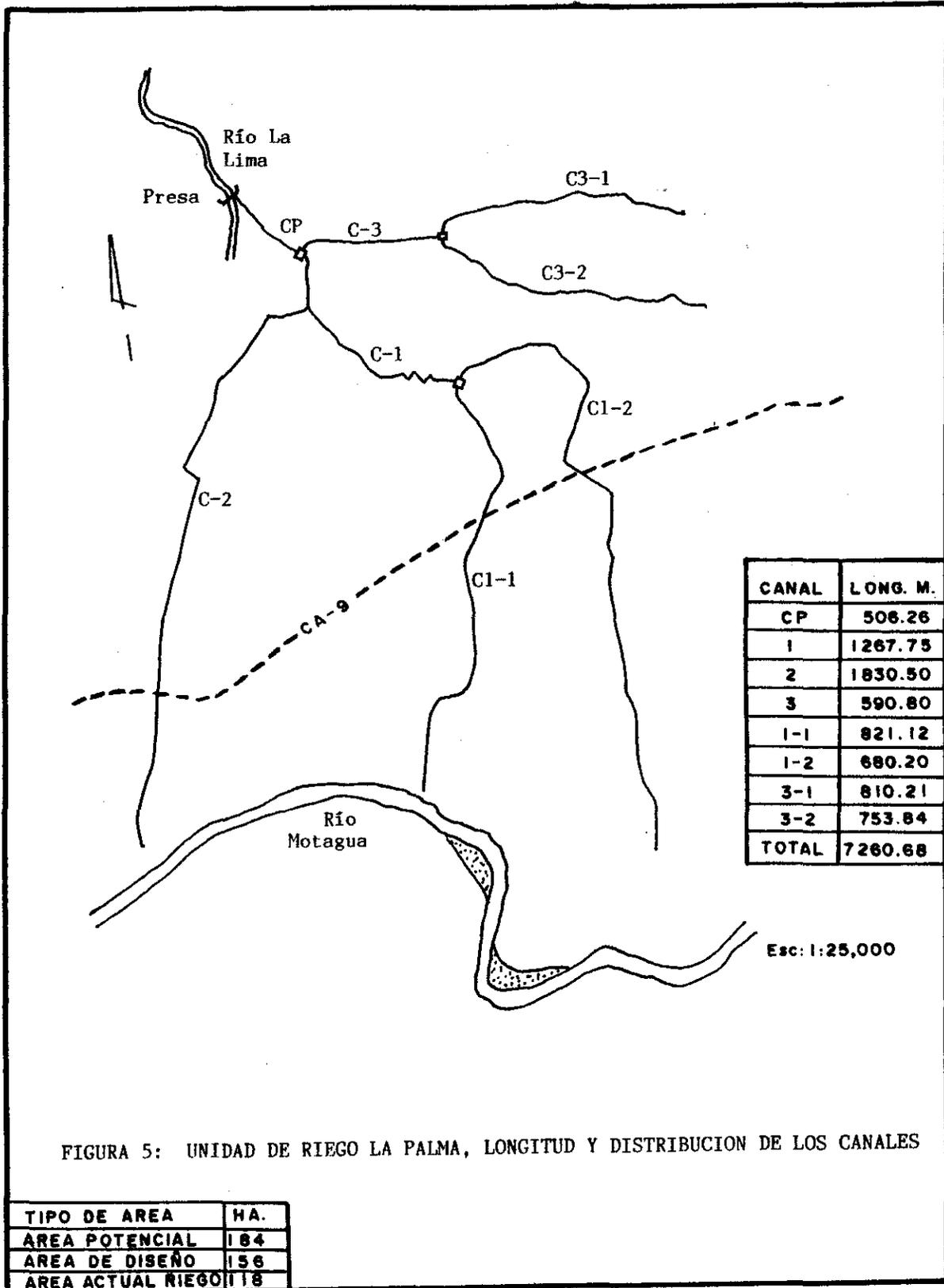


FIGURA 5: UNIDAD DE RIEGO LA PALMA, LONGITUD Y DISTRIBUCION DE LOS CANALES

4. OBJETIVOS

1. Cuantificar la eficiencia de conducción y aplicación del agua, en la Unidad de Riego La Palma, Río Hondo, Zacapa.
2. Establecer la tecnología en riego utilizada por los agricultores-usuarios.
3. Formular recomendaciones adecuadas por medio de las cuales se pueda aumentar la eficiencia global del sistema en la Unidad de Riego La Palma.

5. METODOLOGIA

5.1. EFICIENCIA GLOBAL DEL SISTEMA.

Para determinar la eficiencia global de riego en la Unidad La Palma, se empleó la definición que consiste en el producto de la eficiencia de conducción por la eficiencia de aplicación, esto suele denominarse eficiencia global del sistema:

$$Es = Ec * Eap.....ec.4.$$

Donde:

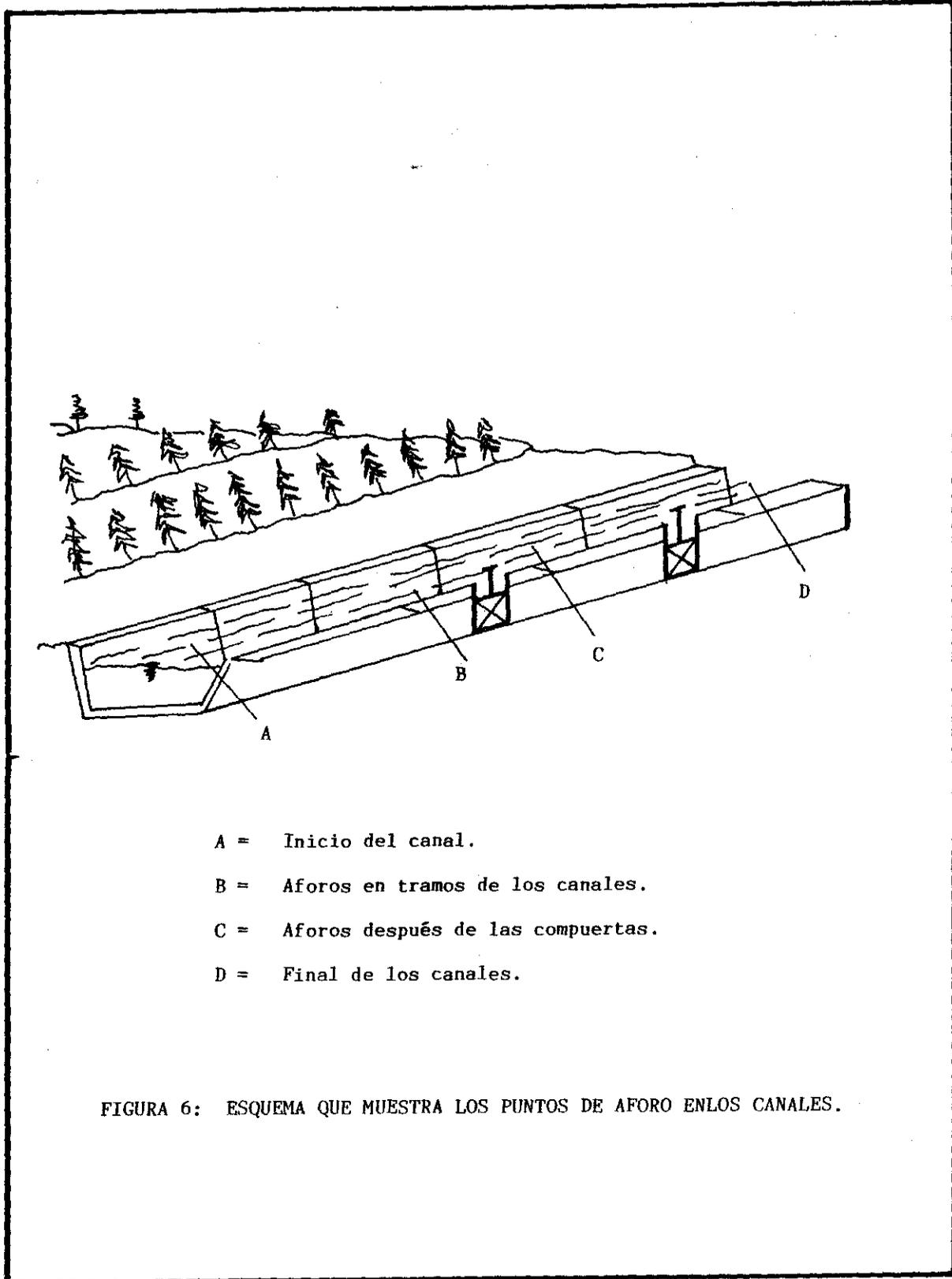
Es = Eficiencia del sistema (%).

