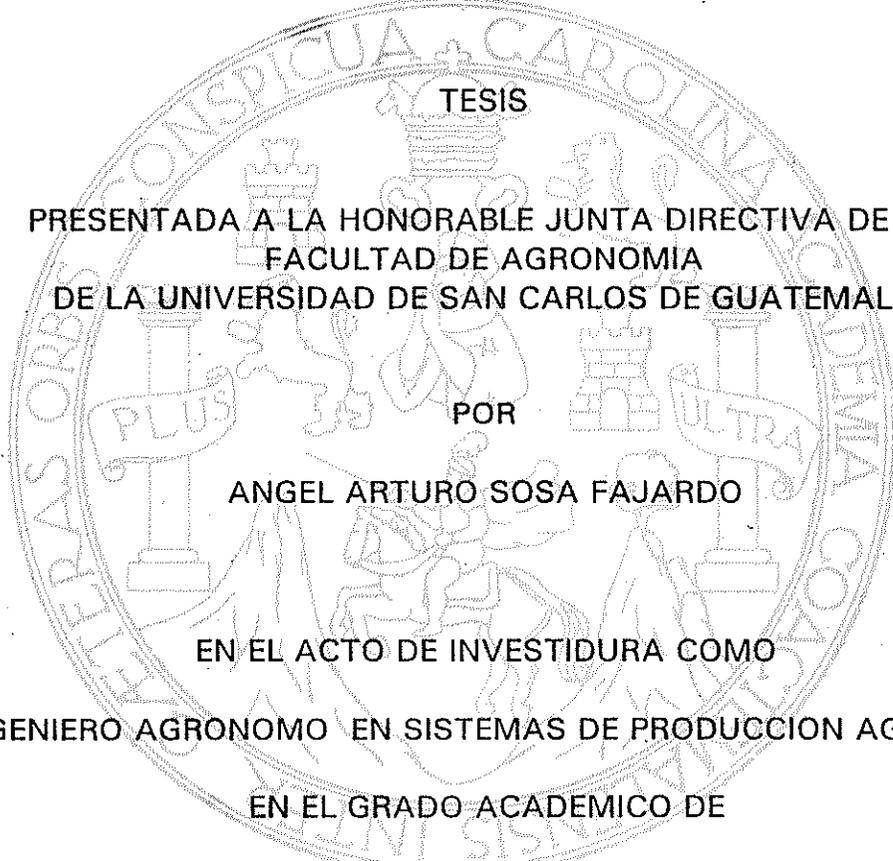


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

**"EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE RIEGO EN LA UNIDAD EL GUAYABAL
ESTANZUELA, ZACAPA".**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a saint or historical figure, holding a staff and a book. The figure is surrounded by a Latin inscription: "UNIVERSITAS CONSPICUA CAROLINAE" at the top and "SALUTEM AGRI QVOD VIVIT" at the bottom. The seal is rendered in a light, dotted style.

TESIS

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

POR

ANGEL ARTURO SOSA FAJARDO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRONOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

ING. AGR. EFRAIN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	ING. AGR. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA
VOCAL I:	ING. AGR. WALTER ESTUARDO GARCIA TELLO
VOCAL II:	ING. AGR. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ
VOCAL III:	ING. AGR. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ F.
VOCAL IV:	PROF. JACOBO BOLVITO RAMOS
VOCAL V:	BR. JOSE DOMINGO MENDOZA CIPRIANO
SECRETARIO:	ING. AGR. EDIL RENE RODRIGUEZ QUEZADA

Guatemala, noviembre de 1999.

Señores:
Honorable Junta Directiva
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 EL GUAYABAL,
ESTANZUELA, ZACAPA."**

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

Sin otro particular me suscribo de ustedes.

Atentamente,

Angel Arturo Sosa Fajardo

TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA

ESTANZUELA, ZACAPA.

COLEGIO "LA SALLE"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA.

FACULTAD DE AGRONOMIA

ACTO QUE DEDICO

A: DIOS TODOPODEROSO

MIS PADRES: ZOILA V. FAJARDO
ARTURO SOSA

MIS ABUELOS: CASIMIRA SOSA
MERCEDES FAJARDO (Q.E.P.D.)
FIDELINO SOLIS (Q.E.P.D.)

MI ESPOSA: AMANDA MARQUEZ

MIS HIJOS: JOSE ARTURO, ALEJANDRA Y MARISA .

MIS HERMANOS: MARITZA E. SOSA
LUIS FERNANDO SOSA
LUCRECIA SOSA (Q.E.P.D.)

MI FAMILIA EN GENERAL.

RECONOCIMIENTO

EL AUTOR DESEA EXPRESAR SU AGRADECIMIENTO SINCERO A:

- **ING. AGR. MSC. VICTOR CABRERA CRUZ, POR LA ORIENTACION, ASESORIA Y REVISION DEL PRESENTE TRABAJO DE TESIS.**
- **ING. EMERIO ENECON PORTILLO CABRERA, POR SU ORIENTACION Y ASESORIA EN EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACION.**
- **A LOS SEÑORES: VICTOR CABRERA, ENRIQUE CABRERA, CARLOS CABRERA, CARLOS MORALES, ELMER ORELLANA Y AL PERSONAL TECNICO, ADMINISTRATIVO Y DE CAMPO DE LA UNIDAD DE RIEGO EL GUAYABAL, POR SU COOPERACION EN EL TRABAJO DE CAMPO.**

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
RESUMEN	vii
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3. MARCO TEORICO.....	5
3.1 MARCO CONCEPTUAL.....	5
3.1.1 Antecedentes del desarrollo del riego en Guatemala.....	5
3.1.2 Importancia del riego.....	5
3.1.3 El riego superficial.....	6
3.1.4 Evaluación de un sistema de riego.....	7
3.1.5 Principales pérdidas y desperdicios de agua en una unidad de riego.	8
3.1.6 Eficiencia global del sistema.....	10
3.1.7 Medición del agua de riego.....	11
3.1.8 Avance y recesión del agua aplicada.....	15
3.1.9 Conducción del agua de riego.....	17
3.1.10 Métodos de distribución de agua.....	19
3.1.11 Eficiencia del sistema de bombeo.....	21
3.1.12 Planificación, diseño, operación y mantenimiento de proyectos de riego.....	22
3.1.13 Otras investigaciones sobre eficiencias de riego.....	24
3.2 MARCO REFERENCIAL.....	26
3.2.1 Descripción general del área de estudio.....	26
3.2.2 Características generales de la unidad de riego.....	27

4. OBJETIVOS	31
5. METODOLOGIA	32
5.1 Eficiencia global del sistema.....	32
5.2 Cálculo de la eficiencia de conducción.....	32
5.3 Cálculo de la eficiencia de aplicación.....	33
5.4 Medición del avance y recesión del agua aplicada.....	36
5.5 Cálculo de la velocidad de infiltración.....	37
5.6 Eficiencia del sistema de bombeo.....	38
5.7 Encuesta a los usuarios.....	41
6. RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
6.1 Eficiencia Global del sistema.....	42
6.2 Eficiencia de conducción.....	42
6.3 Eficiencia de aplicación.....	47
6.4 Pérdidas por Escorrentía Superficial y por Percolación Profunda...	50
6.5 Avance y Recesión.....	51
6.6 Velocidad de infiltración.....	52
6.7 Eficiencia del sistema de bombeo.....	53
6.8 Encuesta a los agricultores - usuarios	54
6.9 Características de la unidad.....	57
6.10 Calidad del agua.....	59
7. CONCLUSIONES	60
8. RECOMENDACIONES	62
9. BIBLIOGRAFIA.....	64
10. ANEXOS.....	67

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	PAGINA
1.	GRAFICA MOSTRANDO LAS FASES DEL RIEGO POR SUPERFICIE	16
1A.	PERDIDAS DE AGUA EN RIEGO POR GRAVEDAD	82
2A.	PLANTA, ISOMETRIA Y DIMENSIONES DEL MEDIDOR.....	83
3A.	VERTEDERO WSC 1, DETALLE DE CONSTRUCCION	84
4A.	CROQUIS DEL SISTEMA DE RIEGO "EL GUAYABAL".....	85
5A.	DIFERENCIAS DE NIVEL DEL SISTEMA DE BOMBEO	86
6A.	ESQUEMA MOSTRANDO LOS PUNTOS DE AFORO	87
7A.	ESQUEMA MOSTRANDO LA LOCALIZACION DE LOS AFORADORES, A LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PARCELA	88
8A.	COMPARACION DE EFICIENCIAS A NIVEL LATINOAMERICANO.....	89
9A.	COMPARACION DE EFICIENCIAS ENTRE UNIDADES DE RIEGO.....	89
10A.	GRAFICA MOSTRANDO LA EFICIENCIA DE CONDUCCION POR CANAL....	90
11A.	GRAFICA MOSTRANDO LA EFICIENCIA DE APLICACION.....	90
12A.	GRAFICA MOSTRANDO EL DPM. Y LA LHA. EN PORCENTAJE.....	91
13A.	GRAFICA MOSTRANDO LA SOBRE-APLICACION DE VOLUMENES DE AGUA.	91
14A.	GRAFICA MOSTRANDO EL VOLUMEN APLICADO POR EL AGRICULTOR Y EL REQUERIDO POR EL CULTIVO.....	92
15A.	GRAFICA MOSTRANDO LAS PERDIDAS DE AGUA	92
16A.	GRAFICA COMPARANDO LOS TIEMPOS DE APLICACION DEL AGUA.....	93
17A.	GRAFICA MOSTRANDO LA EFICIENCIA DEL EQUIPO DE BOMBEO	93
18A.	GRAFICA MOSTRANDO EL COMPORTAMIENTO DE AVANCE Y RECESION...	94
19A.	CURVAS DE LA BOMBA DE 150 HP.....	95
20A.	CURVAS DE LA BOMBA DE 250 HP	96
21A.	LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA UNIDAD DE RIEGO	97

22A. RED HIDROMETRICA DE LA UNIDAD DE RIEGO.....	98
23A. PROFUNDIDADES PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD MEDIA DEL AGUA CON MOLINETE EN CANALES	99
24A. GRAFICA MOSTRANDO LA SOBREALICACION, EL DEFICIT Y LA ME- JOR DISTRIBUCION DE LA HUMEDAD.....	100

INDICE DE CUADROS

CUADRO	CONTENIDO	PAGINA
1.	EFICIENCIA DE CONDUCCION Y LONGITUD DE CANALES REVESTIDOS..	43
2.	EFICIENCIA DE APLICACION DEL AGUA POR PARCELA	44
3.	CALCULO DE LA LR. DE REPOSICION PARA LLEVAR A C.C. LA ZONA PRINCIPAL DE RAICES, ASI COMO LA LHA. POR ESTRATOS.....	45
4.	DATOS DE APLICACION DE VOLUMENES, SOBRE-APLICACION Y EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO	46
5.	PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL POR PARCELA	48
6.	CALCULO DE LA INFILTRACION BASICA Y DE LA INTENSIDAD DE RIEGO PARA DETERMINAR SI EXISTE O NO SATURACION POR PARCELA...	49
7.	COMPARACION ENTRE EL VOLUMEN APLICADO Y EL TIEMPO UTILIZADO POR EL AGRICULTOR Y EL REQUERIDO POR EL CULTIVO.....	51
8.	DATOS SOBRE LOS PARAMETROS DE VELOCIDAD Y TIEMPO DE INFILTRACION DE LA LNR. PARA LLEVAR A CC. CADA UNA DE LAS PARCELAS	53
9.	DATOS NECESARIOS PARA ENCONTRAR EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO	54

10A.	DATOS SOBRE EL AREA DE LAS PARCELAS ANALIZADAS, CULTIVOS, CAUDALES INTRODUCIDOS Y TIEMPO DE RIEGO UTILIZADO POR EL AGRICULTOR	68
11A.	CALCULO DE LA LAMINA ACUMULADA POR TIEMPO ACUMULADO POR PARCELA	69
12A.	ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS FUNCIONANDO EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LA UNIDAD DE RIEGO	71
13A.	INFORME DEL ANALISIS FISICO DEL SUELO	72
14A.	DATOS DE VELOCIDAD DE INFILTRACION POR EL METODO DE ENTRADAS Y SALIDAS	73
15A.	REGISTRO DE CAUDALES Y PORCENTAJE DE EFICIENCIA	74
16A.	REGISTRO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION, METODO DE ENTRADAS Y SALIDAS	75
17A.	BOLETA DE ENCUESTA DIRIGIDA A LOS USUARIOS	76
18A.	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE BOMBEO	79
19A.	RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA.....	81

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE RIEGO EN LA UNIDAD "EL GUAYABAL"
ESTANZUELA, ZACAPA.

EVALUATION OF THE IRRIGATION EFFICIENCY IN THE GUAYABAL DISTRICT,
ESTANZUELA, ZACAPA.

RESUMEN

Guatemala cuenta con 5 distritos de riego integrados por 29 unidades, pretendiendo cubrir un área potencial de 15,222 hectáreas, regadas por sistemas de riego por gravedad o bombeo-gravedad. En las unidades no se ha logrado cubrir el área diseñada, debido a la baja eficiencia con que operan, ocasionando pérdidas de agua e incremento en los costos de operación del sistema; originado por el mal estado físico de la infraestructura de conducción y por un deficiente manejo del agua a nivel parcelario. La investigación se llevo a cabo en la Unidad de Riego "El Guayabal", localizada en el Municipio de Estanzuela, Departamento de Zacapa, con el objeto de evaluar la eficiencia con que opera el sistema y de esta manera determinar las posibles recomendaciones para mejorar el manejo y operación de la unidad y del recurso agua, ya que, desde que inicio sus operaciones en 1975 no se ha realizado ningún tipo de evaluación que establezca la eficiencia de la misma.

La metodología fue la siguiente: La Eficiencia Global del Sistema se estimó a través del producto de los promedios de las Eficiencias de Conducción por la de Aplicación. La Eficiencia de Conducción se calculó por el Método de Entradas y Salidas, haciendo aforos en los canales principal, primarios y secundarios, determinándose el porcentaje de volumen de agua entregado en la tomagranja respecto al derivado en la fuente. La Velocidad de Infiltración y la Eficiencia de Aplicación se determinaron por el Método de Entradas y Salidas. Utilizando el aforador Ballofet, se calculó el agua que se pierde por Escurrimiento Superficial. Se tomaron muestras de suelo y por el Método Gravimétrico se determinaron las propiedades físicas, el cálculo de la Lamina Neta de Reposición de agua para llevar a Capacidad de Campo la zona radicular del cultivo y determinando la Lamina Bruta se calculó las pérdidas por Percolación Profunda. Para determinar el Avance y Recesión se

delimitaron a lo largo del surco 3 estaciones distanciadas cada 20 metros, tomándose lecturas del tiempo de Avance y Recesión del agua en el surco, elaborándose las gráficas correspondientes. La Eficiencia del Sistema de Bombeo se determino relacionando la Potencia Util y la Potencia que debe recibir la bomba en su eje, calculándose los Caudales y la Carga Dinámica Total. Se encuestó a 15 agricultores que cultivaban Maíz y Okra principalmente y utilizaban el riego por gravedad, para determinar los conocimientos que poseen sobre riego.

Se concluyo que la Eficiencia Global del Sistema de Riego es de 52%, manteniéndose dentro del rango con que se han manejado algunas unidades, sus componentes son la Eficiencia de Conducción con 87% y la de Aplicación con 59%. Las pérdidas por Conducción son menores porque la mayor parte de los terrenos (867 Has.) son regadas por el Sistema de Goteo, estando la mayoría de compuertas selladas; y las pérdidas existentes se deben a infiltraciones por daños en la infraestructura. Las principales causas de la baja Eficiencia de Aplicación se deben a la sobre-aplicación de agua que aplica el agricultor en cada riego, perdiéndose por Percolación Profunda y Ecurrimiento Superficial hasta 776 Mts³./Ha. en las parcelas analizadas, ya que el agricultor desconoce los requerimientos hídricos del cultivo y a la vez no existe un control supervisado en la entrega del recurso agua.