Ec = Eficiencia de conducción (%).

Eap = Eficiencia de aplicación (%).

5.2. CALCULO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCION.

El cálculo de esta eficiencia permitió conocer el porcentaje de volumen de agua entregado en la tomagranja respecto al derivado en la fuente. Aquí se consideraron tramos de una longitud conocida con aforos al inicio y al final de los mismos, ver la figura 6. Para esta medición se seleccionaron puntos de control tales como compuertas, en las obras de toma del canal principal; tramos y compuertas de los canales primarios y secundarios. Debido a que las profundidades del agua en dichos canales varía de 0.30 a 0.80 metros, los aforos se hicieron en lugares donde el tirante de agua es constante y el flujo sin turbulencia, vigilando que nadie extrajera agua del canal mientras duró la prueba. La velocidad del agua en el canal se tomó a 0.2 y 0.8 de la profundidad total del canal principal y a 0.60 en los canales primarios y secundarios, ver las figuras 7 y 8. Para conocer la velocidad del agua en los canales se empleó el aforador tipo molinete de copas, marca Fuess, cuya ecuación



- A = Inicio del canal.
- B = Aforos en tramos de los canales.
- C = Aforos después de las compuertas.
- D = Final de los canales.

FIGURA 6: ESQUEMA QUE MUESTRA LOS PUNTOS DE AFORO EN LOS CANALES.

inserta en el aparato es: $V = 0.697 * N + 0.013$ ec.5.

Donde:

V = Velocidad del agua sobre el canal (m/seg).

N = Número de revoluciones/seg. que indica las copas del molinte.

En el mismo punto de aforo se estableció el área de la sección transversal efectiva cubierta por el agua en el canal. Se obtuvo el caudal basado en la ecuación de gasto:

$$Q = A * V$$
ec.6.

Donde:

Q = Caudal que circula sobre el canal (m^3 /seg).

A = Area de la sección transversal cubierta con agua sobre el canal en (m^2).

V = Velocidad del agua sobre el canal (m/seg).

Para medir la eficiencia con que se distribuye el agua a través de los canales del sistema se empleó la siguiente ecuación:

$$Ec = \frac{Q2}{Q1} * 100$$
ec.7.

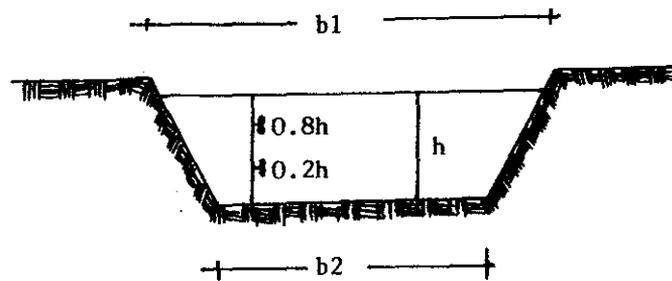
Donde:

Ec = Eficiencia de conducción del agua (%).

$Q1$ = Caudal que ingresa al canal (m^3 /seg).

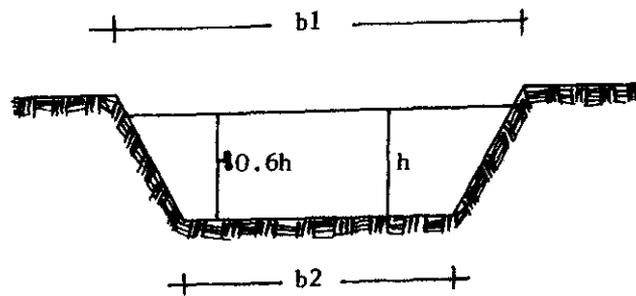
$Q2$ = Caudal registrado a lo largo del canal ó al final del mismo en (m^3 /seg).

Los registros de los datos de esta prueba se anotaron y calcularon como se muestra en el cuadro II"A". Para obtener el promedio de la eficiencia de conducción de los canales, se hizo a través de una media ponderada debido a que las pérdidas de agua que ocurren en cada uno de los canales se ven influenciados por la longitud total de cada canal, se utilizó la siguiente fórmula.



b_1 = Ancho del espejo de agua.
 b_2 = Base del canal.
 h = Altura del tirante de agua.

FIGURA 7: PROFUNDIDAD PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD MEDIA DEL AGUA CON MOLINETE EN EL CANAL PRINCIPAL.



b_1 = Ancho del espejo de agua.
 b_2 = Base del canal.
 h = Altura del tirante de agua.

FIGURA 8: PROFUNDIDAD PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD MEDIA DEL AGUA CON MOLINETE EN LOS CANALES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS.

$$XP = \frac{\sum_{i=1}^n XiWi}{\sum_{i=1}^n Wi} \dots\dots\dots ec.8.$$

Donde:

XP = Promedio ponderado

Xi = Valor de la variable expresada en % (% de conducción).

Wi = Peso asignado a cada variable (longitud de cada canal).

5.3. CALCULO DE LA EFICIENCIA DE APLICACION.

Para la determinación de la eficiencia de aplicación se seleccionaron 6 parcelas de agricultores voluntarios. En el área que cubre la unidad de riego predominan las series de suelos de los Valles no Diferenciados y serie de suelos Chol; se trabajaron 3 parcelas en cada serie de suelos, considerando los siguientes criterios: Cultivos de importancia en la unidad (mango, pasto y maíz); área y tipo de suelo. Se programó el estudio de las parcelas en base a la secuencia de riego utilizada (cada 8 días) por lo que en las mediciones y toma de datos no hubo problemas de traslape con turnos de otras parcelas.

El dato de eficiencia de aplicación de agua, proporciona el porcentaje de agua que se logra almacenar en la zona radicular del cultivo respecto al total de agua aplicado en la parcela durante el riego. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$Eap = \left(1 - \frac{Ae - Ap}{Atg} \right) * 100 \dots\dots\dots ec. 9.$$

Donde:

E_{ap} = Eficiencia de aplicación (%).

A_e = Agua de escurrimiento superficial (m^3 , cm).

A_p = Agua de percolación profunda (cm).

A_{tg} = Agua recibida en la tomagranja ó bien lámina bruta aplicada a cada parcela (m^3 , cm).

Para realizar la prueba de eficiencia de aplicación se siguió la siguiente secuencia de actividades:

A. Actividades de Gabinete:

Se recopiló toda la información necesaria de la unidad de riego referente a: Cultivos, catastro, padrón de usuarios, cuotas de riego, áreas regadas, material sobre clasificación de suelos, turnos de riego y frecuencias de riego.

Se buscó los materiales y equipos existentes y necesarios para realizar las actividades de campo, de las cuales el distrito de riego III-2, con sede en la Fragua, Zacapa, cuenta con lo siguiente:

- a. Aforadores: Molinete, WSCI, Balloffet,
- b. Sifones: de 1, 1 1/2 y 2 pulgadas,
- c. Barrenos: tipo helicoidal y cilíndricos,
- d. Equipo de topografía,
- e. Equipo de laboratorio,
- f. Aperos de labranza: palas, piochas, barretas, machetes, etc.,
- g. Boletas de registro de datos, y
- h. Cuadrilla de trabajadores de campo de la unidad de riego La Palma.

B. Actividades de campo:

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se determinaron los siguientes parámetros: Capacidad de campo, punto de marchitez permanente, % de humedad antes del riego, % de humedad del suelo a diferentes tensiones en atmósferas, densidad aparente, textura del suelo, profundidad radicular, velocidad de infiltración y medición de caudales.

5.3.1. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DEL SUELO A NIVEL DE PARCELA.

5.3.1.1. AFORO DE CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA EN LAS PARCELAS.

Los caudales de entrada (láminas brutas aplicadas)*, se midieron por medio del aforador Balloffet, previamente calibrado, éste se colocó en la entrada de la parcela en el canal regadera. La medición de los caudales que se pierden por escorrentía superficial también se efectuó mediante la utilización del aforador Balloffet, haciendo converger las aguas en un solo drenaje, ver la figura 9.

La ecuación que define a el aforador Balloffet, se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 1.23 B H^{3/2} \dots\dots\dots ec.10.$$

Donde:

Q = Caudal en m³/seg.

B = Ancho del aforador en m.

H = Altura del agua en la escala del aforador en m.

* Láminas brutas aplicadas: se refiere a la cantidad de agua suministrada a las parcelas en cada riego.

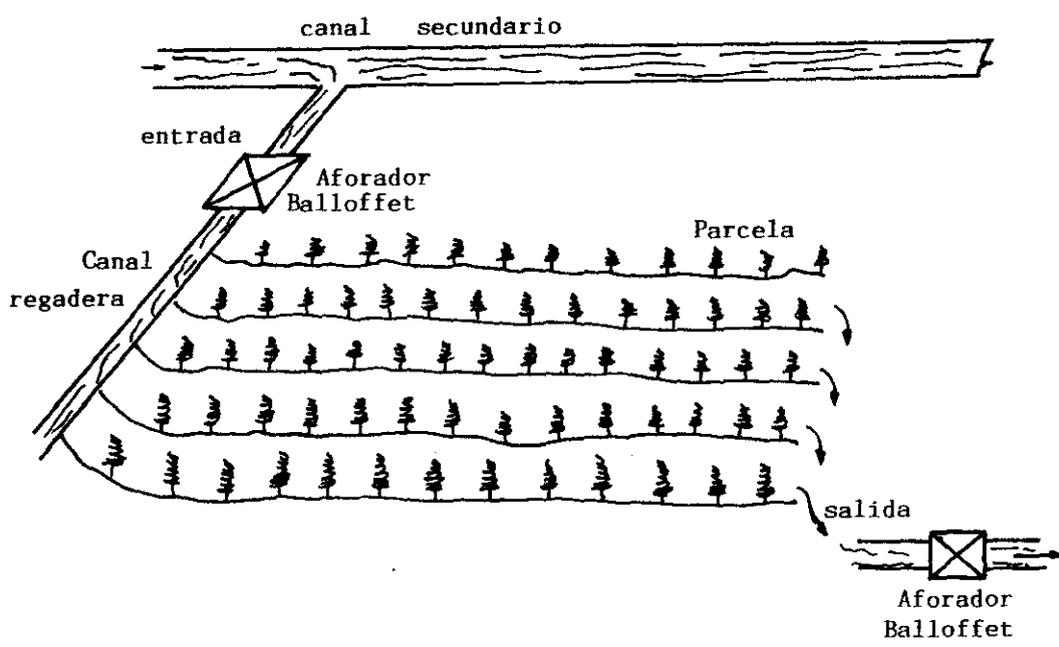


FIGURA 9: ESQUEMA QUE MUESTRA LA LOCALIZACION DE LOS AFORADORES BALLOFFET A LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PARCELA.

5.3.1.2. DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE APLICACION.

Para la determinación de la eficiencia de aplicación a nivel de parcela se siguió la siguiente secuencia:

A. MUESTREO DE SUELOS.

1. Elaboración de calicatas:

Se elaboraron calicatas de 1x1x1 metros, con el fin de determinar las características físicas del suelo, profundidad radicular y constantes de humedad a diferentes tensiones con el propósito de elaborar las curvas características de retención de humedad, por estratos cada 30 centímetros, en las 6 parcelas.

2. Barrenamientos:

Se realizaron barrenamientos por estratos a cada 30 centímetros en las 6 parcelas, con el fin de conocer el contenido de humedad antes del riego ó porcentaje de humedad actual. Se calculó mediante la siguiente ecuación (18):

$$Psa = \frac{Psh - Pss}{Pss} * 100 \dots\dots\dots ec 11$$

Donde:

Psa = Porcentaje de humedad antes del riego.

Psh = Peso de suelo húmedo en grs.

Pss = Peso de suelo seco en grs.

Partiendo de la información anterior se procedió a calcular la lámina neta para poder llevar a capacidad de campo la zona principal de raíces (lámina de reposición); como la unidad de riego ya esta en operación se utilizó la siguiente ecuación (18):

$$Lnr = \frac{CC - Psa}{100} * Da * Zr \dots\dots\dots ec.12.$$

Donde:

Lnr = Lámina neta de riego para llevar a CC la zona principal de raíces ó lámina de reposición en cms.

Psa = Porcentaje de humedad actual ó antes del riego.

Da = Densidad aparente en grs/cc.

Zr = Espesor del estrato de suelo considerado dentro de la zona principal de raíces en cms.

CC = Capacidad de campo (%).

El porcentaje de humedad antes del riego, las características físicas del suelo y las constantes de humedad se analizaron en el laboratorio de suelos y agua de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento.

5.3.2. DETERMINACION DEL AGUA QUE SE PIERDE POR PERCOLACION PROFUNDA.

El agua perdida por percolación profunda es aquella que por medio de la acción de la gravedad se infiltra por debajo del agua retenida por la zona radicular del cultivo, esta pasa a formar parte de los acuíferos subterráneos, esto ocurre cuando se aplica una cantidad mayor de agua que la lámina neta requerida por el cultivo. Su determinación se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$Ap = Lb - (Lnr + Ae) \dots\dots\dots ec.13.$$

Donde:

Ap = Agua que se percola (cm, m³, lts).

Lb = Lámina bruta aplicada a la parcela (cm).

Lnr = Lámina neta de riego ó lámina de reposición (cm).

Ae = Lámina escurrida superficialmente (cm, m³, lts).

5.4. EVALUACION DE LA APLICACION DE AGUA A LAS PARCELAS.

5.4.1. CALCULO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION.

El conocimiento de la infiltración es importante para un eficiente uso y manejo de agua de riego, ya que es una de las características del suelo más importantes para el diseño, operación y evaluación de sistemas de riego superficiales.

El método que se utilizó para el cálculo de la velocidad de infiltración en éste estudio es el de "Entradas y Salidas", por ser este método el más representativo y aconsejable para sistemas de riego por surcos.

Secuencia de la prueba:

- A. Se seleccionó un sitio representativo del área a regar.
- B. Se seleccionaron y marcaron los surcos de prueba.
- C. El canal regulador de donde se obtuvo el agua para la prueba, tuvo un nivel ó altura de agua constante para la realización de dicha prueba. Esto se hizo para que el caudal que se derivó a los sifones que toman el agua no varíe durante la prueba.
- D. La prueba se realizó con un caudal constante y no erosivo, para éste cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_{\max} = \frac{0.63}{S} \dots\dots\dots \text{ec.14.}$$

Donde:

Q_{\max} = Caudal máximo no erosivo para surcos (lt/seg).

S = Pendiente del surco (%).

- E. Se regó simultaneamente tres surcos y se tomaron los datos del surco central, para evitar los efectos de infiltración lateral.
- F. Se tomaron datos en el primer aforador WSC1, para saber el

caudal de entrada y en un segundo aforador WSC1 para saber el caudal de salida, así como el tiempo recorrido, el registro de estos datos se llevaron desde el momento en que el agua empieza a ser derivada del canal al surco, ver cuadro 12"A". Finalizó la prueba cuando el caudal de entrada y salida permanecieron constantes.

- G. La longitud de los surcos de prueba fué de 80 metros (19).

Los parámetros de la ecuación de infiltración se calcularon por medio de el modelo de Kostiakov y Lewis, que se define así:

$$I = K t^n \dots\dots\dots\text{ec.15.}$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración en cm/hora.

K = Parámetro que representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial.

n = Parámetro que indica el comportamiento de la infiltración con respecto al tiempo.

t = Tiempo en minutos.

El cálculo de la velocidad de infiltración proporcionó el tiempo en que se infiltró la lámina neta de riego, la que sirvió como comparador con el tiempo que actualmente utiliza el agricultor en un riego en su parcela.

5.5. ENCUESTA A LOS USUARIOS DE LA UNIDAD.

Con el propósito de establecer la tecnología en riego utilizada por el agricultor de la unidad de riego, se practicó una encuesta dirigida a éstos, lo que permitió conocer como riegan y aprovechan el agua de riego, con que técnicas y en base a que criterios, así como también

determinar los factores ó condiciones que influyen en el comportamiento del agricultor-usuario respecto al uso y manejo del agua de riego. La boleta de encuesta se presenta en el apéndice de éste trabajo.