La Eficiencia del Sistema de Bombeo es de 83% considerándose aceptable, sin embargo este equipo tiene un tiempo de operación de 17 años. Lo mas preocupante para la Asociación es el costo por consumo de energía eléctrica por la operación del sistema, representando un gasto mayor del 50% por demanda que por consumo; aunado a ello existe un porcentaje alto de usuarios morosos rehusados a solventarse. Las principales recomendaciones son: Hacer evaluaciones de las Eficiencias de Conducción y Aplicación en cada ciclo agrícola, Reciclar el agua que se desperdicia por Ecurrimiento Superficial, El MAGA fortalezca y consolide la organización, así como dotarla de un nuevo Sistema de Bombeo, Desarrollar un programa de capacitación permanente, para mejorar el uso y manejo del agua, Celebrar un Contrato por el servicio de agua entre el usuario y la Asociación.-

1. INTRODUCCION

Conforme han transcurrido los años desde que se inició el riego en Guatemala, se ha observado un desarrollo en la economía de las áreas donde funcionan las unidades de riego, ya que ha impulsado el empleo de mano de obra, la producción de alimentos, y en general elevando el nivel de vida del agricultor; pero a pesar de conocer la importancia que el riego representa, el uso del recurso agua aún se sigue desestimando, por lo que deberá pensarse en hacer un uso eficiente del recurso agua para lograr incrementar las producciones agrícolas mediante la participación efectiva del riego.

Actualmente nuestro país cuenta con cinco distritos de riego, integrados por 29 unidades, con las que se pretende cubrir un área potencial de 15,222 hectáreas regadas unas por sistemas de riego por gravedad y otras por sistemas de bombeo-gravedad; a la fecha en ninguna de las unidades se ha logrado cubrir el área diseñada, debido a la eficiencia con que operan (23).

Es importante resaltar que en todas las unidades de riego existe una sub-utilización del sistema de conducción, así como una eficiencia de riego muy baja; y la unidad de riego El Guayabal no escapa de ello, ocasionada por desperdicios de agua lo que se origina tanto por el mal estado de la infraestructura como de un deficiente manejo del agua en el ámbito parcelario donde existen pérdidas por escorrentía superficial, lo que viene a recargar los sistemas de drenaje y por percolación profunda, rebasando así las necesidades de lavado que tienen los suelos.

El área de estudio en la presente investigación se limita a la unidad de riego El Guayabal del municipio de Estanzuela, ubicado en el departamento de Zacapa, distrito No. III-2 de la región nor-oriental. Esta unidad de riego cuenta con un área de diseño de 1,500 hectáreas, de las cuales se riegan en promedio, entre 1,000 a 1,200 bajo el sistema de bombeo gravedad; pero actualmente se cubre un área de 945 Ha., de las cuales 867 se riegan bajo el sistema por goteo, y las 78 restantes a través del riego por surcos. Está abastecida por la fuente de agua del río Grande de Zacapa. Entre los factores incidentes en la baja cobertura del área a regar tenemos: las pérdidas de agua que se dan en la conducción, distribución y aplicación del agua de riego, la falta de recursos financieros para que el personal de la unidad cumpla las actividades de consolidación, mantenimiento

y mejoramiento de la infraestructura tanto del sistema de conducción como del equipo de bombeo, ligado a estos factores está la falta de organización de los agricultores-usuarios, así como una deficiente calendarización de los turnos de riego. Sabidos de la deficiencia de estos factores, el presente trabajo estará enfocado a evaluar la eficiencia de estas actividades, aunado a ello establecer el grado de conocimiento que el agricultor tiene sobre riego, con el objeto de proponer posibles soluciones al problema, de manera que se pueda hacer un mejor uso y manejo del recurso agua.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento de Zacapa se caracteriza por poseer una precipitación pluvial baja, llegando a un promedio anual de 500 mm.(6), insuficiente para la diversificación de cultivos, ya que la mayor parte del año se carece de lluvias. Esto nos demuestra que el riego es una garantía para los rendimientos y rentabilidad de la agricultura; por lo que el aprovechamiento del recurso agua exige una planeación, uso y manejo inteligente del mismo, a fin de utilizarla de manera adecuada para obtener los beneficios que puede proporcionar (18).

La unidad de riego El Guayabal integrada al distrito de riego No. III-2 de la región nor-oriental, localizada en el municipio de Estanzuela/Zacapa, inició sus operaciones en enero de 1975 (6) y desde entonces no se ha realizado ningún tipo de evaluación que establezca la eficiencia de dicha unidad para que dé las pautas a fin de mejorar el funcionamiento de la misma. Actualmente se riegan un promedio entre 1,000 y 1,200 Has., lo que representa el 67% del total del área diseñada. La baja eficiencia que se da en el manejo del agua dentro de la unidad ha ocasionado considerables pérdidas del recurso agua y por ende la sub-utilización de la infraestructura, ello ha contribuido a que el área de diseño a cubrir no llegue a ser regada en su totalidad, por lo que es necesario evaluar y cuantificar la eficiencia con que está operando el sistema para que la unidad cumpla con su objetivo.

El proyecto "Transferencia para Unidades de Riego" creado por el Ministerio de Agricultura a finales de 1991, tiene como objetivo transferir las unidades de riego a los usuarios, proponiéndoles de ésta manera que ellos mismos sean los administradores del sistema, lo que permitirá la participación activa de dichos usuarios en la operación de las unidades de riego (23).

La unidad de riego El Guayabal fue transferida a los usuarios, por lo que es necesario determinar la eficiencia de conducción en los canales, del sistema de bombeo y cuantificación de pérdidas por escurrimiento superficial y 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 grado de conocimiento que los agricultores-usuarios tienen sobre riego, para que de esta manera, tanto el Ministerio de Agricultura como los usuarios conozcan las condiciones en que entregaron y recibieron la unidad de riego El Guayabal.

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, quien mediante los esfuerzos de pequeños y medianos agricultores incorporaron áreas agrícolas con riego a la producción desde el siglo pasado. Así tenemos que a partir de 1930 la iniciativa privada ha llevado a cabo el aprovechamiento de la irrigación en diferentes zonas del país; a saber: Las grandes compañías bananeras que se establecieron en la Región Costera del Pacífico (Standard Fruit Co. y Compañía Agrícola de Guatemala) y en la del Atlántico (United Fruit Co.). Se estima que en 1952 existían 31,500 hectáreas bajo riego en todo el país (26).

A partir de 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 Ramírez, Los Ocotes, 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 26 proyectos, gran parte de ellos con financiamiento externo. En los últimos años la actividad del gobierno ha sido mínima en la realización de proyectos de mediana escala (26).

En la actualidad el área con infraestructura de riego y drenaje en Guatemala es de aproximadamente 125,000 hectáreas, de las cuales 109,778 corresponden al sector privado y 15,222 al sector público. El sector privado administra el 89% de las áreas bajo riego y el sector público un 11% con 29 unidades de riego.

3.1.2 Importancia del riego

El desarrollo económico y social de un país depende en gran medida de sus posibilidades para lograr una producción del sector agrícola acorde a sus necesidades de alimento, así como de tener excedentes ya sea para exportar a otros países o servir de base a su desarrollo industrial.

El riego se ha desarrollado más intensamente en las regiones áridas del mundo, en los cuales la precipitación es tan escasa que ningún cultivo puede producirse si no hay riego. Cuando el riego ha sido implementado en estas regiones, la agricultura que se desarrolla es altamente productiva, puesto que el agua puede aplicarse al cultivo en el momento y cantidad que éste lo requiera. La agricultura bajo riego permite hacer uso de otras técnicas como ferti-irrigación, mayores densidades de plantas, uso de variedades productivas, rendimientos más altos y además la inversión hecha en un cultivo es más asegurada que con la agricultura supeditada a la lluvia temporal (10).

3.1.3 El riego superficial

Israelsen & Hansen (18) define el riego como: "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 este sistema de riego, el agua se infiltra en el suelo mientras atraviesa el surco, hasta llegar a una capacidad de retención y una profundidad determinada por el caudal, la duración del riego, velocidad de flujo, topografía y condiciones físicas del suelo.

Empleando la conducción a cielo abierto y métodos de riego superficial, menos de la mitad del agua descargada llega a las plantas, ésta deficiencia se debe a infiltraciones, evaporación, una mala distribución del agua en las parcelas por una inadecuada preparación del terreno así como una falta de conocimiento por el agricultor en la aplicación del agua, con los consiguientes excesos de escorrentía y la subsecuente percolación profunda (9). El riego superficial posee los sistemas que mayores pérdidas de agua ocasionan su uso (2). Este sistema 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 (17).

3.1.3.1 Ventajas y Desventajas del riego superficial

A. Ventajas

- En superficies de terreno plano la inversión inicial 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.
- Puede usarse cuando hay bastante agua y poco peligro de inundación.

B. Desventajas

- Requiere de grandes volúmenes de agua.
- Hay pérdidas de agua por conducción.
- Altas pérdidas de agua en la conducción parcelaria por 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 (24).

3.1.4 Evaluación de un sistema de riego

Un sistema de riego puede evaluarse a través de la eficiencia de conducción y de aplicación (12).

Palacios (22) indica que la eficiencia de conducción 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. La eficiencia de aplicación indica como el agricultor maneja el agua; también por comparación entre las eficiencias obtenidas en varios ciclos agrícolas se puede saber si se han mejorado o no los métodos de riego y si han aplicado las láminas adecuadas.

Cada valor de estas eficiencias es puntual que varía y está sujeta a varios factores, por lo que se deben calcular periódicamente, de preferencia en cada ciclo agrícola. Ambas eficiencias tienen fuertemente influencia en las láminas de riego por lo que es muy importante conocer la variación de éstas a través del tiempo,

para poder estimar obviamente las variaciones de los coeficientes unitarios de requerimientos de riego o lámina de agua (22).

La eficiencia de riego evalúa únicamente aspectos de operación, lo que comprende los conceptos de riego y drenaje, lo que incluye la captación de las aguas, derivación o almacenamiento, distribución por las redes principal y secundaria, entrega a la red terciaria y finalmente la entrega a los usuarios en uno o más puntos del perímetro de sus tierras para finalmente recolectar los sobrantes de agua superficial y sub-superficial (22). La operación del sistema de riego está referida al conjunto de labores técnico-administrativas que tienen como objetivo reponer tanto las obras civiles como agronómicas, como las tierras beneficiadas; y asistir técnica, educacional y económicamente a los usuarios (9).

3.1.5 Principales pérdidas y desperdicios de agua en una 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 (12).

3.1.5.1 Pérdidas y desperdicios en el sistema de conducción

A. Pérdidas por evaporación

Estas pérdidas tienen poca importancia debido a que el área evaporante está reducida; en general es la representación del sistema en operación de una propiedad durante el riego por gravedad. La superficie expuesta a la pérdida por evaporación están constituidas por los canales principales y laterales de riego y drenaje, que constituyen aproximadamente del 5 al 10% del área cultivada (9).

B. Pérdidas por infiltración

Estas se dan a través de las paredes de los canales, relacionándose a la longitud, al perímetro mojado y sobre todo el estado físico de los canales de riego (12).

Del total de pérdidas por conducción, las debidas a la infiltración por lo general son las que cobran mayor importancia (4). El perímetro mojado puede disminuirse no elevando el tirante de operación y concentrándose en áreas pequeñas de recorrido de agua por la red de riego en determinadas épocas cuando

sea posible (23). El mantenimiento de los caudales con régimen continuo asegura un menor volumen de pérdidas (13).

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 puede representar un porcentaje bastante alto (12).

D. Pérdidas y desperdicios por operación

Las pérdidas de operación son debidas a un manejo incorrecto del canal ó de las compuertas, cuando una parte de los volúmenes conducidos no está siendo utilizado y se pierde; así como una falla en la programación por desconocimiento de las eficiencias, se necesita más agua de la necesaria la cual ocasiona desperdicios (24).

3.1.5.2 Pérdidas y desperdicios en la aplicación de agua a la parcela.

Grassi (13) dice que éstas se producen debajo del horizonte de raíces por percolación profunda y al pie de la misma por escurrimiento; la primera representa para la propiedad una pérdida real, ya que el agua que supera la capa de raíces no puede ser aprovechada por el cultivo, mientras la segunda en cambio constituye un desperdicio ya que en determinadas condiciones integra el caudal con que se riega otra parcela del mismo predio. Estas pérdidas y desperdicios dependen de varios factores:

A. Características del suelo

En terrenos sueltos predominan las pérdidas por percolación, mientras que el escurrimiento se reduce, en terrenos donde la velocidad de infiltración es alta ocurre exactamente lo mismo (13).

B. Topografía

Esta tiene fuerte influencia porque a medida que aumenta la pendiente, aumenta el escurrimiento superficial y disminuye la percolación profunda (13).

C. Dimensión de las parcelas

Si los surcos son exageradamente largos, el elevado tiempo de mojado (lapso que requiere el frente de agua para cubrir la distancia que media desde la

cabecera hasta el pie de la parcela) incide totalmente en la distribución de la humedad en el suelo (28).

D. Competencia del regante

Todo obrero debe tener alguna experiencia en el manejo del agua a tal grado que debe estar pendiente durante el lapso de tiempo que comprende el riego porque puede ser afectado por los siguientes factores:

- a. Por una mala preparación del terreno para riego, habiendo una superficie regular y el agua no se distribuye en forma uniforme.
- b. El método de riego es obsoleto, mal diseñado, ya que no satisface las necesidades de la granja.
- c. Cuando se deja un caudal de escorrentía que resulta por pérdida de control o por descuido.
- d. Cuando existe la tendencia de regar excesivamente mientras se tenga un suministro suficiente de agua.

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

3.1.6 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 de aplicación, esta eficiencia se expresa como el valor que resulta del producto de la eficiencia de conducción por la de aplicación (22). 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 (23).

En términos generales, puede considerarse el 65% como una eficiencia razonablemente buena cuando se riega por superficie (12).

3.1.6.1 Eficiencia de Conducción

La eficiencia de conducción representa la capacidad de las obras hidráulicas para conducir el agua hasta las parcelas (12); y es la relación que existe entre el volumen de agua que se entrega o que se sirve al final de determinado canal y el

volumen de agua que se derivó o que entra en la cabecera del canal (1).

La eficiencia de conducción varía según la estructura y el material utilizado, así tenemos eficiencias que pueden ser del 100% cuando se efectúa en tuberías y de 10 a 20% cuando se efectúa en canales en mal estado y terrenos ligeros, llegando hasta el 10% cuando el agua no llega al terreno debido a fugas (22); en canales revestidos con cemento la eficiencia varía de 80 a 90% (13).

La eficiencia de un canal se puede conocer realizando para ello una serie de aforos. En la programación de riego se requiere conocer la eficiencia del canal o de todo el sistema de conducción, siendo un auxiliar valioso la elaboración de gráficas para que muestren los cambios de la eficiencia con el tiempo, ayudando en esta forma a pronosticar la eficiencia en el futuro (22).

3.1.6.2 Eficiencia de Aplicación del agua en la parcela

Es la relación que existe entre la cantidad de agua que se almacena en la zona radicular del suelo y la cantidad de agua aplicada en la tomagranja (28).

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 apropiadamente la eficiencia oscila entre 24 y 70% con un promedio aproximado de 47%, registrándose eficiencias bajas entre 20 y 30% en países sub-desarrollados (9).

Con frecuencia la baja eficiencia proviene de las superficies irregulares, de agua aplicada que se infiltra más allá de los límites de la superficie que se riega, así como una falta de cuidado en el manejo del agua (22).

Las pérdidas más corrientes de agua de riego en el transcurso de su aplicación suelen ser las pérdidas superficiales por escorrentía y por percolación profunda por debajo de la zona radicular (18).

3.1.7 Medición del agua de riego

La medición del agua es muy importante 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 o río.

- b. Permite una buena organización a las unidades de riego que distribuyen el agua a los usuarios a lo largo del canal o 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 (29).

3.1.7.1 Métodos y principios del aforo del agua

Vega (29), señala que los métodos para medir el agua, ya sea de un tubo o un canal o bien de un río, caen en una de las tres categorías siguientes:

A. Método Directo

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:

$$Q = V / T. \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

Donde:

Q = Caudal (lt/s., m³/s., m³/hora).

V = Volumen (litros., 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:

$$Q = A \times V \dots\dots\dots \text{Ec. 2}$$

Donde:

Q = Caudal (lt./s., m³/s., m³/hr.)

A = Area de la sección transversal del agua m².

V = Velocidad promedio del agua en m/s.

En estos métodos tanto el área de la sección 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
- d. Método de Proyección del Chorro de Agua.