5.5.1. MUESTREO DE LA POBLACION.

Fué necesario realizar un muestreo de la población ya que el número de usuarios es de 71, por lo que se seleccionó una muestra a la cual se le efectuó la encuesta. Para la determinación del tamaño de la muestra se empleó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N}{N d^2 + 1} \dots \dots \dots \text{ec.16.}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de la población.

d = Grado de precisión deseado (0.10).

5.5.2. ANALISIS.

La ecuación anterior permitió establecer el tamaño de la muestra, estableciéndose un grado de precisión del 10%, ya que dicho grado debe variar en un rango de 0.05 y 0.15, los cuales son estadísticamente aceptables; ya que para valores mayores de 0.15 es de poca significancia. Se utilizó el muestreo simple aleatorio ya que la población se considera homogénea porque utiliza el mismo método de riego, sus extensiones de tierra no varían mucho en cuanto a área y siembran los mismos cultivos. Se determinó el porcentaje de respuestas positivas y negativas para poder detectar los factores principales que determinan el nivel técnico del agricultor, respecto al uso y manejo del agua de riego en dicha unidad.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

Mediante el presente trabajo de investigación se llegó a determinar la eficiencia global del sistema de riego de la Unidad La Palma, la cual es de 31.23%.

La eficiencia global del sistema se divide así:

Eficiencia de conducción: 76.00%.

Eficiencia de aplicación: 41.1%.

6.1. CALCULO DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCION.

De los valores obtenidos de la eficiencia en cada canal estudiado se obtuvo de ellos un promedio global de 76%, incluidos en éste resultado la eficiencia de conducción de canales revestidos y no revestidos. Los valores de la eficiencia de conducción y longitud por tipo de canal aparecen en los cuadros 2 y 3.

CUADRO 2: EFICIENCIA DE CONDUCCION Y LONGITUD DE CANALES REVESTIDOS DE LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA.

CANAL	EFICIENCIA DE CONDUCCION %.	LONGITUD DE CADA CANAL EN METROS.
PRINCIPAL	96	505.26
PRIMARIOS		
C-1	84	1267.75
C-2	89	980.50
C-3	90	590.80
SECUNDARIOS		
CI-1	88	480.25
CI-2	86	680.00
MEDIA PONDERADA %	88.83	4505.56

CUADRO 3: EFICIENCIA DE CONDUCCION Y LONGITUD DE CANALES NO REVESTIDOS DE LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA.

CANAL	EFICIENCIA DE CONDUCCION %	LONGITUD DE CADA CANAL EN METROS
PRIMERIOS		
C-2	67	790.04
SECUNDARIOS		
C1-1	65	570.00
C1-2	64	300.00
C3-1	60	680.00
C3-2	61	415.08
MEDIA PONDERADA %	63.40	2755.12

Para el sistema de canales revestidos la eficiencia de conducción es de 88.83%, resultado que al compararse con el rango fijado para canales revestidos con cemento (80-90%), establecidos por Grassi (12), es aceptable, aunque las longitudes son cortas, factor que contribuye a elevar la eficiencia debido a que las pérdidas por filtración y evaporación son menores.

Para los canales no revestidos la eficiencia de conducción es de 63.40% la que se considera baja pero aceptable. La mayoría de éstos canales presentan gran cantidad de azolve y funciona deficientemente.

Algunos de los factores que influyen en la eficiencia de los canales son: no existen compuertas en la mayoría de las tomagranjas, se observó grietas y perforaciones en las paredes de los canales, principalmente cuando estos atraviesan aldeas, el daño físico a la infraestructura es causado por los habitantes de éstas aldeas. Otros daños observados es la falta de unión entre las sizas de las pizarras y plantillas de los canales, así como abundante maleza en los canales no revestidos, esto provoca desbordamientos del agua de riego.

6.2. CALCULO DE LA EFICIENCIA DE APLICACION.

Con los datos de agua de escurrimiento superficial, agua de percolación profunda y lámina bruta aplicada (agua recibida en la tomagraaja) se calculó la eficiencia de aplicación, basado en la ecuación 9 de este trabajo de investigación. Sus valores extremos van de 31 a 56%, siendo su eficiencia media total de aplicación de agua a nivel de parcela de 41.16%. Los valores de la eficiencia de aplicación se pueden ver en el cuadro 4.

CUADRO 4: EFICIENCIA DE APLICACION DE AGUA POR PARCELA Y POR CULTIVO EN LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA.

PARCELA	CULTIVO	AGUA ESCURRIDA EN CENTIMETROS	AGUA DE PERCOLACION EN CMS.	LAMINA BRUTA EN CMS	% DE EFIC
1	MANGO	20.98	9.24	44.00	31
2	MAIZ	2.77	3.98	11.50	41
3	PASTO	8.10	2.07	15.00	32
4	MAIZ	5.57	1.53	14.01	49
5	MANGO	5.86	1.35	16.59	56
6	PASTO	7.45	1.13	13.80	38
\bar{X}					41.16

Se observó que las bajas eficiencias se deben a la sobre-aplicación de agua, se está aplicando una lámina mayor de agua que la requerida por el cultivo. En la figura 10, se puede ver el comportamiento de la lámina bruta aplicada frente a la lámina neta de reposición de humedad para llevar a capacidad de campo la zona radicular del cultivo en cada parcela.

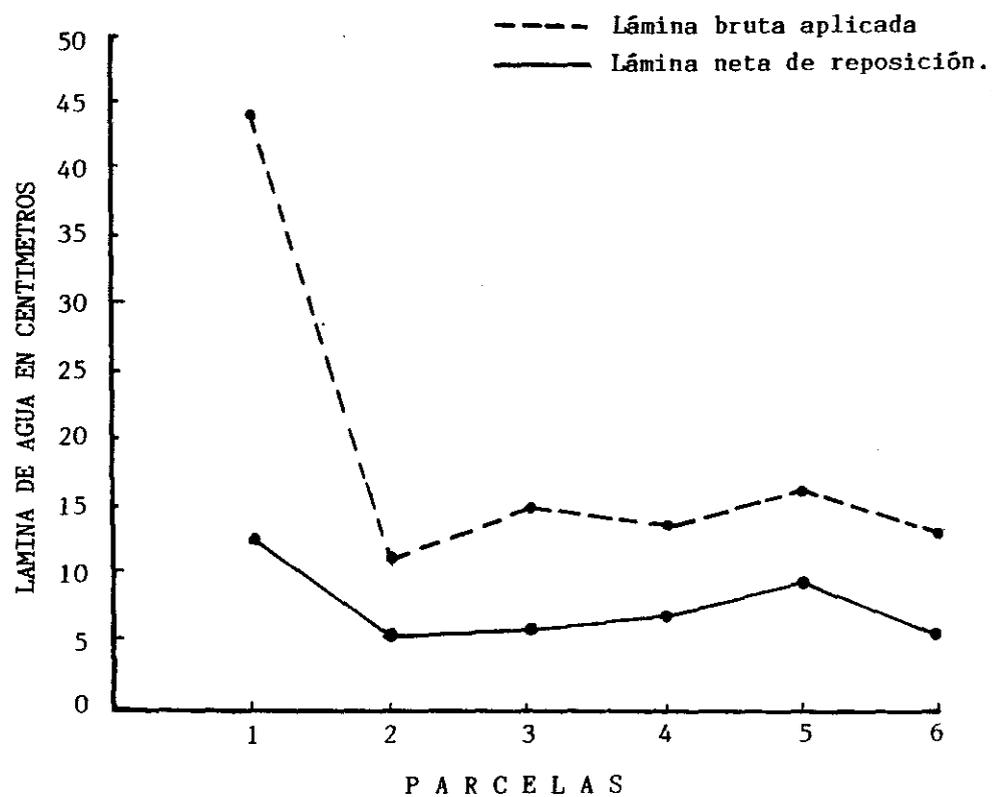


FIGURA 10: GRAFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA LAMINA BRUTA APLICADA FRENTE A LA LAMINA NETA DE REPOSICIÓN DE HUMEDAD.

6.2.1. PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA.

El cálculo de las pérdidas por percolación profunda se determinaron por medio de la ecuación 13. Los resultados obtenidos se observan en el cuadro 5. Se puede ver que en todos los casos ocurren pérdidas por percolación profunda, variando sus valores desde 8.13 a 74.02 metros cúbicos por parcela en cada riego, debido a que no existe ningún control de los caudales aplicados y se riega muy frecuentemente, por lo que el suelo no tiene la suficiente capacidad de retención de humedad, perdiéndose el agua en lo profundo del suelo.

6.2.2. PERDIDAS POR ESCORRENTIA.

Las pérdidas por escorrentía fueron evaluadas por el método de "Entradas y Salidas", como puede observarse en el cuadro 5, estas varían entre 16.63 y 167.90 metros cúbicos, debido también a que se riega con abundante agua sin ningún control a la entrada y salida de los surcos en la parcela, lo que provoca que se formen colas de surco sin poderse aprovechar en otros terrenos o a través del reciclamiento.

CUADRO 5: DATOS SOBRE LAS PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA Y ESCORRENTIA, POR PARCELA.

PARCELA	PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA EN m ³ /RIEGO.	PERDIDAS POR ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN m ³ /RIEGO.	VOLUMEN TOTAL PERDIDO EN m ³ /RIEGO.
1	74.02	167.90	241.92
2	23.90	16.63	40.53
3	14.04	58.32	72.36
4	24.48	89.12	113.60
5	12.14	52.80	64.94
6	8.13	53.68	61.81
\bar{X}	26.19	73.07	99.19

Se hicieron comparaciones entre el volumen neto de agua requerido por el cultivo y el volumen aplicado, estos datos se presentan en el cuadro 6. Se observa que se pierde un volumen máximo de hasta 241.92 metros cúbicos por riego, por parcela, lo que representa un 226.43% de sobre-aplicación de agua. Esto obedece a que no hay un control estricto en la entrega del agua a los usuarios en vista de que el método actual de distribuir el agua, es por turno rotativo, variando estos porcentajes de sobre-aplicación entre 76.92 hasta 226.43%.

CUADRO 6: DATOS SOBRE LA APLICACION DE VOLUMENES DE AGUA POR PARCELA.

PARCELA	VOLUMEN BRUTO APLICADO EN CADA RIEGO EN METROS CUBICOS.	VOLUMEN NETO REQUERIDO POR CULTIVO PARA LLEVAR A CAPACIDAD DE CAMPO m ³ /RIE.	SOBRE-APLICACION	
			M ³	%
1	348.88	106.84	241.92	226.43
2	69.33	28.80	40.53	140.73
3	113.40	41.04	73.36	176.31
4	224.40	110.90	113.50	102.34
5	149.36	84.42	64.94	76.92
6	99.75	37.94	61.81	162.91

La mayoría de los caudales introducidos en las parcelas estudiadas son bajos, estos varían de 8.66 a 13.83 litros por segundo, con un promedio de 11.32 litros por segundo. Las áreas irrigadas son pequeñas sin embargo el tiempo que utiliza el agricultor-usuario para regar su parcela (1 manzana), es alto, comparado con el tiempo de infiltración necesario para cada parcela ver el cuadro 7 y 8, donde puede observarse que en todos los casos se está aplicando el agua por mayor tiempo que el requerido por el cultivo para que se infiltre la lámina neta de reposición de humedad.

CUADRO 7: DATOS SOBRE EL AREA DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS, CAUDALES INTRODUCIDOS Y TIEMPO USADO POR EL AGRICULTOR PARA REGAR 1 MANZANA DE TERRENO.

PARCELA	AREA HAS.	CAUDAL INTRODUCIDO LITROS POR SEGUNDO	TIEMPO DE RIEGO USADO POR EL AGRICULTOR 1 Mz.
1	0.080	12.11	8 horas
2	0.060	9.60	3 horas
3	0.072	10.00	7 horas
4	0.160	13.80	6 horas 10 min.
5	0.090	13.83	3 horas 24 min.
6	0.072	8.66	5 horas
\bar{x}	0.089	11.32	5 horas 23 min.

6.3. EVALUACION DE LA APLICACION DEL AGUA A LA PARCELA.

6.3.1. VELOCIDAD DE INFILTRACION.

Se realizó mediante el cálculo de los parámetros de velocidad de infiltración, de las láminas netas de reposición, se usó el método de "Entradas y Salidas"; las mediciones fueron hechas con el aforador WSC1, éste tiempo se calculó con el tiempo utilizado por el agricultor que es de 5 horas 23 minutos en promedio, observándose que se esta aplicando agua por mayor tiempo que el necesario, produciendo pérdidas y desperdicios por percolación profunda y escorrentía superficial a causa de una sobre-aplicación de este recurso, por lo que se infiere que el agricultor-usuario desconoce la lámina neta de reposición de agua para llevar a capacidad de campo dichas parcelas.

Se obtuvo un promedio de correlación de 88% entre los datos de velocidad de infiltración medidos en el campo y los calculados con la e-

cuación de Kostiakov-Lewis, siendo los valores promedios de $K = 15.42$, para $n = -0.3301$, lámina neta 7.57 centímetros, $t_i = 181$ minutos, quedando la función promedio de infiltración así: $I = 15.42 t^{-0.3301}$, ver el cuadro 8.

CUADRO 8: DATOS SOBRE LOS PARAMETROS DE VELOCIDAD DE INFILTRACION Y TIEMPO DE INFILTRACION DE LA LAMINA NETA DE REPOSICION PARA LLEVAR A CAPACIDAD DE CAMPO CADA UNA DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS.

PARCELA	K	n	LAMINA NETA DE REPOSICION EN CENTIMETROS.	TIEMPO DE RIEGO USADO EN MIN.	TIEMPO DE INFILTRACION MINUTOS.
1	2.20	-0.0159	13.37	449	359
2	10.07	-0.0326	4.80	39	31
3	3.29	-0.2431	5.72	399	319
4	13.33	-0.5000	6.92	302	242
5	47.86	-0.7910	9.38	92	74
6	15.60	-0.3914	5.27	77	62
\bar{X}	15.42	-0.3310	7.57	226	181

FUNCION PROMEDIO: $I = Kt^n$; $I = 15.42 t^{-0.3301}$

6.3.2. MUESTREO DE SUELOS.

Con el propósito de conocer las constantes de humedad del suelo y sus características físicas se realizó un muestreo por estratos, a profundidades que van de 0 hasta 87 centímetros, estos datos fueron utilizados para el cálculo de la lámina neta de riego, y ver el comportamiento del agua a través del suelo por medio de las curvas características de retención de humedad a diferentes tensiones, en atmósferas, ver el cuadro 13"A".

6.3.2.1. CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD.

En la figura 12 puede observarse las curvas características de retención de humedad para las cuatro principales clases texturales de suelos de la unidad de riego La Palma. Para el suelo arcilloso el agua es removida lentamente y los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente son altos, habiendo un alto porcentaje de agua disponible a las plantas entre estos dos valores, sin embargo, este suelo en el punto de marchitez permanente se observa un alto porcentaje de humedad, pero esta puede no ser disponible a las plantas. En la curva para el suelo arenoso se puede observar que al aumentar las atmósferas de tensión, el agua es liberada más lentamente y de forma uniforme, alcanzando porcentajes de humedad en el punto de marchitez permanente, bastante bajos.

Para los suelos con textura arcillo-arenosa, entre 1/3 y 1 atmósfera de tensión, el agua es liberada más o menos bruscamente, pero al incrementar la tensión de 5 a 15 atmósferas, esta es liberada más lentamente, determinándose valores de punto de marchitez permanente más altos que en el suelo franco arenoso y el suelo franco.

La curva para el suelo franco, se observa que la liberación de humedad es uniforme, lenta y bien distribuida en todas las diferentes tensiones, considerándose a esta curva como un intermedio entre las curvas de arcilla y arena.

Como puede notarse en la figura 12, los suelos de textura gruesa como las arenas tienen menos agua disponible a las plantas que los suelos arcillosos y por lo tanto deben ser regados con frecuencias de riegos cortas y láminas de agua más pequeñas que los suelos arcillosos.