El método del Molinete es el más comúnmente usado en canales abiertos. El Molinete Hidráulico consiste en un eje en que hay fijadas 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 como el Curley 622, están dispuestos en forma que a cada "X" número de vueltas se escuche un dispositivo, con lo que, contando los sonidos en un determinado número de segundos, puede ser calculada 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 (31).

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 (7).

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 este aforador es (7):

$$Q = K X (H)^u \dots\dots\dots \text{Ec. 3}$$

Donde:

Q = Caudal en litros ó metros cúbicos.

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

H = 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 donde ocurre el tirante crítico (aforadores de crítica) y debe su nombre al Profesor Armando Balloffet, quien realizó todos los estudios teóricos y pruebas hidráulicas correspondientes en el año 1949.

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 .

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 ésta.

Además es una estructura relativamente económica y en el caso de un canal rectangular ya construido, resulta sumamente barata su realización.

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 (15).

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

Longitud total del medidor.3 B
Longitud de la Sección de Acceso.	2 B
Longitud de la Sección Contraída (b) o garganta.	B
Ancho de la Sección de Acceso.	B
Ancho de la Sección Contraída (b)	r B
Relación de Contracción (r)	b\B
Relación de Contracción (r)	b\B
Máxima Altura	2 B
Ancho de los Abultamientos y radio de Curvatura1 - r/2 B

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

C.3 Vertedero WSC (Washington State College)

El vertedero WSC fue desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica y es ampliamente usado para medir el flujo de surcos. El vertedero se construye de Latón o de Fibra de vidrio, 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/hr.

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 fiberglass son adquiridos ya listos para su uso, pero los de Latón pueden ser contruidos y por lo tanto pueden planificarse sus dimensiones (25); figura 3A.

3.1.8 Avance y Recesión del agua aplicada

Desde que el agua entra en el surco, una parte de su volumen discurre por éstos y el resto se va infiltrando progresivamente a lo largo de los mismos. El movimiento del agua en el suelo regado por superficie, se da en cuatro fases: a) avance, b) almacenamiento, c) vaciamiento y c) recesión.

El avance del frente de agua de la cabecera hacia el pie, constituye el mojado del suelo. Llegado el frente al final del recorrido, no se ha infiltrado en dicho punto, por lo que continúa el suministro, dando lugar así a la fase de almacenamiento. Al suspender la aplicación en la cabecera, se inicia el período de vaciamiento y termina en el instante en que queda descubierto el suelo en la cabecera (Fig. 1).

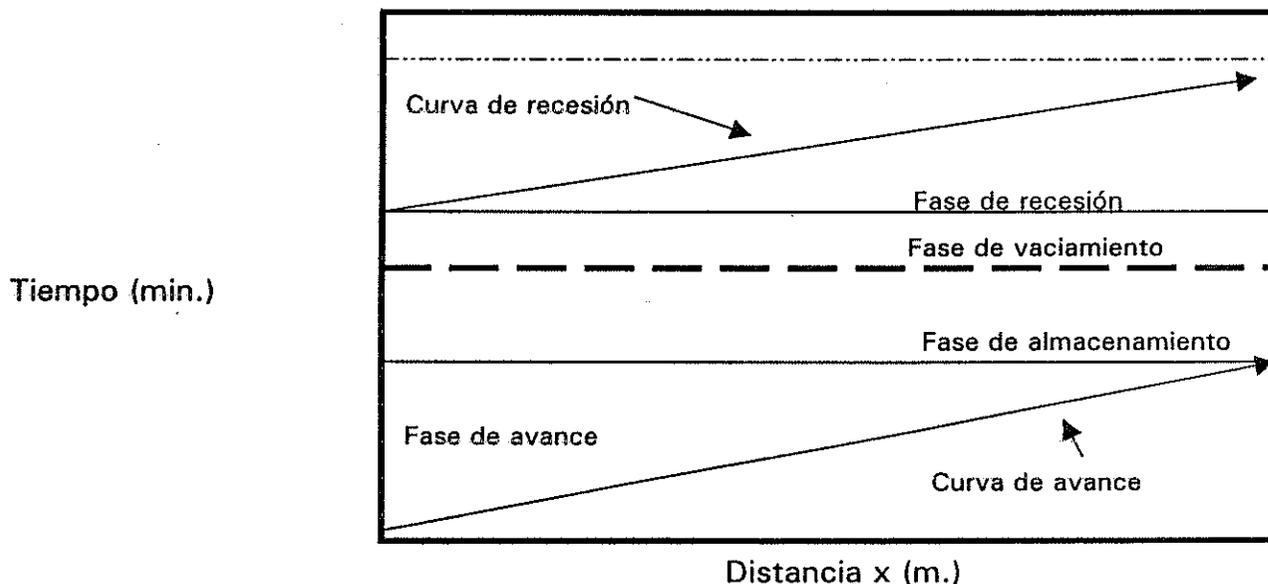


Figura 1: Gráfica mostrando las fases del riego por superficie.

Finalmente la recesión o retiro del agua de la superficie, transcurre desde la cabecera hacia el pie. La distancia entre la curva de avance y recesión, medida en la ordenada en cualquier punto a lo largo del recorrido, representa el tiempo de contacto entre el agua y el suelo o tiempo de oportunidad (t_o) que permite calcular la lámina infiltrada puntual. El óptimo que se pretende alcanzar en riego por superficie, es el minimizar las diferencias entre los tiempos de contacto a lo largo del recorrido y una mayor aproximación del patrón hipotético de distribución, de forma de un rectángulo, cuya base es igual a la longitud del recorrido y el ancho igual a la lámina neta a aplicar.

Para representar gráficamente el avance y recesión, se llevan al eje de ordenadas los tiempos transcurridos desde el inicio del riego, y al eje de abscisas

las longitudes mojadas, (Fig. 1).

El avance es mucho más rápido al principio que al final del cantero o del surco, debido a que conforme avanza el riego hay más superficie de suelo infiltrando agua, lo que se refleja en la forma de la curva de avance (8).

3.1.9 Conducción del agua de riego

3.1.9.1 Canales de tierra

Es el canal que se utiliza sin revestimiento artificial alguno en el fondo y en las paredes. La velocidad excesiva del agua en este tipo de canales produce erosiones debido a que los materiales naturales no resisten velocidades superiores a 1.5 m/s.

Su bajo costo inicial constituye su mayor ventaja, pero también tiene sus desventajas como son:

- a. Excesivas pérdidas por filtración.
- b. Pequeña velocidad de transporte y por tanto gran sección transversal.
- c. Peligro de agrietamiento producido por la erosión o por los animales que escarban.
- d. Condiciones óptimas para el desarrollo de mohos y malas hierbas que frenan el curso de agua.

3.1.9.2 Canales revestidos

Los canales se revisten por las siguientes razones:

- a. Para disminuir las pérdidas por fricción.
- b. Para asegurarse contra el agrietamiento.
- c. Para evitar el crecimiento de hierbas.
- d. Para retardar la proliferación de los mohos.
- e. Para disminuir la erosión.
- f. Para reducir los gastos de conservación.
- g. Para disminuir los problemas de drenaje.
- h. Para elevar la capacidad de conducción del agua.
- i. Para disminuir las pérdidas por infiltración.

El factor más importante en el estudio de la conveniencia del revestimiento es el valor anual del agua ahorrada por disminución de las pérdidas en el transporte. En los lugares en que el agua es limitada, los canales revestidos se justifican ya que contribuyen al uso más económico del agua disponible.

3.1.9.3 Filtración de los canales

La filtración en los canales de riego no solamente ocasiona pérdidas de agua, sino que crea problemas por desagües en terrenos adyacentes y en las zonas bajas.

3.1.9.4 Limpieza de canales

La limpieza de los canales reviste especial importancia ya que con ello se evita la obstrucción y pérdidas de agua así como la destrucción de las orillas del canal cuando los animales se ponen a pastar. El desarrollo de las hierbas produce obstrucciones por la formación de barreras de arena y limo en el canal que retardan la velocidad del agua, aumentando las pérdidas por filtración y a veces producen desbordamientos (19).

A. Materiales en suspensión

Los sistemas de riego que reciben abastecimiento de agua desde fuentes de captación abiertas, generalmente son plagados por basuras flotantes, musgos, semillas de malas hierbas, limos, arenas, gravas y otras diversas clases de materias extrañas; causando obstrucciones dificultosas en los canales de riego y redes de tuberías especialmente en las estructuras de control. La arena y el limo tienden a reducir la capacidad de conducción de agua. La arenisca en el agua con movimiento rápido, erosiona los impulsores y cojinetes de las bombas, los tubos, etc. Para asegurar una operación sin molestias de un sistema de riego todas las materias tienen que quitarse meticulosamente por medio del colado y de trampas o desarenadores para separar arenas y material del acarreo de fondo.

Las propiedades de la suspensión son las que más influyen en la velocidad

de la bomba; cuanto mayor sea el contenido de sólidos, más caballaje se requiere y menor será la velocidad; sin embargo la descarga por revolución del motor es constante con cualquier material (19).

Es obvio que solo un diseño preventivo adecuado puede resolver este problema y no el diseño liberal con exceso de sección como frecuentemente se practica. Los canales con velocidad del agua menor de 1.5 pies/seg. o en donde el tirante del agua es menor de 60 cm. se llenarán rápidamente con lirio y requerirán una limpieza constante. Para un escurrimiento con tirante menor la velocidad debe ser más alta y viceversa, además en condiciones climáticas extremas de calor, tanto la velocidad como el tirante pueden tener que incrementarse para una agua lodosa el tirante y la velocidad puede reducirse para una operación segura (30).

3.1.10 Métodos de distribución de agua

Luego de elaborado el plan de riego para determinado sistema, debe llevarse a la práctica para establecerse si cumple con el objetivo de satisfacer la demanda de agua en cantidad y en concordancia con las disponibilidades (13).

En esta actividad se involucra el funcionamiento de la red de canales y estructuras del sistema así como la organización de todas las actividades inherentes a ello y el manejo de personal responsable de la conducción y distribución del agua (13).

La distribución de agua está referida a los métodos de entrega, los cuales en la mayoría de los casos no se orientan con la frecuencia de riego sino por medio de la práctica, lo que significa la ocurrencia de cometer errores tanto por los usuarios como los debidos al sistema. Los usuarios tratan de utilizar con gran frecuencia el riego, en la creencia de obtener así mejores resultados; mientras que las oficinas de operación de los sistemas luchan por economizar los riegos, basados en estudios y experiencia sobre los daños causados por exceso de agua (22).

3.1.10.1 Distribución por caudal continuo

Este método consiste en entregar a cada propiedad irrigada un caudal

constante para un determinado lapso de duración del servicio de riego, sufriendo modificaciones a lo largo de toda la estación de riego, de acuerdo a la disponibilidad del recurso hídrico, de la modificación del agua regable y de los requerimientos (13). Este sistema tiene la ventaja que representa la continua disponibilidad de agua en la propiedad y de reducir al mismo tiempo la sección de los acueductos; la desventaja es la de atender un caudal escaso (22), y la de conducir a la baja eficiencia, por eso solo se emplea cuando el área irrigable está fraccionada en propiedades grandes y donde el caudal resulta el de un terciario, así mismo se emplea por lo general cuando se imposibilita el empleo de los otros métodos (13).

3.1.10.2 Distribución por rotación

Se llama también por Tanteo o Entrega por turnos, es el más comúnmente empleado en los proyectos de riego en los cuales se efectúa un parcelamiento de tierra (13). Permite una distribución más eficiente del agua, especialmente cuando este recurso es limitado; sin embargo en muchos distritos es difícil establecer un orden de riego debido a la diversificación de cultivos (22). Tiene la desventaja de que el período de tanteo no coincide con el requerimiento de riego del cultivo, existiendo riegos innecesarios donde muchos usuarios tienden a regar excesivamente mientras haya agua disponible. El caudal de entrega de agua en este método será aquel que ocupa íntegramente la mano de un operador durante una jornada normal de trabajo; esto varía de acuerdo al suelo, topografía y el método de riego entre 20 y 200 litros por segundo (13).

3.1.10.3 Distribución de acuerdo a la demanda

Este método es efectivo para determinar condiciones en donde no se requiere rigidez y la mayor capacidad de diseño; debe distinguirse en éste dos formas distintas:

- a) **Demanda Libre:** En éste se riega cuando se desee y el tiempo que se requiera.
- b) **Demanda Controlada:** El sistema recibe los pedidos y la unidad está en condición de satisfacerlas en un plazo de 24 a 48 horas. Este método tiene

la ventaja de permitir el riego de acuerdo a las necesidades de los cultivos y al empleo del caudal que se considera más eficiente siempre y cuando lo permita la capacidad del canal, además tiene la flexibilidad que de acuerdo al pedido formulado por el agricultor-usuario, determina cuanto y cuando se va a regar, tratando de transferir responsabilidad a los regantes y a la percepción por volumen de agua recibida (12). Algunas de las desventajas son: que si el agricultor-usuario no tiene experiencia en el uso y manejo del agua lo hará incorrectamente (11), ocurre simultaneidad de los pedidos, resolviéndose de acuerdo a la capacidad de diseño (12) y requiere de una adecuada infraestructura hidráulica, especialmente las estructuras de control y medida de los caudales entregados (22).

3.1.11 Eficiencia del Sistema de Bombeo

El costo de la energía (combustible, electricidad) constituye el mayor costo de operación del riego por bombeo. Cuanto más eficiente sea el sistema de bombeo, menores serán los costos por unidad de agua bombeada. Los motores y las bombas no son 100% eficientes, las pérdidas de energía son inevitables. Los motores están especificados de acuerdo a BHP (Potencia al freno; potencia proporcionada por el motor es decir los inputs) (18).

Por lo tanto un motor eléctrico puede consumir 100 HP de fuerza y solamente producir 90 HP, otra pérdida ocurre en la bomba, si el motor eléctrico está acoplado directamente a la bomba se puede determinar la eficiencia del motor y de la bomba por separado. Un buen motor eléctrico debe operar a una eficiencia de 89 a 91% y la bomba entre 72 y 75%. Las eficiencias combinadas de la bomba y del motor deben dar una eficiencia de 66% mínima.

Se ha observado que algunos sistemas de bombeo operan en el campo con eficiencias superiores al 66%; sin embargo se considera que el 66% es una buena eficiencia de operación del sistema. A menudo no se presta atención a la eficiencia para el diseño del sistema de bombeo. Una bomba que se instalará deberá ser sometida a una prueba de eficiencia para determinar si la bomba va a trabajar bajo las condiciones del diseño (14).

3.1.11.1 Determinación de la Eficiencia del Sistema de Bombeo

Para la determinación de la eficiencia en el campo se pueden seguir los siguientes pasos:

- a) Determinar la descarga de la bomba usando vertederos, canaleta de aforo, orificios de canales, medidores de flujo, manómetros de agua-aire.
- b) Determinar la carga total de bombeo, incluye:
 - b.1) Diferencia de elevación entre la bomba y el nivel del agua de la fuente y entre la bomba y la descarga ó la presión de operación requerida a la salida de la bomba.
 - b.2) Carga de presión.
 - b.3) Pérdidas por fricción en la succión y en la línea de descarga.
 - b.4) Carga de velocidad, cuando la velocidad es alta.
- c) Determinar el consumo de energía del sistema de bombeo, convirtiendo el consumo de la energía eléctrica en HP.
- d) Calcular la potencia hidráulica del sistema.
- e) Determinar la eficiencia de bombeo usando los resultados de los dos últimos pasos.

Casi siempre es más económico reparar o reemplazar un sistema de bombeo cuando los costos del mejoramiento son mayores a 4 ó 5 veces del costo de energía ahorrada anualmente (14).

3.1.12 Planificación, Diseño, Operación y Mantenimiento de Proyectos de riego

3.1.12.1 Planificación de proyectos de riego

Para la planificación de un sistema de riego deben estudiarse factores como los suelos, la topografía, los cultivos específicos, el agua disponible, las instalaciones con que se cuenta y los equipos de construcción y labranza que están disponibles. Conociendo estos factores se puede crear un diseño adecuado en toda la extensión de riego en el área de debidas proporciones, sin causar daños a los

suelos y evitar el desperdicio excesivo de agua (5).