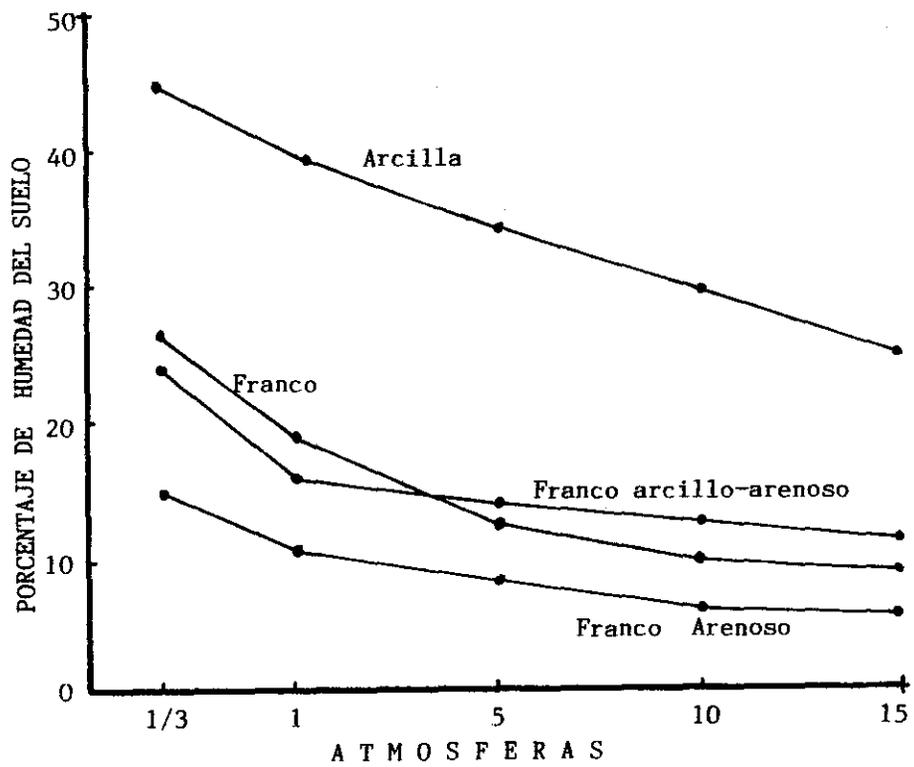


FIGURA 12: CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD PARA CUATRO SUELOS DE LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA.

6.4. ENCUESTA A LOS AGRICULTORES-USUARIOS DE LA UNIDAD DE RIEGO.

En base a la muestra estadística se realizaron las encuestas a 42 usuarios de la unidad, dichos resultados fueron los siguientes:

- A. Area regada: En la unidad de riego el área regada en los dos últimos años, 1990-91, han superado el área de riego del año 1992, debido a que el cobro de la cuota por servicio de riego, ha aumentado año con año en vista de los altos costos de mantenimiento y operación de dicha unidad, ver el cuadro 9 y la figura 13.
- B. Principales cultivos: Los principales cultivos de la unidad lo representan los pastos con 35.1%, mango 22.72%, maíz 16.32, tabaco 5.70% y otros cultivos con 20.17%; otros cultivos lo constituyen la okra, loroco, pepino, pepinillo, limón, sandía, maicillo y tomate, eventualmente chile dulce, ver el cuadro 9 y la figura 14.

CUADRO 9: SUPERFICIE TOTAL SEMBRADA POR AÑO Y POR CULTIVO, CUOTA POR SERVICIO DE RIEGO EN LA UNIDAD LA PALMA.

AÑO	CUOTA Q/Mz.	SUPERFICIE HAS.	CULTIVOS				OTROS CULTIVOS
			PASTOS	MANGO	MAIZ	TABACO	
1990	70.00	114.82	36.92	23.00	24.68	4.00	26.22
1991	100.00	122.78	42.91	23.00	16.47	7.00	33.40
1992	135.00	112.48	42.91	33.55	16.00	9.00	11.02
\bar{X}		116.69	40.91	26.52	19.05	6.66	23.54
%		100.00	35.1	22.72	16.32	5.70	20.17

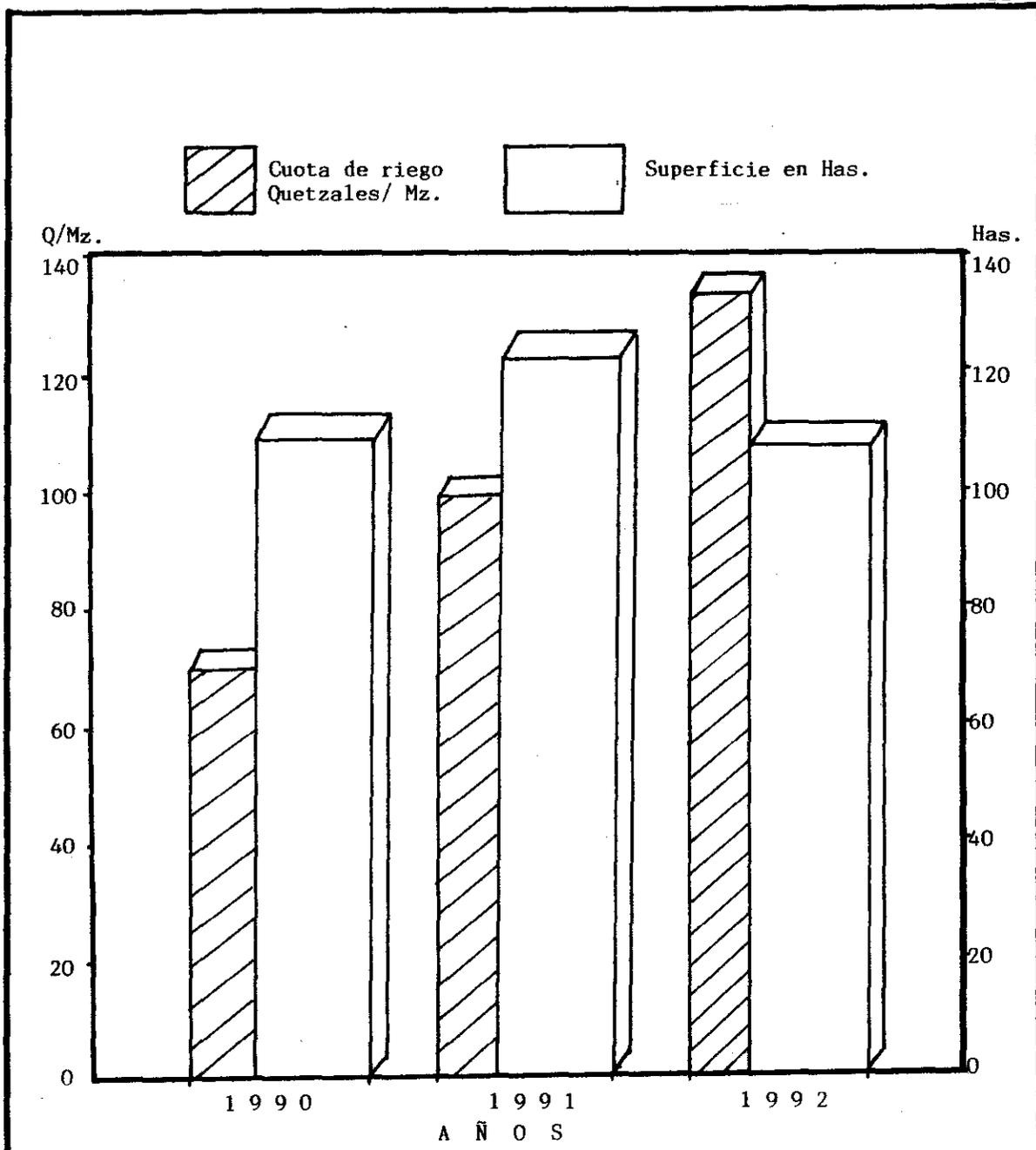


FIGURA 13: AREA REGADA POR AÑO Y CUOTAS DE RIEGO EN LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA.