Con el riego superficial se observan eficiencias muy bajas, influyendo también factores de tipo social, es decir que se planifica, diseña y se pone en operación un proyecto de riego sin un análisis profundo de las necesidades de los futuros usuarios, así como también se deja de lado su nivel de conocimiento de riego. De ahí que al no existir un proceso educacional antes y después de puesto en operación el sistema, el agricultor continúa con su práctica tradicional, incidiendo en bajas eficiencias de riego, bajas producciones, pérdida de suelo por erosión y sub-utilización general de la infraestructura de la red hidráulica y de la potencialidad del riego (5).

3.1.12.2 Diseño y operación de proyectos de riego

Los factores fundamentales del diseño y operación de las obras de riego y que a la vez determinan la cantidad de agua necesaria se pueden agrupar en: a) Climáticos, b) Edáficos, c) De diseño, construcción y reparación de obras, d) Agroeconómicos, e) Legales, institucionales y humanos (11).

Martínez (20) establece que la operación de un proyecto de riego no debe conceptuarse como un manejo del agua ni como una técnica unilateral, sino como un conjunto de las técnicas de cultivo y que por lo tanto se requiere una concordancia entre la estructura física para el mejoramiento agrícola, la aplicación de técnicas de cultivo y conjuntamente con éstas, la aplicación del manejo del agua.

Masaya (21) haciendo un análisis de las deficiencias operacionales de los sistemas de riego en Guatemala expone que éstas son atribuidas a una inadecuada planificación de los proyectos, puesto que no se consideran en su debida forma, aspectos importantes como: Instituciones legales de diseño, técnicas de riego, técnicas agrícolas de mercado y experiencia del usuario, factores que el futuro del proyecto conllevará a consecuencias que pudieran causar conflictos de grandes proporciones.

Ramírez (24) considera que para hacer un buen aprovechamiento del agua de riego es necesario diseñar bajo los criterios siguientes:

- a) Almacenar el agua en la zona radicular.
- b) Lograr una aplicación relativamente uniforme de agua, logrando que ésta permanezca un tiempo establecido en todos los puntos.
- c) Minimizar la erosión, haciendo variar los caudales.
- d) Minimizar la escorrentía o usar reciclaje del agua.
- e) Minimizar la percolación profunda.
- f) Disminuir la superficie del terreno no utilizable para riego.
- g) Utilizar la menor cantidad de mano de obra posible.
- h) Adaptar la geometría y dimensiones del terreno lo mejor posible.
- i) Acomodar el sistema de riego de acuerdo a suelos, topografía y cultivos.
- j) Facilitar el uso de maquinaria agrícola.

3.1.12.3 Mantenimiento de proyectos de riego

Para que la actividad operacional de un proyecto de riego se realice en forma satisfactoria es imprescindible darle un adecuado mantenimiento a la infraestructura de riego a fin de minimizar las pérdidas de agua, tanto en la conducción como en la distribución de la misma (17).

La conservación de un distrito de riego tiene por objeto mantener las obras de un estado tal que funcionen eficazmente siempre que se requiera. Para lograr este objetivo es necesario seguir el proceso siguiente:

- a) Localizar deterioros
- b) Determinar sus causas
- c) Evaluar la reparación
- d) Efectuar la reparación

3.1.13 Otras investigaciones sobre eficiencias de riego

3.1.13.1 Eficiencias a nivel nacional

Aguirre (1), en su estudio sobre "Eficiencias de riego en la Unidad de 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 de conducción son debido al daño físico que presentan los canales de distribución de agua.

Ramírez (24), en su estudio sobre "Eficiencias de Riego en la Unidad Nicá, Malacatán, San Marcos", determinó que la eficiencia total es de 42.05%; siendo la eficiencia media de conducción 91.2% y la de aplicación de 46%, determinando que las pérdidas por conducción son la total carencia de compuertas en las tomagranjas y falta de unión entre las sisas de las pizarras. 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.

Portillo (23), en su estudio sobre "Eficiencia de riego en la Unidad La Palma, Río Hondo, Zacapa", concluye que la eficiencia total del sistema es de 31.23%, siendo sus componentes la eficiencia de conducción y la de aplicación con 76% y 41% respectivamente. Determinó entre las causas de pérdidas por conducción, la falta de compuertas en la mayoría de tomagranjas, grietas y perforaciones en las paredes de los canales, canales no revestidos; mientras que la baja eficiencia de aplicación parcelaria son debidas a la falta de un control estricto en la entrega del agua.

Aunado a las causas anteriores que contribuye a una baja eficiencia del sistema, agrega Portillo, como principal limitación los factores y limitaciones de carácter financiero e institucional, ya que existe escasez de fondos para cubrir los costos de operación y mantenimiento.

3.1.13.2 Eficiencias 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 algunas excepciones, la eficiencia actual de riego es muy baja llegando a 24% (23).

Puede señalarse que en México, la eficiencia nacional actual en el uso del agua de riego es de 46%, en Argentina se ha constatado que en importantes áreas regadas, la 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 (23).

3.2 Marco Referencial

3.2.1 Descripción general del área de estudio

3.2.1.1 Ubicación

La unidad de riego El Guayabal integrada al Distrito de riego No. III-2 administrada por la Asociación de Agricultores, está ubicada en la región Nor-Oriental del país, en el municipio de Estanzuela del departamento de Zacapa, a 140 kilómetros de la ciudad capital por medio de la carretera Centroamericana CA-9 o Ruta al Atlántico. Su altura aproximada es de 210 metros sobre el nivel del mar, estando localizada en las coordenadas geográficas Longitud Este 89 34'55" y Longitud Oeste 89 41'40", Latitud Norte 15 02'50" y Latitud Sur 14 57'00".

Limita al norte con la aldea El Guayabal y el Río Motagua, al Sur con el área de la Unidad de riego Llano de Piedra y con el cerro Agua Caliente, al Este con la unidad de riego La Fragua y al Oeste con las aldeas San José, Teculután y La Reforma, Huité (6). Fig. 4A.

3.2.1.2 Ecología

A. Clima

Según la clasificación de Thorntwaite (6), el clima del área de la Unidad de Riego El Guayabal es cálido seco, está rodeado en su totalidad por montañas, lo que ocasiona que los vientos del caribe y del océano pacífico, lleven nubes saturadas de vapor de agua que precipiten en las partes montañosas sin alcanzar el valle.

B. Precipitación

El promedio de precipitación es de 500 mm. anuales, la época lluviosa se caracteriza por ser escasa y mal distribuida; se establecen dos épocas muy marcadas de precipitación, la época seca (de noviembre a mediados de mayo) y la época de invierno (de mediados de mayo a octubre).

C. Temperatura

La temperatura es cálida, siendo su promedio de 27.5 grados Centígrados.

D. Zona de Vida

De la Cruz (3), basado en el sistema Holdrige, clasifica esta área como Monte Espinoso Sub-tropical y Bosque Seco Sub-tropical. La vegetación está constituida por arbustos y plantas espinosas (6).

E. Suelos

Fisiográficamente, Simmon, et. al. (27) ubicó esta área dentro del grupo de suelos sobre materiales volcánicos y sobre las clases misceláneas de terrenos. La clase de suelos predominante es la serie Chicaj que son los suelos de origen volcánico (6).

3.2.2 Características generales de la unidad de riego El Guayabal

Anteriormente las tierras que conformaban la Unidad de Riego El Guayabal, eran de un ambiente desértico, donde los períodos de estación seca causaban pérdidas a los agricultores, dificultando así el desarrollo de la agricultura; por lo que se planteó la necesidad de construir una obra de riego que redundaría en beneficio de los agricultores de la zona, incrementando así el desarrollo de la agricultura.

La presente obra de riego forma parte del programa MABID, utilizando para ello aguas del Río Grande de Zacapa, que es conducido por el complejo de canales del Proyecto La Fragua, uno de los cuales (Canal D) lleva el caudal necesario a utilizar en El Guayabal, a partir del cual se utiliza un sistema de bombeo para elevar el agua a las parcelas de los usuarios. Al inicio (1975-1982), este proyecto funcionó por medio de Moto-bombas Diesel, las cuales tenían una capacidad para cubrir un área de 1,000 manzanas durante el año, pero por su tiempo de vida útil y lo anti-económico de funcionamiento, surgió la necesidad de cambiarlo, fue así

como en 1982 se cambió por un sistema de Bombeo eléctrico, el cual lo conforman dos motobombas de 150 HP. cada una, con una tubería de succión de 16 pulgadas de diámetro, elevando un caudal de 9,200 GPM. y una de 250 HP. con una tubería de succión de 24 pulgadas de diámetro, elevando un caudal de 14,500 GPM. a través de una tubería de 42 pulgadas de diámetro y 81 metros de longitud a una altura de 10.46 metros hacia una caja de captación y luego al canal de conducción, a partir del cual es distribuido por gravedad en los diferentes canales, cubriendo así un área entre 1,000 y 1,200 hectáreas durante el año (6), Figura 5A.

La unidad de riego El Guayabal, inició sus operaciones en enero de 1975, con un área de diseño de 1,500 hectáreas, de las cuales actualmente se riegan 975 hectáreas, bajo el sistema bombeo-gravedad; contando a la fecha con un total de 51 usuarios trabajando dos turnos de tres veces por semana; aunque en el padrón hay inscritos 72 propietarios.

3.2.2.1 Pasos a seguir para la obtención del servicio de agua

Cada usuario que desee el servicio de agua y que esté dentro del área que cubre la unidad de riego El Guayabal, debe realizar los pasos siguientes:

- A. El usuario realiza en la oficina de la Unidad, una solicitud de servicio de riego por el manzanaje a sembrar.
- B. La jefatura de la Unidad autoriza lo solicitado de acuerdo al caudal disponible y época del año.
- C. Autorizado se procede a llenar la orden de pago, para que con ella el usuario efectúe el pago correspondiente en la Administración de Rentas Internas, por el manzanaje autorizado.
- D. Rentas Internas entrega un recibo de comprobante de pago a la Unidad de Riego.
- E. Con el recibo se procede a hacer una contraseña que será entregada al canalero.
- F. El canalero con la contraseña, presta el servicio de riego al usuario en el turno correspondiente.
- G. La falta de pago de las cuotas será causa para que la jefatura del sistema de

riego suspenda el servicio hasta que el propietario se ponga al día en sus pagos, lo anterior no podrá decretarse cuando existan cultivos en pie.

Todo usuario antes de solicitar el servicio de riego (cuota de operación) tiene que haber hecho efectivo el pago de cuota por compensación, la cual se realiza al inicio de cada año y una sola vez, así mismo comprobar su solvencia de pagos (Art. 12, Acdo. 11-80).

3.2.2.2 Administración de la unidad de riego

Cada unidad de riego esta dirigida por un jefe de proyecto, quien es el encargado de coordinar todas las actividades de administración, operación y mantenimiento de la Unidad de Riego en general, a la vez elabora y ejecuta a través de su personal calendarios de riego, actividades topográficas con fines de riego y otras funciones de carácter técnico (16).

A. Objetivo y requerimiento del reglamento de riego

Este reglamento tiene por objeto normar y encauzar el planeamiento, proyección, construcción, operación, mantenimiento y administración de obras de riego y drenaje, saneamiento y protección de tierras a manera de aumentar, mejorar y asegurar la producción agrícola procurando el máximo aprovechamiento de los recursos hidráulicos del país, tanto superficiales como subterráneos (16).

B. Operación

La distribución de las aguas se hará en volumen por unidad de tiempo en los términos del presente reglamento, velando por mantener el equilibrio de las relaciones suelo-agua-planta, a efecto de obtener la mayor producción por unidad de agua aplicada. La conservación de las obras, la distribución de las aguas y en general la operación de los sistemas de riego será competencia de la División de Recursos Hidráulicos, hasta la fecha en que estén totalmente amortizadas las obras, a partir de la cual quedará en manos de los usuarios (16).

C. Reglamento para el cobro de cuotas de riego

Todos los usuarios de los sistemas de riego construidos por el estado quedan obligados a pagar las cuotas que se establezcan por la infraestructura construida y por el servicio que se les preste (16).

Las cuotas a cobrar son:

- a) Cuota de Compensación de Riego (recuperación parcial de la inversión). Es una cuota fija y se cobrará en cuarenta anualidades, será cubierta por los propietarios de tierras agrícolas dentro de los límites del sistema de riego, deberá efectuarse en forma semestral en la Dirección General de Rentas Internas de la jurisdicción, en dos pagos del 50% del valor de cada cuota en los meses de enero y julio de cada año (16).
- b) Cuota por Servicio de Operación (distribución de agua, mantenimiento e inversión).

No tiene carácter fijo, serán establecidas a través de DIGESA, previo los estudios necesarios para establecer los montos de la distribución de agua y mantenimiento de las obras, volúmenes de agua, extensiones a regar y cultivos a establecer. También están incluidos en esta cuota aquellos sistemas de riego que funcionan con equipo de bombeo, la reposición de los mismos al finalizar su vida útil. Estas cuotas serán revisadas anualmente a efecto de mantenerlas actualizadas, y será cubierta se haga o no uso del servicio de riego (16).

4. OBJETIVOS

1. Cuantificar la eficiencia de conducción y la eficiencia de aplicación del agua en la unidad de riego El Guayabal, Estanzuela, Zacapa, por el método de riego superficial por surcos.
2. Determinar la eficiencia del equipo de bombeo de la unidad de riego El Guayabal, Estanzuela, Zacapa.
3. Establecer el grado de conocimiento en riego utilizado por los agricultores-usuarios de la unidad de riego El Guayabal, Estanzuela, Zacapa.
4. Determinar posibles soluciones para el manejo y operación de la unidad de riego El Guayabal, Estanzuela, Zacapa.

5. METODOLOGIA

5.1 Eficiencia global del sistema

Para determinar la eficiencia global del sistema en la unidad de riego El Guayabal, se basó en la definición que consiste en el producto de la eficiencia de conducción por la eficiencia de aplicación, la cual está representada por:

$$E_s = (E_c \times E_{ap}) / 100 \dots\dots\dots Ec. 4$$

Donde:

E_s = Eficiencia del sistema (%)

E_c = Eficiencia de conducción (%)

E_{ap} = Eficiencia de aplicación (%)

5.2 Cálculo de la eficiencia de conducción

El cálculo de esta eficiencia permite conocer el porcentaje de volumen de agua entregado en la tomagranja respecto al derivado en la fuente. Aquí se consideraron tramos de diferentes longitudes con aforos al inicio y al final de los mismos, figura 6A. Para esta medición se seleccionaron puntos de control tales como compuertas, en las obras de toma de la tubería de descarga, tramos y compuertas de los canales primarios, secundarios y terciarios. Los aforos se hicieron en lugares donde el tirante de agua permaneció constante y el flujo sin turbulencia, observando que nadie extrajera agua del canal mientras duró el ensayo.

Para conocer la velocidad del agua en los canales se utilizó el aforador tipo molinete de copas, marca Curley 622, cuyo aparato está dispuesto en forma que a cada "x" número de vueltas se escucha un dispositivo, con lo que, contando los sonidos en un determinado número de segundos se puede determinar la velocidad, para ello se utilizó la tabla de cálculo de dicho molinete, la cual relaciona las revoluciones contra el tiempo.

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

$$A = \{(b_1 + b_2)/2\} * h \dots\dots\dots Ec. 5$$

Donde:

b_1 = Ancho del espejo de agua en el canal (m.)

b_2 = Base del canal (m.).

h = Altura del tirante de agua (m.).

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

$$Ec = (Q_2 / Q_1) \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 6}$$

Donde:

Ec = Eficiencia de conducción del agua (%)

Q_1 = Caudal que ingresa al canal (m³/s.)

Q_2 = Caudal registrado a lo largo del canal o al final del mismo (m³/s.)

El promedio de la eficiencia de conducción de los canales en el sistema de riego, se estableció utilizando una media ponderada, debido a que las pérdidas de agua ocurridas en los canales también estarán influenciadas por la longitud de los mismos, por lo que se utilizó la fórmula siguiente:

$$X_p = \frac{(\sum)_{i=1}^n X_i \cdot W_i}{(\sum)_{i=1}^n W_i} \dots \dots \dots \text{Ec. 7}$$

Donde:

X_p = Promedio ponderado

X_i = Valor de la variable expresada en % (% de Eficiencia de Conducción).

W_i = Peso asignado a cada variable (Longitud de canal).

5.3 Cálculo de la eficiencia de aplicación

Para determinarla se seleccionaron 6 parcelas de agricultores voluntarios elegidos al azar debido a que en el área predominan la serie de suelos Chicaj; conjuntamente se tomó el criterio de los cultivos de importancia. Se programó el

estudio de las parcelas en base a los turnos de riego, como lo son: tres días a la semana corresponden a los usuarios del canal F y tres días a los del canal E.

El resultado de la eficiencia de aplicación proporcionó 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. Su cálculo se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$E_{ap} = \left(1 - \frac{A_e + A_p}{A_{tg}} \right) \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 8}$$

Donde:

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

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

A_p = Agua de percolación (m^3 . o $cm.$)

A_{tg} = Agua recibida en la toma granja (Lámina bruta en m^3 o $cm.$)

5.3.1 Cálculo del agua de escorrentía (A_e)

Se usó el método "Aforo de caudales de entrada y salida en las parcelas"; es decir los caudales de entrada que es la lámina bruta aplicada en la parcela (A_{tg}) se midió por medio del aforador Bállofet, previamente calibrado, éste se colocó en la entrada de la parcela en el canal regadera. La medición de los caudales que se perdieron por escorrentía (A_e) también se efectuaron con el aforador Bállofet, haciendo converger las aguas en un solo drenaje. Figura 7A.

La ecuación que define al aforador Bállofet se expresa así:

$$Q = 1.230 B (H)^{3/2} \dots \dots \dots \text{Ec. 9}$$

Donde:

Q = Caudal en m^3/s .

B = Ancho del aforador en metros

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

5.3.2 Determinación de la eficiencia de aplicación

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

A. Muestreo de suelos

a) Elaboración de Calicatas

Se elaboraron calicatas de 1x1x1 metros (1 m³.), con el objeto de determinar características físicas del suelo y profundidad radicular .

b) Barrenamientos

Se realizaron barrenamientos por estratos, cada 30 centímetros en las mismas parcelas, con el fin de conocer el contenido de humedad actual. Se calculó mediante la siguiente ecuación (25):

$$Psa = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100 \dots\dots\dots Ec. 10$$

Donde:

Psa = Porcentaje de humedad antes de regar (%).

Psh = Peso de suelo húmedo en gramos.

Pss = Peso de suelo seco en gramos.

Partiendo de la información anterior se procedió a calcular la lámina neta de riego (Lnr) para poder llevar a capacidad de campo la zona radicular principal. Como la unidad de riego que se evaluó está en operación se utilizó la ecuación siguiente (25):

$$Lnr = \frac{CC - Psa}{100} \times Da \times Zr \dots\dots\dots Ec.11$$

Donde:

Lnr = Lámina neta de riego para llevar a CC. la zona principal de raíces (cm.)

CC = Capacidad de campo expresado en %.

Psa = Porcentaje de humedad antes de regar o actual.

Da = Densidad aparente (gr/cm³.)

Zr = Espesor del estrato de suelo considerado dentro de la zona radicular principal en centímetros.

El porcentaje de humedad antes del riego, las constantes de humedad y las características físicas del suelo se analizaron en el Laboratorio de Suelos de DIRYA. Cuadro 13A.

5.3.3 Cálculo del agua que se pierde por Percolación 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, ésta 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. Se determinó por la ecuación siguiente (25):

$$A_p = L_b - (L_{nr} + A_e) \dots \dots \dots \text{Ec. 12}$$

Donde:

A_p = Agua que se percola en centímetros

L_b = Lámina bruta aplicada a la parcela en centímetros (Atg).

L_{nr} = Lámina neta de riego en centímetros

A_e = Lámina escurrida superficialmente en centímetros

5.4 Medición del Avance y Recesión del agua aplicada

Para el desarrollo de esta prueba se siguieron los pasos siguientes:

- a) Se marcaron a lo largo del surco tres estaciones a una distancia de 20 metros una de la otra.
- b) Se tomaron lecturas del tiempo que tarda el frente de agua en llegar a cada estación.
- c) El tiempo de recesión se midió a partir del corte del flujo de agua.

5.5 Cálculo de la velocidad de Infiltración

El conocimiento de la velocidad de infiltración es importante para un eficiente uso y manejo del 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, debido a que nos permite saber en que tiempo aplicamos una lámina de agua, así mismo nos da una idea de la permeabilidad del suelo.

El método utilizado para el cálculo de la velocidad de infiltración en este estudio fue el de "Entradas y Salidas", por ser este método el más representativo para sistemas de riego por surcos.

A continuación se describe la 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 de donde se obtuvo el agua para la prueba tenía un nivel o altura de agua constante para la realización del ensayo.
- D) Se regaron simultáneamente tres surcos como mínimo y se tomaron los datos del surco central para evitar los efectos de infiltración lateral.
- E) Se tomaron datos en el primer aforador para saber el caudal de entrada y en un segundo aforador para saber el caudal de salida, así como el tiempo recorrido; el registro de estos datos se tomaron desde el momento en que el agua empieza a ser derivada del canal al surco. Se finalizó la prueba cuando el caudal de entrada y salida tuvieran poca diferencia entre sí o permanecieran constante. Cuadro 16A.
- F). La longitud de los surcos fue de 60 metros.
- G). La prueba se realizó con un caudal constante y no erosivo. Para ello se usó la ecuación siguiente (25):

$$Q = \frac{0.63}{S} \dots \dots \dots \text{Ec. 13}$$

Donde:

Q = Caudal máximo no erosivo/surcos (lt/s.)

S = Pendiente del surco (%)

0.63 = Constante

Los parámetros de la ecuación de infiltración se calcularon por medio del modelo de Kostyakov y Lewis, definido de la siguiente manera:

$$I = K (t) ^ n \dots\dots\dots \text{Ec. 14}$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración en c/hr.

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 de riego.

5.6 Eficiencia del sistema de bombeo

La eficiencia del equipo de bombeo se determinó usando las siguientes ecuaciones:

5.6.1 Potencia Util (Nu).

Es la potencia que debe proporcionar la bomba en Hp. ó CV. (caballos de vapor) para llenar los requerimientos de Caudal (Q) y Carga Dinámica Total (CDT) establecidos. Es decir Nu. es la energía que la bomba debe suministrar al agua en forma de presión. Se calculó con la fórmula siguiente:

$$Nu = \frac{Qu \times CDT}{76} \dots\dots\dots \text{Ec. 15}$$

Donde:

Nu = Potencia útil en Hp.

Qu = Caudal útil en lt/s.

CDT = Carga dinámica total en metros.

76 = Constante en Kg-m/s. = 1 Hp.

5.6.2 Potencia que debe recibir la bomba en su eje.

Esta potencia se calculó con la fórmula siguiente:

$$N = \frac{Q \times CDT}{76 \times E_b} \dots \dots \dots \text{Ec. 16}$$

Donde:

N = Potencia que debe recibir la bomba en su eje (Hp).

E_b = Eficiencia de la Bomba.

5.6.3 Descarga de la bomba

Esta descarga se determinó utilizando el método Directo, el cual consistió en calcular el volumen de la caja donde descarga el caudal impulsado por el sistema de bombeo y el tiempo en que la misma tarda en llenarse. Para ello se utilizó la ecuación 1.

5.6.4 Carga Dinámica Total (CDT)

Se determinó en base a las características siguientes: Para las dos bombas de 150 Hp: Diámetros de tubería de succión de 16" y de descarga 42", para un caudal de 524 lt/s., para la bomba de 250 Hp: Diámetros de tubería de succión 24" y de descarga 42", para un caudal de 912 lt/s., con una diferencia de altura entre la bomba y el punto de descarga de 10.46 m. y una longitud de tubería de hierro fundido de 93.28 m. Para ello se utilizó la ecuación siguiente:

$$CDT = h_z + h_v + h_f(t) + h_f(a) + 0.1h_f(a) \dots \dots \dots \text{Ec. 17}$$

Donde:

h_z = Carga de elevación (diferencia de elevación entre el nivel de bombeo y el punto de descarga en metros.)

h_v = Carga de velocidad dada por:

$$h_v = \frac{(V)^2}{2g} \dots \dots \dots \text{Ec. 18}$$

Donde:

V = Velocidad de acuerdo al caudal.

g = Gravedad m/s^2 . (aceleración por efecto de la gravedad)

$h_f(t)$ = Carga de fricción (m.) para la tubería; basado en la fórmula de Hazen Williams, la cual está dada por:

$$h_f(t) = 1.21 \times (10)^{10} \times L (Q/C)^{1.852} \times (D)^{-4.87} \dots \dots \dots \text{Ec.19}$$

Donde:

L = Longitud de la tubería en metros

D = Diámetro de la tubería (mm.)

Q = Caudal en lt/s .

C = Coeficiente de rugosidad de la tubería

$h_f(a)$ = Carga de fricción por accesorios en metros

$0.1h_f(a)$ = 10% del total de la carga por fricción por pérdidas menores.

5.6.5 Eficiencia del sistema de bombeo

Utilizando los resultados anteriores la eficiencia del sistema de bombeo se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_f = \frac{N_u}{N} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 20}$$

5.6.6 Análisis de resultados

Se hizo un análisis de comparación entre parámetros establecidos e investigaciones de campo realizadas tanto a nivel nacional como internacional y los porcentajes obtenidos en la presente investigación.

5.7 Encuesta a los usuarios de la unidad

Con el propósito de establecer el grado de tecnología en riego utilizada por los usuarios de la Unidad de Riego, se realizó una encuesta para conocer como riegan sus parcelas, con qué técnicas y en base a qué criterios; así como determinar posibles factores que influyen en el comportamiento del usuario respecto al uso y manejo del agua de riego; simultáneamente conocer la situación social del usuario. La boleta de encuesta se presenta en el apéndice 17A.

5.7.1 Muestreo de la población

Se llevó a cabo un censo de la población para la obtención de la información, entrevistándose a 15 agricultores (boleta 17A), quienes cultivan maíz y okra principalmente; del total inscritos en el Padrón que son 72 propietarios, pero la mayoría arrendan a las empresas exportadoras y éstas tienen riego por goteo; sin embargo el número de propietarios de los terrenos en el área de influencia de la unidad de riego son 129 personas.

5.7.2 Análisis

Se determinó el porcentaje de respuestas positivas y negativas para poder detectar los factores principales que determinan el nivel técnico del usuario, respecto al uso y manejo del agua de riego.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Eficiencia Global del Sistema

Mediante la presente investigación se llegó a determinar a través de la ecuación 4, que la eficiencia global del sistema de riego de la Unidad "El Guayabal" es de 52%, la cual se divide así:

Eficiencia de Conducción: 87.31%

Eficiencia de aplicación: 59%

Esta eficiencia es baja (12), sin embargo se mantiene dentro del rango con que se han manejado algunas de las unidades de riego a nivel latinoamericano (22), figura 8A, así como a nivel nacional (1-22-23), figura 9A, constituido por la aplicación en exceso de la lámina de agua a nivel parcelario, enfocado por una parte a la carencia de conocimientos técnicos en riego por parte de los agricultores quienes no tienen control, principalmente sobre el manejo del agua, y por la otra aunque en menor grado al daño físico que presentan algunos canales de distribución.

6.2 Eficiencia de conducción

De los valores parciales obtenidos de la eficiencia en cada canal estudiado, de acuerdo a la ecuación 5, 6 y 7, se obtuvo de ellos un promedio ponderado, dando como resultado una eficiencia de conducción de 87.31%. Esta eficiencia se considera aceptable, al compararse con el rango establecido (80-90%) por Grassi (13), contribuyendo a ello, que la mayor parte de compuertas están selladas ya que son pocos los terrenos regados por el método de riego superficial por surcos (78.4 Ha.) y la mayoría que son aproximadamente 867 hectáreas se irrigan por el método de riego por goteo, lo que demuestra que las pérdidas por filtración y evaporación son mínimas. Las eficiencias menores están en los canales primarios E-2 y E-1, debido a que los mismos presentan infiltración por daños en las pizarras del canal, así como otros las tienen reventadas por las raíces de algunos árboles que están al costado de los canales, sin embargo en términos generales el sistema

de conducción presenta buena estructura y con daños menores, sin embargo esta eficiencia se podría aumentar mejorando los canales dañados y evitando fugas en algunas tomagranjas. Ver cuadro 1, figura 10A.

CUADRO 1: EFICIENCIA DE CONDUCCION Y LONGITUD DE CANALES REVESTIDOS DE LA UNIDAD DE RIEGO "EL GUAYABAL".

CANAL	EFICIENCIA CONDUCCION (%)	LONGITUD DE CANAL (metros)
CONDUCCION F-2	97.00	2,964.80
PRIMARIO		
F-1	98.65	7,236.00
F	92.55	1,472.00
E-2	72.97	6,913.20
E-1	52.41	6,075.00
TERCIA./SECUN.		15,200.00
F-2 *		
F-1 *		
E-2	100.00	
E-1	97.60	
PROMEDIO	87.31	

* No están habilitados

6.3 Eficiencia de aplicación

Con los resultados obtenidos del agua de escurrimiento superficial, agua de percolación profunda y lámina bruta aplicada (agua que se recibe en la tomagranja), se determinó la eficiencia de aplicación, basado en la ecuación número 8. Sus valores extremos van del 10% al 99%, siendo su eficiencia media de aplicación de agua a nivel parcelario de 59%, esto demuestra que se encuentra en el rango de los proyectos manejados apropiadamente (9), pero esta eficiencia se puede incrementar mejorando las prácticas de riego y disminuyendo las frecuencias de riego. Los valores se muestran en el cuadro 2, figura 11A.

CUADRO 2: EFICIENCIA DE APLICACION DEL AGUA POR PARCELA.

P	AGUA PERCOLADA m ³ ./Ha.	AGUA ESCURRIMIENTO m ³ ./ Ha.	LAMINA BRUTA m ³ ./ Ha.	% EFICIENCIA DE APLICACIÓN
1	91	82	208	17
2	66	59	301	58
3	122	248	410	10
4	25	13	236	84
5	3	6	602	99
6	36	25	372	84
T	343	433	2129	
X				59

La parcela 1 y 3 tienen la menor eficiencia, máxime la 3, lo que demuestra que hay una sobre-aplicación de agua, ya que se está aplicando una lámina de agua mayor que la requerida en la zona radicular del cultivo y se riega con mucha frecuencia, debido al desconocimiento técnico de la misma por lo que la planta no ha consumido el agua disponible en el suelo y ya se está aplicando otro riego, es por ello que las pérdidas por percolación profunda y mayormente las de escurrimiento superficial son altas. Para mejorar la eficiencia de aplicación el agricultor debe regar cuando se haya consumido el Déficit Permitido de Manejo (DPM), (cuadro 3), y aplicar caudales grandes al principio pero sin causar erosión, y conforme avance el agua en el surco disminuir el caudal, para reducir pérdidas por escorrentía y lograr una mejor uniformidad del perfil de humedecimiento.

Como se puede apreciar en el cuadro 3, en las parcelas 1, 2, 4, 5 y 6 únicamente se tenía que aplicar una lámina que cubriera la zona principal de raíces, la cual se encontraba en la mayoría de parcelas en el estrato de 0 a 0.30 metros, sin embargo el agricultor aplicó una lámina bruta que cubrió un estrato superior, lo cual ocasionaron pérdidas por percolación profunda.

CUADRO 3: CALCULO DE LA LAMINA DE RIEGO DE REPOSICION (LR) PARA LLEVAR A C.C. LA ZONA PRINCIPAL DE RAICES; ASI COMO LA LAMINA DE HUMEDAD APROVECHABLE (LHA) POR ESTRATOS.

P	LR. m ³ /Ha.	LHA. m ³ /Ha.	% DPM. S/CULTIVO.	% LHA.	PROFUNDIDAD (Mts.)	RIEGA
1	35	82	41	43	0.07	SI
2	176	214	40	82	0.10	SI
3	40	1507	25	3	0.60	NO
4	198	321	40	62	0.20	SI
5	593	317	25	187	0.20	SI
6	311	484	40	64	0.30	SI

*Si el % Déficit permitido de Manejo (DPM) es menor que LHA: si regar.

Lo anterior también se puede apreciar al hacer una relación entre el porcentaje de la Lámina de Humedad Aprovechable (LHA) y el porcentaje de Déficit Permitido de Manejo (DPM) figura 12A, donde las necesidades de riego del cultivo nos indica que la parcela 3, no había necesidad de regarla, sin embargo al momento del muestreo se estaba regando, y es donde se da la mayor pérdida por sobre-aplicación. Cuadro 4, fig. 13A.