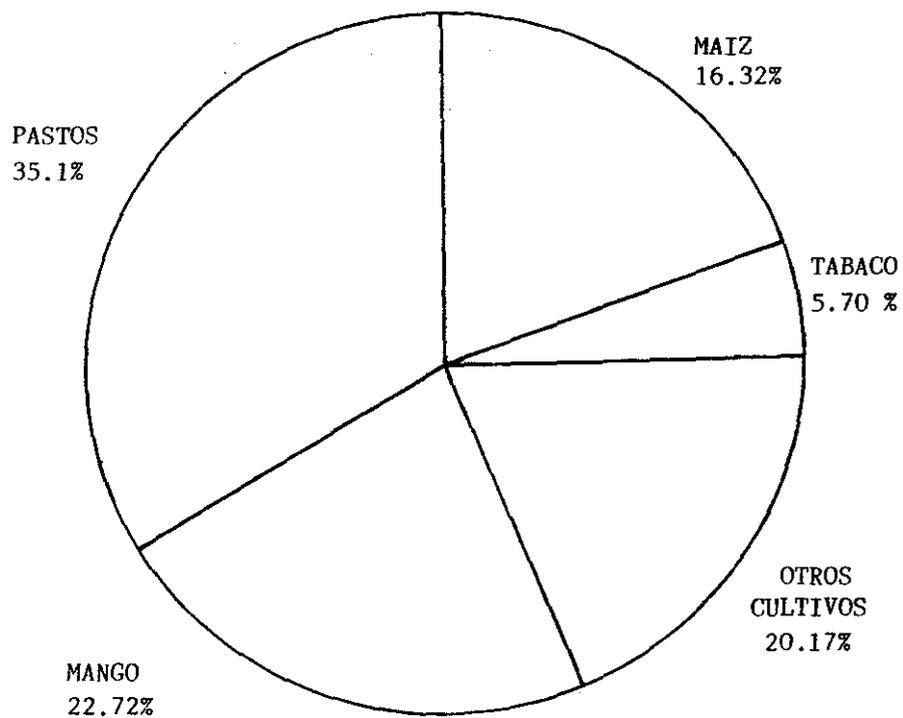


FIGURA 14: PORCENTAJES DEL AREA SEMBRADA POR CULTIVO EN LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA.

C. Caracterización del usuario: Los agricultores de la unidad La Palma, riegan sus cultivos desde hace más de 48 años como término medio, para ese tiempo contaban con una toma de agua cuyos dueños eran unos 12 agricultores. El estado se encargó de construir los canales e incorporó más agricultores, o sea que en su mayoría empezaron a utilizar el riego cuando se implementó la unidad en el año 1973. Desde entonces han aprendido a regar solos, con su propia experiencia y sus propios medios. Nunca han sido capacitados en riego y solo conocen el riego por surcos.

No están organizados en comité de usuarios, sin embargo si asisten a reuniones que convoca la unidad de riego, la única relación que existe, se limita a las visitas del canalero, solicitud de agua y las reuniones con el jefe de la unidad, en las cuales se discuten problemas de funcionamiento de dicha unidad (como reparación de canales, actualización del padrón de usuarios, aumento a las cuotas de riego).

D. Manejo del agua: El 100% de los agricultores conocen el volumen de agua únicamente por apreciación visual, por lo que desconocen el volumen de agua que necesita su cultivo y el riego aparece como una técnica a un nivel muy empírico, la práctica del riego es poco controlada y arbitraria, dándose pérdidas de todo tipo.

Según el cuadro 10, los criterios utilizados por el agricultor para quitar el agua del surco son propios de cada agricultor. No utilizan bases técnicas de medición de caudales para relacionarlas con las necesidades del cultivo, menos aún conocer la frecuencia de riego, esta es fijada por la unidad en base a turnos rotativos cada 8 días. Según el agricultor las colas de surco son inevitables. El 80% de ellos dejan colas de surco que se pierden y tratan de regar el máximo número de surcos que sea posible.

CUADRO 10: CRITERIOS UTILIZADOS POR EL AGRICULTOR PARA QUITAR EL AGUA DURANTE EL RIEGO (% DE USUARIOS).

C R I T E R I O	%
Cuando el agua llega a la mitad del surco	0
Poco antes de llegar al final del surco	6
Cuando llega al final del surco	14
Después de desaguar	80

- E. Tiempo de riego: Los tiempos de riego para regar una manzana son muy variados, según el agricultor se necesita entre 3 y 8 horas para regar una manzana de tierra.
- F. Interés de los usuarios en regar más: El 60% de los agricultores quieren regar más pero no les autorizan más área, el 28% si quieren regar más pero no tienen más terrenos y solo el 12% no quieren regar más porque las cuotas por servicio de riego aumentan de precio cada año.

En relación a la rentabilidad del riego, el 100% consideran la utilización del riego rentable, generalmente los agricultores hacen una relación entre hace 30 ó 40 años atrás y lo comparan con la actualidad, consideran que sus ingresos y nivel de vida es mucho mejor hoy, ya que a través de la aplicación del agua de riego a sus parcelas, las producciones han aumentado y no se pierden por causa de sequias.

7. CONCLUSIONES

1. La eficiencia total de riego en la unidad La Palma, es de 31.23%. Sus componentes son: Eficiencia de conducción 76% y Eficiencia de aplicación 41.1%.
2. Las causas de las pérdidas de agua por conducción son: no existen compuertas en la mayoría de tomagranjas, existen grietas y perforaciones en las paredes de los canales, falta de unión entre las sizas de las pizarras y las plantillas, así como abundante maleza en los canales no revestidos lo que provoca desbordamientos del agua de riego.
3. La eficiencia de conducción para los canales revestidos es de 88.83% y para los canales no revestidos es de 63.40%.
4. Las principales causas de la baja eficiencia de aplicación parcelaria son: Los agricultores riegan con cantidades de agua superiores a los requerimientos hídricos de sus cultivos. Creando una sobre-aplicación de hasta 226.43% producidas por escorrentía superficial y percolación profunda. Esto obedece a que no hay un control estricto en la entrega del agua.
5. Todos los agricultores poseen similares conocimientos y aplican las mismas técnicas de riego, todos han aprendido en la practica lo que saben sobre riego y el tipo de entrega de agua (turno rotativo) ha hecho que el agricultor se acostumbre a regar con demasiada agua, condición que los ubica en un nivel empírico respecto a la tecnología en riego.
6. Todos los agricultores consideran rentable el uso del riego, en vista de que éste ha elevado la producción de sus cultivos y por ende el nivel de vida.
7. Entre las principales limitaciones que afectan el normal desarrollo de la unidad estan los que se citan a continuación: Los factores y limitaciones

de caracter financiero e institucional, ya que existe escasez de fondos pa
ra cubrir los costos de operación y mantenimiento para rehabilitar la mis-
ma. Los fondos recaudados por concepto de cobro de cuotas de riego no son
reinvertidos en su totalidad a la unidad.

8. RECOMENDACIONES

1. Realizar un inventario de desperfectos físicos de la red de conducción, en base a éste rehabilitar dichos canales reparando las grietas y perforaciones.
2. Los canales no revestidos deben permanecer libres de malezas y darles el correcto mantenimiento, actividad que involucra el chapeo y desazolve. De ser posible solicitar al estado la rehabilitación de los mismos.
3. Reglamentar el establecimiento de compuertas en las tomagranjas. Sería de gran beneficio si las compuertas estuvieran bien ajustadas y aforadas.
4. El cobro de cuotas por servicio de riego, conviene hacerlo por volumen de agua utilizada, así se evitarán desperdicios y se obtendrá una mayor eficiencia de aplicación parcelaria.
5. Localizar en un mapa todas las parcelas comprendidas dentro de los suelos pesados e identificar a sus dueños y normar que la frecuencia de riego sea más larga, esto ayudará a los agricultores-usuarios a bajar sus costos y se podrá autorizar más área para siembra.
6. Desarrollar un programa de capacitación orientado a que los usuarios del riego mejoren el uso y manejo del agua, enfatizándose en los siguientes aspectos: Volumen de agua requerido por sus cultivos, tiempo de riego, longitud de surcos, uso de estructuras aforadoras, frecuencias de riego y diversificación de cultivos especialmente los de exportación.
7. Se recomienda que los fondos que se generen por cobro de cuotas de riego, sean reinvertidos en forma total en la misma ya que esto coadyuvará a que la unidad funcione con alguna solvencia económica.

9. BIBLIOGRAFIA

1. AGUIRRE, M. V. 1990. Evaluación de la eficiencia de riego y del nivel tecnológico del manejo del agua por el agricultor en la Unidad de Riego La Fragua, Zacapa. Tesis. Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 81 p.
2. CRUZ, J. R. DE LA. 1976. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, basado en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
3. ESPINOSA, V. E. 1976. Los distritos de riego, su administración, operación y conservación. Mexico, D.F., CECSA. 623 p.
4. FRENCH, H. R. 1988. Hidráulica de canales abiertos. 2 ed. Mexico, Macgrawhill. 724 p.
5. GUATEMALA. DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO. 1982. El aforador tipo Balloffet. Guatemala, DIRYA. Memorandum Técnico no. 31. 25 p.
6. _____. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. 1983. Hoja cartográfica Río Hondo, no. 2261 II. Guatemala. Escala 1:50,000. Color.
7. _____. 1983. Mapa climatológico de Guatemala, según el sistema Thornwaite, hoja no. 2261 I. Guatemala. Escala 1:50,000. Color.
8. _____. INSTITUTO DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Tarjetas de control de la Estación Meteorológica La Fragua, Zacapa. Guatemala. 1992. Sin publicar.
9. GOLDBERG, S. P. 1975. Técnicas y métodos para el uso eficiente del agua en la agricultura; principios y técnicas de irrigación a presión. Mexico, Centro Regional de Ayuda Técnica. 14 p.
10. GRASSI, S. P. 1968. Estimación de los usos consultivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Agua y Tierra. 230 p.
11. _____. 1977. Operación de sistemas de riego. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Agua y Tierra. 230 p.
12. GUNDERSEN, W. 1983. Riego y manejo de agua. 2 ed. Guatemala, Impresos Guatemala. 353 p.
13. ISRAELSEN, O. W.; HANSEN, V. E. 1979. Principios y aplicaciones del riego. Trad. por Gilberto García Palacios. 2 ed. Barcelona, España, Reverté. 396 p.
14. PALACIOS, E. 1966. Cuanto, cuando y como regar. Mexico, Secretaría de Recursos Hidráulicos. 66 p.

15. PROGRAMA REGIONAL DE AGROMETEOROLOGIA: CENTRO DE AGRICULTURA TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (Gua). 1991. El riego en el distrito la Fragua. Guatemala, CATIE. 52 p.
16. RAMIREZ, G. G. 1986. Diagnóstico de la eficiencia de funcionamiento de la Unidad de Riego Nicá, Malacatán, San Marcos. Tesis. Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 84 p.
17. ROJAS, O. 1982. Hidrometría de operación de unidades de riego. In Curso de administración, operación y mantenimiento de unidades de riego. (1982, Guatemala). Memoria. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. p 9-10.
18. SANDOVAL, J. E. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 354 p.
19. SAPIR, E. 1976. La irrigación por surcos. Trad. por Pinjas Koren. Is-rael, Departamento de Capacitación para el Extranjero. 52 p.
20. SEMINARIO IBEROAMERICANO DE RIEGO Y DRENAJE (1, 1982, España). Conclusiones. España, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 366 p.
21. SEMINARIO SOBRE RIEGO PRIVADO EN GUATEMALA (1, 1992, Guatemala). Conclusiones. Guatemala, FAO. 24 p.
22. SIMMONS, CH. S.; TARAMO, J.; PINTO, J. 1959. Clasificación de reconoci-miento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Salsona. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
23. THORNE, D.; PETERSON, H. 1964. Técnicas de riego. Trad. por José Luis Lepe. 2 ed. Mexico, D. F., CECOSA. 481 p.
24. VEGA, G. J. 1978. Uso y manejo del agua. Mexico, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 209 p.
25. ZURITA, R. J. 1978. Obras hidráulicas. 3 ed. España, CEAC. 260 p.

R. Zurita ^{10. 00.}



10. A P E N D I C E

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

CUADRO 13"A": CONSTANTES DE HUMEDAD Y CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS

DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO
DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

PROYECTO: Unidad La Palma

FECHA: Mayo de 1993.

MUESTRA	PROFUNDIDAD CMS.	TEXTURA	% DE HUMEDAD EN ATMOSFERAS					% DE HUME DAD ANTES DEL RIEGO	D.ap	pH
			1/3	1	5	10	15			
C1-1	0 - 30	Arcilla	44.45	38.67	35.32	30.47	25.68	29.25	1.0031	7.5
C1-2	30 - 60	Arcilla	44.96	40.32	35.87	31.84	21.82	28.85	1.0331	7.6
C1-3	60 - 84	Franco Ar.	28.69	25.20	19.71	18.71	17.90	14.91	1.1524	8.3
C2-1	0 - 30	Franco A.	14.83	10.29	8.35	6.76	6.44	8.64	1.2729	7.6
C2-2	30 - 58	Franco A.	20.89	12.30	8.74	7.06	6.80	14.74	1.4191	7.4
C3-1	0 - 30	Arcilla	43.03	32.71	29.69	28.04	28.00	23.10	0.9582	7.6
C3-2	30 - 60	Arcilla	28.72	24.12	20.34	19.87	19.08	17.33	1.1198	7.8
C4-1	0 - 30	F.Ar.A.	23.24	15.51	13.07	12.90	12.00	12.11	1.0010	7.2
C4-2	30 - 60	F. Arenoso	18.92	14.76	14.19	12.28	12.05	8.93	1.1115	7.3
C4-3	60 - 68	F. Arenoso	13.75	11.41	11.38	10.53	6.23	10.84	1.1116	7.1
C5-1	0 - 30	Franco	26.10	18.32	13.31	11.02	10.86	19.33	1.3217	6.8
C5-2	30 - 58	Franco	22.39	16.41	11.90	9.53	9.36	15.48	1.3425	6.9
C6-1	0 - 30	Franco	21.12	14.89	11.26	9.79	9.02	17.37	1.1032	6.7
C6-2	30 - 60	Franco	31.54	19.34	14.33	11.98	11.42	19.05	1.1525	6.9
C6-3	60 - 87	Franco L.	31.04	23.30	15.11	12.08	11.41	20.19	1.2157	7.0

Ar= Arcilla, L= Limo, A= Arena, F= Franco.

Fecha: _____

Boleta de encuesta dirigida a los usuarios de la Unidad de Riego La Palma.--

1. Extensión de la parcela _____ cultivo _____
Es propietario _____ Arrendatario _____ Medianero _____
2. Extensión que posee bajo riego: _____
3. ¿Que experiencia ha tenido en riego?
Nada _____ Poco _____ Algo _____ Mucho _____
Donde: _____
Desde cuando maneja el riego: _____
4. ¿Que métodos de riego conoce? Surcos _____ Melgas _____
inundación _____ otros _____
5. ¿Considera usted que sus conocimientos en el uso del agua han aumentado desde que empezó a utilizar el riego?
Nada _____ Poco _____ Algo _____ Mucho _____
Si han aumentado de que forma: Cursillos _____
Asesoría directa: _____ Visitas demostrativas _____
Propia experiencia _____
6. ¿Esta organizado en comite de usuarios? Si _____ No _____
Asiste a las reuniones: _____
7. ¿Conoce el volumen de agua que utiliza para el riego?
Si _____ No _____ Si lo conoce es por apreciación visual _____
Lo mide _____ Si lo mide, como lo mide _____
8. ¿Como sabe en que momento cortar el agua del surco?
Cuando el agua llega a la mitad del surco _____
Poco antes de llegar al final del surco _____
Cuando llega al final del surco _____
Después de desaguar _____
9. ¿Como decide cada cuantos días regar?
Por turno que le fija la unidad de riego _____
Según el cultivo _____
Según el tipo y humedad del suelo _____
Por el grado de marchitez de la planta _____
Otros _____
10. Cuantos surcos riega simultaneamente: _____
11. ¿Al momento del riego como maneja las colas de surcos?
No deja colas _____
Recicla las colas _____
Deja colas que se pierdan _____
12. ¿En cuantas horas riega una manzana de tierra? _____
13. ¿Quiere usted regar más área?
Si quiere regar más pero no hay terreno _____
Si quiere regar más pero no autorizan agua _____
No quiere regar más _____
14. ¿Considera rentable la utilización del riego? Si _____ No _____
Porque: _____



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

Sem. 009-94

LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE RIEGO EN LA UNIDAD DE RIEGO LA PALMA, RIO HONDO, ZACAPA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: EMERIO ENECON PORTILLO CABRERA

CARNET: 33023

HASIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Gustavo Méndez
 Ing. Agr. Raúl Escobar
 Ing. Agr. Tomás Padilla

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.

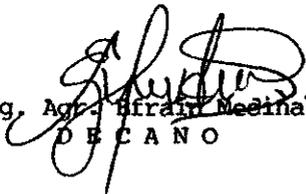

 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
 ASESOR


 Ing. Agr. Edwin Contreras Orellana
 ASESOR


 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
 DIRECTOR DEL IIA



I M P R I M A S E


 Ing. Agr. Miriam Medina Guerra
 DECANO



c.c. Control Académico

Archivo
 /pr.

APARTADO POSTAL 1545 - 01901 GUATEMALA, C. A.
 TELEFONO 769794 - FAX (5022) 769770