En el cuadro 4, también se puede observar en la columna de sobre-aplicación el porcentaje de almacenamiento es mayor del 100%, pero la Eficiencia de Aplicación (59%) es menor del 100%, significa que todo el perfil se ha humedecido mas allá de la zona radicular del cultivo, pero existen pérdidas por Ap. y por Ae., debiéndose por lo tanto disminuir el caudal, el tiempo ó la frecuencia de riego.

CUADRO 4: DATOS SOBRE APLICACION DE VOLUMENES Y SOBRE-APLICACION POR PARCELA (m³), ASI COMO EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO EN %.

P.	VBA/AG. m ³ /Ha.	VNR/CUL. A CC. m ³ /Ha	SOBREAPLICACION. m ³ /Ha.	SOBREAPLICACION %	% ALMACE- NAMIENTO.
1	208	35	173	494	594
2	301	176	125	71	171
3	410	40	370	925	1025
4	236	198	38	19	119
5	602	593	9	2	102
6	372	311	61	20	120
T.	2129	1353	776		

REFERENCIAS:

VBA/AGRC: Volumen Bruto Aplicado por agricultor.

VNR/CULT.A CC: Volumen Neto Requerido por cultivo a Capacidad de campo.

La lámina aplicada en exceso por el agricultor se debe a que éste aplicó una lámina que rebasa la profundidad de la zona radicular del cultivo, es decir, en el caso de la parcela 1, la zona radicular del cultivo alcanza una profundidad de 0.07 metros y la lámina aplicada alcanzó una profundidad de 0.80 metros. Esta sobre aplicación se debe también a que el agricultor en una tendida de agua riega simultáneamente un promedio de 18 surcos y en algunos casos está solo, por lo tanto no tiene control del manejo del agua en todos al mismo tiempo, sin embargo como se puede observar en el cuadro 6, solo existe saturación en la parcela 3, debido a que este suelo es arcilloso por lo tanto no tiene un buen drenaje.-

Se hicieron comparaciones entre el volumen neto de agua requerido por el

cultivo en la zona radicular y el volumen aplicado por el agricultor, los cuales se presentan en el cuadro 4 y figura 14A. Se puede apreciar que se pierde un volumen máximo de 370 m³/Ha. y por parcela (figura 13A), lo que representa el 925% de sobre-aplicación. Esto obedece a que no hay un control estricto en la distribución y manejo del recurso agua, debido a que el método de distribución es por turno, por lo tanto el agricultor tiene que aprovechar el mismo, ya sea que el cultivo necesite riego o no, a la vez que desconoce técnicamente la frecuencia de riego del cultivo.

Se puede deducir que con el total del agua aplicada en exceso (776 m³/Ha.) se podría dar otro riego para cubrir el 50% de las otras parcelas, cuyos cultivos se encuentren en este mismo estado fisiológico de desarrollo.

La ecuación utilizada para determinar el porcentaje de almacenamiento fue:

$$\%al = (VBA/AG \div VNR/CULT.) \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. 21}$$

Donde:

%al = Porcentaje de almacenamiento (%)

VBA/AG. = Volumen bruto aplicado por el agricultor (m³/Ha.)

VNR/CULT. = Volumen neto requerido por el cultivo (m³/Ha.)

6.4 Pérdidas por Escorrentía Superficial (Ae) y Percolación Profunda (Ap).

Estas pérdidas fueron determinadas utilizando las ecuaciones 9 y 12 respectivamente, cuyos resultados pueden observarse en el cuadro 5 y figura 15A.

Las pérdidas por escorrentía (AE) varían entre 6 y 203 m³/Ha. y por percolación profunda (AP) entre 3 y 167 Mt³/Ha., debiéndose a que se riega con un caudal abundante durante el tiempo que dure el riego, cortando el mismo hasta que el agricultor considere que el suelo está sobresaturado y no antes, al mismo tiempo no se considera la textura del suelo ni la velocidad de infiltración, a la vez se carece de un control del agua a la entrada y salida de los surcos en la parcela,

CUADRO 5: DATOS SOBRE LAS PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA (AP.) Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL (AE.) POR PARCELA.

PARCELA	PERDIDAS POR AP. m ³ /Ha.	PERDIDAS POR AE. m ³ /Ha.	VOLUMEN TOTAL PERDIDO m ³ /Ha.
1	91	82	173
2	66	59	125
3	167	203	370
4	25	13	38
5	3	6	9
6	36	25	61
TOTAL	449	327	776

provocando así pérdidas y desperdicios del recurso agua, que se podrían evitar utilizando un sistema de sifones ó a través de riego por goteo. Estos desperdicios no se aprovechan en otros terrenos ó a través del reciclamiento; es decir debe ser recogida y utilizada de nuevo, lo cual reduce las necesidades de riego aumentando así la eficiencia de aplicación.

En la parcela 1, las pérdidas por escorrentía son menores que las de percolación, debido a su textura franco arcillo arenosa, la infiltración básica es mayor que la intensidad de riego y su velocidad de infiltración promedio que es rápida alrededor de 7.257 cm/hr. por lo que no hay saturación en el suelo debido a su textura (cuadro 6).

En la parcela 3, las pérdidas por escorrentía son superiores a las de percolación influyendo sobre ello, entre otros factores que la textura es franco arcillo arenoso y arcilloso, la infiltración básica es menor que la intensidad de riego

CUADRO 6: CALCULO DE LA INFILTRACION BASICA (IB) Y DE LA INTENSIDAD DE RIEGO (IR) PARA DETERMINAR SI EXISTE O NO SATURACION EN CADA UNA DE LAS PARCELAS.

P	INFILTRACION BASICA. mm/Hr	INTENSIDAD RIEGO mm/Hr	K	n	LAMINA BRUTA mm.	TIEMPO Hr/Ha.	OBSERVACION
1	54.04	1.39	34.35	-0.3465	20.8	15.0	No hay saturación, infiltr. muy rápida
2	8.90	1.17	56.42	-0.6890	30.4	26.0	No hay saturación, infiltr. Moderadamente rápida.
3	0.93	1.71	0.65	-0.3612	41.0	24.0	Hay saturación, infiltración moderadamente rápida.
4	5.10	1.34	3.48	-0.3580	23.5	17.5	No hay saturación, infiltr. Moderada.
5	49.26	1.13	47.32	-0.4108	53.7	48.0	No hay saturación infiltr. Muy rápida
6	28.72	1.48	15.76	-0.3232	35.0	23.7	No hay saturación infiltr. muy rápida

$$IB = K (-600n)^n \times 10 \text{ mm.} = (\text{mm/hr}). \quad IR = Lb / T \times 10 \text{ mm} \text{ (mm/hr)}. \quad IB < IR = \text{SATURACION}$$

(cuadro 6) y su velocidad de infiltración es moderadamente rápida, por lo que existe saturación del suelo.

En la parcela 4, ambas pérdidas son similares pero las debidas a la escorrentía son menores que las de percolación. En ésta parcela se cuenta con un

suelo franco arcillo arenoso, su infiltración básica es moderadamente rápida y mayor que la intensidad de riego, su velocidad de infiltración promedio es baja, del orden de 0.7560 Cm/hr. por lo que no hay saturación en el suelo.

Se puede observar en el cuadro 11A, donde se reportan las láminas acumuladas por tiempo, que en la parcela 3 la lámina acumulada total es de 0.681 Cms. en un tiempo acumulado de 29 minutos, considerada baja ya que el suelo está saturado en comparación con las demás, lo que también se puede observar en el cuadro 14A que la misma parcela tiene la menor velocidad de infiltración (0.435 Cm/hr.) por lo que las pérdidas por escorrentía son bastante altas.

Para disminuir las pérdidas anteriores es necesario que tanto el técnico de la unidad como el agricultor consideren algunos de los factores más comunes como son: la velocidad de infiltración, la pendiente del terreno, caudales grandes al principio pero sin causar erosión y disminuirlos conforme avance el agua, el tiempo necesario de riego y la textura del suelo.

Del cuadro 7, se puede establecer un balance entre las horas de riego utilizadas por el agricultor y las horas necesarias para aplicar el volumen de agua requerida por el cultivo. Así tenemos que entre las parcelas analizadas aplicó un exceso de agua durante 15.26 horas comparado con el tiempo que le tomaría al agricultor si aplicara el volumen necesario, figura 16A.

Lo anterior vuelve a reflejar que tanto el agricultor como la unidad de riego no tienen un control sobre el manejo y uso del recurso agua, contribuyendo de esta manera a un desperdicio del mismo, como también a un aumento de los costos de operación tanto del sistema como del agricultor; sin embargo hay responsabilidad directa del propietario del cultivo, ya que éste en algunas oportunidades contrata mano de obra por trato ó tarea, y dicha persona no considera el aprovechamiento ó el desperdicio del recurso agua, y si al cultivo se le aplicó el volumen requerido durante el tiempo que dure la jornada.

CUADRO 7: COMPARACION ENTRE EL VOLUMEN APLICADO (VA) Y EL TIEMPO UTILIZADO POR EL AGRICULTOR CON EL REQUERIDO POR EL CULTIVO.

P	VA/AGR. m ³ /Ha.	TIEMPO/AGRIC. Hr/Ha.	VOLUMEN/ CULTIVO. m ³ /Ha.	TIEMPO NECESARIO Hr/Ha.	PROFUNDIDAD RAIZ (Metros)
1	208	4.29	35	0.72	0.07
2	301	4.60	176	2.70	0.10
3	410	8.57	40	0.84	0.60
4	236	5.00	198	4.20	0.20
5	602	8.80	593	8.70	0.20
6	372	6.80	311	5.70	0.30
T.	2129	38.06	1353	22.80	

6.5 AVANCE Y RECESION

Cómo se puede observar en la figura 18A, se ilustra las curvas de Avance y Recesión por parcela; la distancia entre ambas curvas nos indica el tiempo de oportunidad (t_o), es decir el tiempo en que el agua pasa en contacto con la superficie del suelo. Lo recomendable en estas curvas es minimizar las diferencias entre los tiempos de contacto a lo largo del recorrido del agua en el surco y tratar de hacer una mejor distribución, figura 24A, es decir en forma de un rectángulo, cuya base es igual a la longitud del recorrido y el ancho igual a la lámina neta a aplicar.

Se puede observar en la mayoría de las parcelas que la curva de avance tiende a unirse con la de recesión lo que indica que el tiempo de oportunidad al final del surco es pequeño por lo tanto no hay una infiltración de la lámina neta para cubrir la zona radicular del cultivo en esa área, por lo que es necesario aplicar un

riego con un caudal mayor pero no erosivo al principio y luego disminuirlo para tener una uniformidad de humedecimiento a lo largo del surco. Estas curvas nos dan la idea de como el agricultor aplica el agua en el surco, deduciendo que una vez el agua llega al pie del surco el agricultor corta la misma de tal manera que con la cola calcula que se humedecerá lo suficiente al final del mismo. En este proceso la pendiente no influyo mucho ya que en promedio estos surcos tienen un 0.38% de pendiente lo cual se puede inferir como un terreno casi plano.

6.6 VELOCIDAD DE INFILTRACION

Esta se realizó calculando los parámetros de velocidad de infiltración de las láminas netas de reposición, utilizando las ecuaciones 13 y 14 a través del método de entradas y salidas. Las mediciones se hicieron con el aforador WSC, el tiempo y la lámina neta calculada en promedio fue de 49.74 minutos para aplicar 2.25 centímetros respectivamente, cuadro 8.

Entre los datos investigados a nivel de campo y los obtenidos a través de la ecuación de Kostiakov y Lewis se obtuvo una correlación promedio de 81 %, quedando la función promedio de infiltración para estas parcelas así:

$$I = 26.33 (t)^{-0.4148}$$

CUADRO 8: DATOS SOBRE LOS PARAMETROS DE VELOCIDAD Y TIEMPO DE INFILTRACION (MINS.) DE LA LAMINA NETA DE REPOSICION (LNR) PARA LLEVAR A C.C. CADA UNA DE LAS PARCELAS.

P	K	n	LAMINA NETA RIEGO. cm.	TIEMPO INFILTRACION (minutos)	PROFUNDIDAD. (metros)
1	34.35	-0.3465	0.35	0.25	0.07
2	56.42	-0.6890	1.76	0.17	0.10
3	0.65	-0.3612	0.40	141.00	0.60
4	3.48	-0.3580	1.98	122.40	0.17
5	47.32	-0.4108	5.93	13.00	0.45
6	15.76	-0.3232	3.11	22.00	0.60
\bar{X}	26.33	-0.4148	2.25	49.74	0.33

$$(*) T_i = \left\{ \left\{ (60 \times LR) (n+1) \right\} / K \right\}^{(1/n+1)}$$

6.7 EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO

Esta se determinó mediante el cálculo de la potencia útil (Nu.), la potencia que debe recibir la bomba en su eje (N.) y la carga dinámica total (CDT.) a través de las ecuaciones 15, 16, 17 y 20, obteniéndose los resultados que aparecen en el cuadro 9. Figura 17A.

CUADRO 9: DATOS NECESARIOS PARA ENCONTRAR LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO.

BOMBA	Q. (lt/s.)	CDT. (mts.)	Nu	EFICIENCIA BOMBA (%)	N	EFICIENCIA SISTEMA BOMBEO %.
1	524	16.37	112.87	80	131	80
3	524	16.37	112.87	80	131	80
2	912	13.37	160.44	85	215	85
X	--	---	--		--	83

Como se puede apreciar en el cuadro anterior la eficiencia promedio del sistema de bombeo es de 83% la cual se considera una buena eficiencia (14); sin embargo este equipo tiene un tiempo de operación desde el año de 1982 (17 años aproximadamente) y se le ha hecho una reparación total y servicios menores que incluye únicamente lubricación, por lo que su período de vida está por caducar, y según técnicos es necesario reemplazar este equipo por uno nuevo y de preferencia por un sistema operado por combustible Diessel ya que actualmente la operación por el sistema eléctrico sale demasiado cara, debido a que éste es cobrado por demanda de servicio lo cual su costo es mayor que el consumo directo gastado por la operación del sistema de bombeo.

6.8 ENCUESTA A LOS AGRICULTORES-USUARIOS DE LA UNIDAD DE RIEGO

La encuesta se realizó a 15 usuarios quienes durante la investigación tenían en sus parcelas cultivos de Maíz y Okra, dando los resultados siguientes:

A) Area regada: El promedio de área regada por el método superficial por surcos es de 5.24 Has. en comparación con el área cubierta por la unidad que son de 945 Has. representando el 0.55% la cual es mínima debido a que la mayor extensión es regada por el método de riego por goteo por las empresas agro-exportadoras.

El bajo porcentaje se debe a que el coste de arrendamiento es bastante alto, el cual está en un promedio de Q 1,200.00/año/manzana excluyendo los pagos respectivos por cuotas de riego. En la mayoría de los casos el agricultor siembra cultivos no tradicionales pero bajo contrato, los cuales se mantienen por épocas, éstos son sustituidos por cultivos tradicionales, que no siempre son muy rentables.

B) Caracterización del usuario: Desde que se inició el riego en la unidad (1975), los agricultores únicamente han experimentado el riego por surcos, han aprendido a regar solos, con su propia experiencia, sus propios medios y con sus prácticas tradicionales; en la actualidad no han recibido capacitación sobre riego para saber al menos cuánto tiempo regar, que volumen de agua aplicar por cultivo o que técnicas pueden aplicarse.

La comunicación del usuario se limita a las visitas del canalero, hacer la solicitud de agua y la asistencia a las reuniones con el jefe de la unidad para discutir problemas de funcionamiento como son: reparación y limpieza de canales, actualización del padrón de usuarios, aumento a las cuotas de riego, no así para recibir capacitación, hacerles conciencia del uso y manejo del recurso agua, discutir los problemas financieros de la unidad, la morosidad de algunos usuarios la cual es bastante elevada y nadie interviene para que estos solventen su situación, sin embargo se les sigue proporcionando los turnos de riego.

C) Manejo del agua: El 100% de los agricultores riegan en forma empírica, desconocen el volumen de agua que necesita su cultivo (a pesar de las investigaciones que se han hecho en éstas áreas), por lo que en algunos casos aplican demasiada agua y en otros aplican con déficit. La mayoría riega en forma simultánea entre 15 y 18 surcos en terrenos donde no hacen prácticas de conservación de suelos ya que éstos aparentemente se ven planos. Respecto al manejo de colas de agua, se manejan varios criterios pero el 75% corta el agua antes de llegar al final del surco y el restante dejan colas que se pierdan, bajando el caudal pero el agua sigue fluyendo hasta que la unidad quita el abastecimiento.

El método utilizado es por turnos debido a que la unidad tiene establecidos

tres días por semana para los usuarios del canal F y tres días para los del canal E., por lo tanto muchas veces al agricultor no le interesa conocer la frecuencia de riego porque indirectamente está impuesta por la unidad, y en ésta zona tan árida no corren el riesgo de perder un turno de riego, de lo contrario, regaría cada 15 días.

D) Tiempo de riego: El tiempo de riego depende entre otros factores de la textura del suelo, longitud del surco, pendiente, textura del suelo, caudal, velocidad de infiltración, etc., pero el agricultor para regar una manzana sin considerar factores físicos o técnicos, utiliza entre 4 y 7 horas, tiempos que se reducirían si únicamente aplicara la lámina neta de riego y cubriera la profundidad efectiva de la zona radicular del cultivo.

E) Interés por regar más área: El 60% de los agricultores quisieran regar más área pero no cuentan con más terreno, mientras el 30% quieren regar más pero no le autorizan por escasez del recurso agua y el resto se conforman como están. Lo anterior se debe a que el 75% de los agricultores son arrendatarios y un 20% son medianeros; sin embargo el 100% opinan que la rentabilidad del cultivo bajo riego es rentable al hacer una comparación desde hace unos 40 años atrás, ya que la agricultura es altamente productiva considerando que el agua puede aplicarse en cantidad y en el momento que se requiera, además que la inversión hecha es más asegurada que con la agricultura supeditada a la lluvia temporal.

F) Aspectos sociales: El riego además de mejorar el nivel de vida del agricultor-usuario, ha impulsado el empleo de mano de obra, ha contribuido a mejorar el nivel de ingresos, a la creación de nuevas empresas, ha evitado la emigración e incrementado la inmigración, ha impulsado la infraestructura social, gubernamental y privada; contándose con servicios básicos como drenajes, letrinas, agua potable, luz eléctrica, centros de salud, etc., los terrenos han ganado plusvalía; en general ha mejorado el área de influencia de la unidad, así tenemos que el agricultor aunque no sea propietario de su parcela ya posee su vivienda propia, con techo de lámina, piso de cemento, usa letrinas, ya puede elegir donde educar a sus hijos, debido a

los diferentes centros de estudios que existen en el área, lo cual viene a elevar el índice de alfabetismo en la zona tanto para niños como adultos (mujeres y hombres). Antes del proyecto de irrigación el nivel cultural de los habitantes de la zona era bajo, debido al bajo ingreso y a la escasez de centros docentes en las cercanías y también se contemplaban solo niveles primarios, mientras en la actualidad ya se cuentan con varios centros educativos tanto nacionales como privados, como se puede observar en el cuadro 12A.

El número de alumnos alfabetizados por CONALFA comprendidos entre 9 y 46 años son 92 hombres y 85 mujeres haciendo un total de 177 alumnos, ubicados en el municipio de Estanzuela y en las aldeas de San Nicolás, Guayabal, Chispán y Tres Pinos.

El número de estudiantes que asisten a las escuelas en el municipio son 901 hombres y 945 mujeres para un total de 1,846 alumnos. El total de catedráticos empleados son aproximadamente 59.

6.9 CARACTERISTICAS DE LA UNIDAD

Esta unidad fue transferida a la Asociación de usuarios mediante el convenio 240-97 de fecha 17/12/97, en el cual el Ministerio de Agricultura le otorga la administración, operación y mantenimiento de la misma, así como a fijar, cobrar y administrar la cuota de operación. La Asociación es reconocida como tal, según Acuerdo Gubernativo 184-96, de fecha 29/5/96 e inscrita en el Registro Civil del municipio de Estanzuela según acta 02-96 de fecha 26/8/96. Se pudo determinar que existe falta de personal coordinador a nivel de distrito, debido a ello no existe programación en la unidad de riego El Guayabal, porque dependen de la programación de la unidad La Fragua, consecuentemente la unidad no cubre el área potencial; por la falta de disponibilidad de agua ya que se tiene que contemplar la demanda de las otras unidades como lo son La Fragua y Llano de Piedras, y por la las bajas eficiencias con que opera el sistema; pero en general influye las deficiencias en la organización; sin embargo se puede suponer que ha habido un ahorro del recurso, porque las empresas agroexportadoras utilizan sistema de riego por goteo, cubriendo un área de 867 hectáreas (92%), el cual representa un

porcentaje elevado comparado con el área que se riega por superficie que son 78.4 hectáreas (8%).

El personal de la unidad está integrado por: una secretaria y un auxiliar, 2 canaleros quienes están divididos por áreas utilizando como medio de locomoción bicicleta de su propiedad, lo cual es un obstáculo para atender en forma eficiente, eficaz y oportuna algún problema que se pueda dar en forma simultánea en diferentes sistemas de conducción, por lo que sería más conveniente utilizar por lo menos motocicletas; 2 operadores del sistema de bombeo, en turnos de 24x24 horas, debiéndose mantener por lo menos 3 para afrontar cualquier contingencia ya que no se cuenta con supervisores, únicamente existe el Jefe de la unidad, quién tiene que hacer las veces de operador, supervisor o desempeñar alguna otra actividad para cubrir alguna emergencia por falta de personal, no se cuenta con ningún profesional a cargo de la misma. Para desasolver la infraestructura contratan personal particular.

Entre las cuotas que se cobran en la unidad están: la de compensación que es de Q 13.40/manzana/año, pagadera durante 40 anualidades, liquidándose a la fecha 25 y las mismas no se han actualizado por asuntos de contrato, la cuota de Operación de Q500.00/manzana/ciclo de cultivos cortos y de Q1,000/manzana/año para cultivos permanentes en riego superficial por surcos y para riego por goteo de Q250.00/manzana/ciclo de cultivos cortos. Estos fondos son manejados por la Asociación para la consolidación, mantenimiento y mejoramiento de la infraestructura, los cuales no son suficientes para costear las reparaciones que necesita la infraestructura y la cuota de Emergencia es de Q10.00 por manzana por año, impuesto de común acuerdo entre los usuarios y la Asociación, ésta se reporta a la Gobernación y es utilizada para suplir emergencias en aperos, repuestos, candados, etc.

Con respecto a los usuarios morosos, existe un alto porcentaje que no tienen solvencia de pago y ejercen una fuerte resistencia a solventarse, debido a que no existe un contrato que los obligue a cumplir con dicho compromiso; no obstante, el servicio se les sigue prestando, a pesar de lo que reza el artículo 12 del acuerdo Gubernativo 11-80.

El costo por consumo de energía eléctrica por la operación del sistema es lo que más preocupa a la Asociación, siendo alrededor de Q 48,000 mensuales, del cual el 35% representa el consumo y el 65% la demanda; por lo que sería necesario negociar con el INDE una tarifa preferencial o que solo cobren por consumo, de lo contrario valdría la pena hacer un estudio económico sobre la rentabilidad para operar el sistema de bombeo accionado con moto-bombas Diesel como operaba anteriormente o siempre con energía eléctrica, pero utilizando un equipo nuevo que incluya los transformadores, los motores eléctricos y las bombas.

No existe un buen sistema hidrométrico, no hay estaciones de aforo en los canales, reglas graduadas, etc., por lo que no se sabe cuanta agua pasa por los canales para hacer una distribución precisa.

El servicio de agua a los usuarios está establecido en dos turnos de tres veces por semana para los usuarios del canal F y tres veces para los del canal E, por lo que en algunos casos el turno no coincide con el requerimiento de riego del cultivo, por lo que existen muchos riegos innecesarios donde muchos usuarios tienden a regar excesivamente mientras haya agua.

6.10 CALIDAD DEL AGUA

Según los resultados del análisis de la muestra de agua realizada en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, ésta es del tipo C1S1, la cual nos indica que es una agua de baja salinidad, baja en sodio y puede usarse para riego en la mayoría de los suelos y en la mayoría de cultivos, con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad y de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

7. CONCLUSIONES

1. La Eficiencia global del sistema de riego es de 52%, siendo sus componentes: la eficiencia de conducción 87.31% y la eficiencia de aplicación 59%.
2. La mayor pérdida del recurso agua es por la baja eficiencia a nivel parcelario, ya que los agricultores aplican láminas de agua superiores a los requerimientos hídricos del cultivo que sobrepasan la zona radicular del mismo. Consecuencia de ello se pierde un volumen de 776 mts.³/Ha., aplicados durante 15.26 horas, lo cual aumenta los costos de operación del agricultor y de la unidad. Con este volumen se puede dar otro riego al 50% de las parcelas, cuyos cultivos se encuentren en este mismo estado de desarrollo. A ello también contribuye a que no hay un control supervisado en la entrega del agua.
3. Las pérdidas de agua por conducción son menores, debiéndose principalmente al mal estado en que se encuentran las pizarras de los canales E y F.
4. La eficiencia del sistema de bombeo es de 83%, y se considera aceptable, sin embargo éste equipo, a la fecha tiene un tiempo de operación de 17 años.
5. Todos los agricultores tienen conocimientos similares sobre riego, aprendiéndolos en la práctica por lo que aplican las mismas técnicas; de tal manera que con el método de entrega (por turnos), se han acostumbrado a regar con grandes volúmenes de agua, lo que no tiene ninguna relación con las cuotas que paga, las cuales son por ciclo del cultivo.
6. Todos los agricultores consideran rentable el uso del riego, ya que éste ha elevado la producción de sus cultivos y por ende coadyuvado a elevar el nivel económico, político y social de la zona en general.

7. El método de distribución utilizado es Mixto (por caudal continuo y por rotación), los cuales no se orientan a la frecuencia de riego sino a la práctica, por lo que los usuarios riegan mientras haya agua.
8. En la unidad existen dos métodos de riego: el Superficial por Surcos (utilizado por agricultores) y por Goteo (utilizado por las compañías agro-exportadoras).
9. La unidad no cuenta con un buen sistema hidrométrico dentro de su infraestructura.
10. Existe un porcentaje de usuarios morosos, quienes se rehusan a solventarse.
11. El mayor gasto lo constituye la demanda de energía eléctrica, la cual representa el 65% comparado con el consumo que es de 35%.
12. En la unidad existe una "Asociación de Agricultores", quienes están a cargo de la administración, operación y mantenimiento de la misma.
13. El tipo de agua que se sirve en la unidad es C1S1, considerada de buena calidad para riego.

8. RECOMENDACIONES

1. Hacer evaluaciones de las eficiencias de conducción y aplicación en cada ciclo agrícola, lo cual contribuirá a un mejor manejo del recurso agua.
2. El agua que se desperdicia por escurrimiento superficial puede reciclarse o integrar el caudal con que se riega otra parcela, a través de la elaboración de un mapa de las parcelas que se regaran en el turno correspondiente.
3. El método de distribución deberá ser por demanda controlada y el cobro de las cuotas por servicio de riego hacerlo por volumen de agua utilizada, así se obtendrá mayor eficiencia de aplicación parcelaria y mejor aprovechamiento del recurso agua.
4. Que el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, fortalezca y consolide la organización en la unidad, así como dotarla de un equipo de bombeo de modelo reciente.
5. Establecer un programa de capacitación permanente dirigido a los usuarios que utilizan el riego superficial e introducirlos al riego por goteo, orientado a mejorar el uso y manejo del agua, principalmente en los aspectos de: volúmenes requeridos por cultivo, frecuencia y tiempo de riego, longitud de surcos y uso de estructuras aforadoras.
6. Para hacer un aprovechamiento eficiente del recurso agua, es conveniente hacer un estudio económico para impulsar un sistema de riego por goteo.
7. Es necesario que la administración del distrito de riego coordine con todas las unidades que lo integran para localizar los deterioros, determinar sus causas y de esta manera evaluar y efectuar las reparaciones de las obras.

8. Celebrar un contrato por el servicio de riego entre usuario y Asociación, de tal manera que se evite el incumplimiento al pago de las cuotas.
9. Establecer convenio con la empresa que presta el servicio eléctrico, para que les faciliten tasas preferenciales.
10. Hacer una evaluación del impacto ambiental del sistema de riego, con respecto a las aguas residuales y a donde desembocan.

9. BIBLIOGRAFIA

1. AGUIRRE, M. V. 1991. 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 de Guatemala, Facultad de Agronomía. 80 p.
2. BISHOP, A. A. 1974. Manejo del agua a nivel de finca. Logan, Estados Unidos, Universidad del Estado de Utah, Departamento de Agricultura y Riego. 17 p.
3. CRUZ, J. R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
4. ESPINOZA, V. E. 1976. Los distritos de riego, su administración, operación y conservación. México, D. F., CECOSA. 623 p.
5. ESTADOS UNIDOS. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA. 1972. Medición del agua de riego. Trad. por Emilio Avila De La Torre. México, Ed. DIANA. 126 p.
6. FERNANDEZ R., C. F. 1984. Estudio agrológico semidetallado de suelos del proyecto El Guayabal, Zacapa. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. s.p.
7. FRENCH, H. R. 1988. Hidráulica de canales abiertos. 2 ed. México, McGraw Hill. 724 p.
8. FUENTES YAGÜE, J. L. s.f. Riego por gravedad. Madrid, Escuela Central de Capacitación Agraria, San Fernando de Henares. p. 27-29.

Presentado en: Curso Internacional de Técnicas de Riego y Gestión del Regadío. s.n.t.
9. GOLDBERG, S. G. 1975. Técnicas y métodos para el uso eficiente del agua en la agricultura, principios y técnicas de irrigación a presión. México, Centro Regional de Ayuda Técnica. 14 p.
10. GONZALEZ, O. 1988. Diagnóstico de la situación del riego, objetivos, estrategias y políticas. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. v. 1, 23 p.

11. GRASSI, C. J. 1968. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos con fines de formulación y diseño de proyectos. Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 230 p.
12. -----, 1977. Operación de sistemas de riego. Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 230 p.
13. -----, 1978. Métodos de riego. Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 265 p.
14. GRIFFIN, R.; HARGREAVES, C.; WATTERS, G. 1985. Bombas y elevadores de agua para riego; curso de diseño de pozos y bombas. Guatemala, Dirección General de Servicios Agrícolas. Manual no. 3. s.p.
15. GUATEMALA. DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO. 1982. El aforador tipo Bállofet. Guatemala, DIRYA. Memorándum Técnico no. 31. 25 p.
16. -----, MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACION. PLAN DE ACCION PARA LA MODERNIZACION Y FOMENTO DE LA AGRICULTURA BAJO RIEGO. 1997. Recopilación de leyes de riego. Guatemala. p. 15-33.
17. GUNDERSEN, S. 1983. Riego y manejo del agua. 2 ed. Guatemala, Impresos Guatemala. 353 p.
18. ISRAELSEN, O.; HANSEN, V. 1979. Principios y aplicaciones del riego. Trad. por Gilberto García P. 2 ed. Barcelona, España, Reverté. 396 p.
19. KARASSIK, I.; CARTER, R. 1987. Bombas centrífugas. Trad. Por Alberto Berumen. 14 ed. México, Continental. p. 279.
20. MARTINEZ, E. R. 1984. Diagnósticos sobre el funcionamiento de las unidades de riego: La Fragua, LLano de Piedras, El Guayabal, Cabañas, Oaxaca y La Palma del distrito No. 7, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 128 p.
21. MASAYA, A. R. 1976. Deficiencias de la operación de las unidades de riego en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 108 p.
22. PALACIOS, E. 1966. Cuánto, cuándo y cómo regar. México, Secretaría de Recursos Hidráulicos. 66 p.

23. PORTILLO C., E. 1994. Evaluación de la eficiencia de riego en la unidad de riego La Palma, Río Hondo, Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 65 p.
24. RAMIREZ, G. G. 1986. Diagnóstico de la eficiencia del 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.
25. SAPIR, E. 1976. La irrigación por surcos. Trad. por Pinjas Koren. Israel, Departamento de Capacitación para el Extranjero. 52 p.
26. SEMINARIO SOBRE RIEGO PRIVADO EN GUATEMALA. (1., 1992, Guatemala) 1992. Conclusiones. Guatemala, FAO. 24 p.
27. SIMMONS, CH. S.; TARANO, J.; PINTO, J. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José De Pineda Ibarra. 1000 p.
28. THORNE, D.; PETERSON, H. 1964. Técnicas de riego. Trad. por José Luis Lepe. 2 ed. México, D. F., CECSA. 481 p.
29. VEGA, G. J. 1978. Uso y manejo del agua. México, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 209 p.
30. ZINMERMAN, J. D. 1982. El riego. Trad. por Guillermo Fernández. México D. F., CECSA. p. 355,488.
31. ZURITA, R. J. 1978. Obras hidráulicas. 3 ed. España, CEAC. 260 P.

Vo. bo.
Pedrucci


10. ANEXOS



CUADRO 10A: DATOS SOBRE EL AREA DE LAS PARCELAS ANALIZADAS, CULTIVO, CAUDALES INTRODUCIDOS Y TIEMPO DE RIEGO UTILIZADO POR EL AGRICULTOR.

P	AREA Ha.	Q.INTRODUCIDO m ³ /Ha.	TIEMPO RIEGO/AGRIC. Hr/Ha.	CULTIVO	PROFUNDIDAD MAIZ (metros)
1	3.50	208	4.29	MAIZ	0.07
2	5.60	301	4.60	MAIZ	0.10
3	2.80	410	8.57	OKRA	0.60
4	3.50	236	5.00	MAIZ	0.20
5	5.60	602	8.80	OKRA	0.20
6	3.50	372	6.80	MAIZ	0.30
T	24.50	2129	38.06	---	1.47
\bar{X}	4.08	354.83	6.34	---	0.25

CUADRO 11A: CALCULO DE LA LAMINA ACUMULADA (Z) EN CENTIMETROS, POR TIEMPO ACUMULADO (MINUTOS) POR PARCELA.

PARCELA 1		PARCELA 2		PARCELA 3	
Tiempo Acumulado (minutos)	$Z = 0.8759(t)^{0.6535}$	Tiempo Acumulado (minutos)	$Z = 3.023(t)^{0.311}$	Tiempo Acumulado (minutos)	$Z = 0.0169(t)^{0.6388}$
59.50	12.65	50.00	10.21	3.00	0.034
64.50	13.33	55.00	10.51	4.00	0.041
69.50	14.00	60.00	10.80	7.50	0.061
74.50	14.65	65.00	11.07	9.00	0.069
79.50	15.28	75.00	11.58	14.00	0.091
84.50	15.90	80.00	11.81	19.00	0.111
89.50	16.52	95.00	12.46	24.00	0.129
94.50	17.12	105.00	12.85	29.00	<u>0.145</u>
99.50	17.70	115.00	13.22		0.681
104.50	18.28	125.00	<u>13.57</u>		
109.50	18.84		118.08		
112.50	<u>19.18</u>				
	193.45				

CONTINUACION CUADRO 11A.

PARCELA 4		PARCELA 5		PARCELA 6	
Tiempo		Tiempo		Tiempo	
Acumulado		Acumulado		Acumulado	
(minutos)	$Z = 0.0904(t)^{0.642}$	(minutos)	$Z = 1.3385(t)^{0.5892}$	(minutos)	$Z = 0.3881(t)^{0.6768}$
7.50	0.330	10.50	5.349	6.50	1.378
12.50	0.457	11.50	5.644	7.50	1.518
17.50	0.568	14.50	6.470	8.50	1.652
22.50	0.667	23.50	8.599	9.50	1.781
27.50	0.759	27.50	9.433	14.50	2.371
32.50	0.845	32.50	10.409	27.50	3.657
37.50	0.926	37.50	11.325	37.50	4.511
42.50	1.004	42.50	12.192	42.50	4.910
47.50	1.078	47.50	13.017	62.50	6.374
52.50	<u>1.149</u>	52.50	13.808	67.50	<u>6.714</u>
	7.783	57.50	14.568		34.870
		62.50	15.302		
		67.50	16.012		
		72.50	<u>16.700</u>		
			158.830		

CUADRO 12A: ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS FUNCIONANDO EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LA UNIDAD DE RIEGO. (MUNICIPIO DE ESTANZUELA Y SUS ALDEAS).

ESTANZUELA	GUAYABAL	TRES PINOS	CHISPAN	S.NICOLAS
Esc.of. Varones	Escuela Oficial	Escuela Ofic.	Esc. Ofic.	Escuela Ofi.
Esc.of. Niñas				
Esc.of. Párvu.				
Col.priv.Parvu.				
Col.priv.Primaria				
Inst.Of.Básico				
Inst.Priv.Básico				
Inst.Of.Bco.Agrop				

FUENTE: Supervisión Departamental de Educación y CONALFA, 1997.

CUADRO 13A: REGISTRO DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DE SUELO.

DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA
INFORME DE ANALISIS FISICO DE SUELO

PTO.	PROF. CMS.	CLASE TEXTURAL	% ARC.	% LIMOS	% AREN.	C.C. 1/3 BAR.	F.M.P. 15 BAR.	DENSID. G/CC.	Psa. %	CULTIVO
M-1	00-20	F. ARC. ARENOSO	21.42	22.58	56.00	21.79	11.56	1.1523	17.45	
P-1	20-40	F. ARC. ARENOSO	21.22	18.30	60.48	22.94	11.20	1.2536	21.14	MAIZ
	40-60	F. ARC. ARENOSO	19.68	20.41	59.91	22.99	11.04	1.2536	22.00	
M-2	00-20	FRANCO	21.90	28.62	49.48	25.87	9.80	1.3312	12.65	MAIZ
P-2	20-40	FRANCO	22.00	36.95	41.05	28.27	10.86	1.3274	16.59	
	40-60	FRANCO	23.38	28.61	48.01	25.00	9.83	1.3648	21.24	
M-3	00-20	F. ARC. ARENOSO	27.95	24.96	47.09	30.49	12.47	1.2442	29.76	
P-3	20-40	ARCILLA	43.19	25.37	31.44	44.08	21.00	1.1586	43.51	OKRA
	40-60	ARCILLA	43.56	29.83	26.61	43.92	20.85	1.1362	43.52	
M-4	00-20	F. ARC. ARENOSO	23.84	23.69	52.46	26.47	12.92	1.1831	18.11	
P-4	20-40	F. ARC. ARENOSO	26.27	24.80	48.93	31.15	14.29	1.2136	23.45	MAIZ
	40-60	F. ARC. ARENOSO	26.39	26.98	46.63	29.50	15.10	1.2628	28.60	
M-5	00-20	F. ARCILLOSO	39.25	18.54	42.21	29.82	17.54	1.2902	6.82	OKRA
P-5	20-40	ARCILLA	40.99	16.86	42.15	49.70	16.29	1.3048	25.48	
	40-60	ARCILLA	47.37	13.09	39.54	39.51	19.84	1.2202	25.58	
M-6	00-20	F. ARC. ARENOSO	23.35	20.42	56.23	23.00	9.55	1.1542	12.98	MAIZ
P-6	20-40	F. ARC. ARENOSO	23.60	18.58	57.82	23.43	9.75	1.2696	17.12	
	40-60	F. ARC. ARENOSO	25.53	18.47	56.00	26.98	10.95	1.2049	20.40	

REF: F= FRANCO, ARC.= ARCILLA

CUADRO 14 A: DATOS SOBRE VELOCIDAD DE INFILTRACION POR EL METODO DE ENTRADAS Y SALIDAS.

PARCELA	Q. ENTRADA Lt/s.	Q. MAXIMO. Lt/s.	INFILTRACION PROMEDIO (Cm/hr.)	TIEMPO PROMEDIO. ACUMULADO (minutos)
1	1.50	1.50	7.257	112.50
2	2.50	2.52	2.871	125.00
3	1.00	1.37	0.435	29.00
4	0.50	0.70	0.756	52.50
5	3.50	3.71	11.530	72.50
6	3.70	4.20	6.363	67.50

APENDICE 17A: BOLETA DE ENCUESTA DIRIGIDA A LOS USUARIOS DE LA UNIDAD
DE RIEGO EL GUAYABAL

1. Extensión de la Parcela _____ Cultivo _____
Es Propietario _____ Arrendatario _____ Medianero _____
2. Extensión que posee bajo riego _____
3. Qué experiencia tiene en riego? Nada ___ Poco _____ Algo _____ Mucho _____
4. Qué métodos de riego conoce? Surcos ___ Melgas ___ Inundación ___ Otro _____
5. Sus conocimientos en el uso del agua para riego han aumentado desde que empezó a regar? Nada _____ Poco _____ Algo _____ Mucho _____
6. Está organizado en comité de usuarios? Sí _____ No _____
7. Conoce el volumen de agua que utiliza para el riego? Sí ___ No ___ Como lo mide? ___
8. Cómo 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. Cómo decide cada cuantos días regar? Por turno que le fija la unidad de riego _____
Según el grado de marchitez de la planta _____ Según el tipo y humedad del suelo _____
Otros _____
10. Cuántos surcos riega simultáneamente? _____

11. Al momento del riego como maneja las colas de surcos?
No deja colas _____ Recicla las colas _____ Deja colas que se pierdan _____
12. En cuántas horas riega una manzana de tierra? _____
13. Quiere usted regar más área? Si quiere regar más pero no autorizan más agua _____
No quiere regar más área de la que tiene _____
14. Considera rentable la utilización del riego? Sí _____ No _____
15. Ha recibido capacitación en riego? Sí _____ No _____
16. Cuánto costaba el arrendamiento de 1 manzana de terreno:
- Cuando no había riego _____ - Ahora que hay riego _____
17. Qué clase de semilla utiliza para la siembra:
- Semilla mejorada que compra _____ - Semilla seleccionada de la cosecha anterior _____
18. Cómo prepara la tierra para la siembra:
- Con Tractor _____ Con animales _____
19. Cuántos hijos tiene? _____
20. Asisten todos a la Escuela? _____
21. Su casa de que está construida? _____
22. Su casa posee piso de:
Cemento _____ Ladrillo de Barro _____ Ladrillo _____ Granito _____ De Tierra _____
Otro Material _____

23. Su casa posee techo de: Terraza _____ Teja _____ Lámina _____ Palma _____
24. Tiene Letrinas? Sí _____ No _____
25. Hace estructuras de conservación de suelos en su terreno? Sí _____ No _____
26. Sabe usted si las cuotas que pagan por servicio de agua se invierten en darle mantenimiento a la unidad de riego? Si _____ No _____
27. Se hace limpieza en los canales? Sí _____ No _____
28. Quién hace la limpieza en los canales? _____
29. Tiene usted asesoría sobre cómo usar el agua de riego? Sí _____ No _____
30. Sabe usted si los agricultores respetan los turnos de riego? Sí _____ No _____

CUADRO 18 A: CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

MOTOR 1 Y 3.

Motor eléctrico vertical	Tipo HV
Potencia	150 Hp.
No. de fases	Trifásico
Ciclos	60 Hz.
Voltios	460
Amperios	178
Factor de seguridad	1.15
Revoluciones	1200

BOMBA 1 Y 3.

Bomba Turbina Vertical

Marca	Fairbanks Morse
Modelo	8312
Propela o impulsor	A371.5-T de 124" cuadradas.
No. de etapas	2
Diámetro de eje	1.6875"
Revoluciones por minuto	1,200
Caudal de Bomba	9,200 GPM.
Carga Dinámica Total	50 pies.
Eficiencia de la bomba	85%
Potencia requerida al freno	137 Hp.
Cabezal de descarga	a 90 grados de 24"
Nivel mínimo de sumergencia	57".

MOTOR 2.

Motor eléctrico vertical	Tipo HV
Potencia	250 Hp.
No. de fases	Trifásico
Ciclos	60 Hz.
Voltios	460
Amperios	318
Factor de seguridad	1.15
Revoluciones	720

BOMBA 2.**Bomba Turbina Vertical**

Marca	Fairbanks Morse
Modelo	8312
Propela o impulsor	A361.5-T de 256.3" cuadradas.
No. de etapas	2
Diámetro de eje	2.4375"
Revoluciones por minuto	720
Caudal de Bomba	14,500 GPM.
Carga Dinámica Total	50 pies.
Eficiencia de la bomba	85%
Potencia requerida al freno	215 Hp.
Cabezal de descarga	a 90 grados de 24"
Nivel mínimo de sumergencia	66".

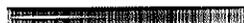


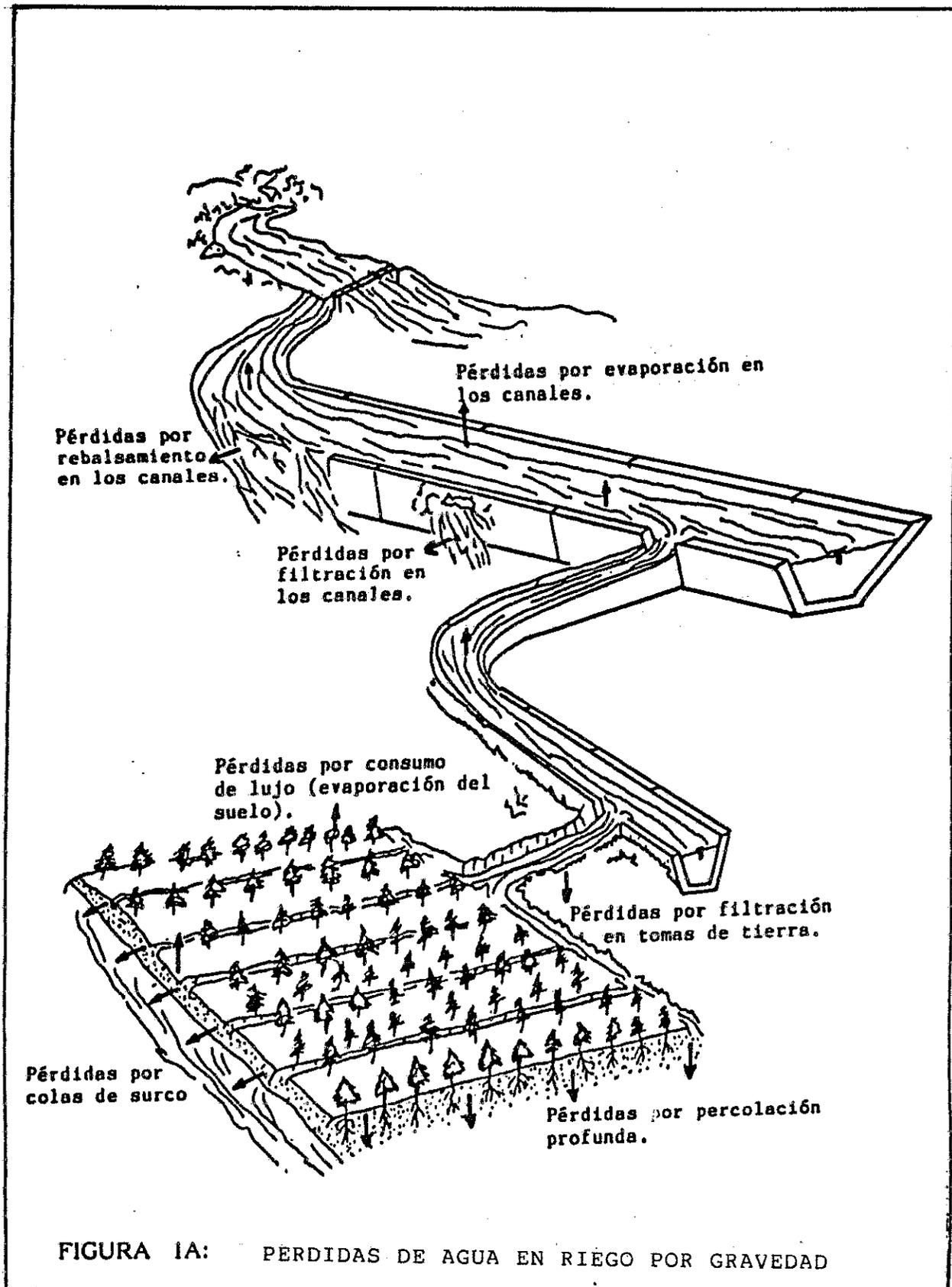
FACULTAD DE AGRONOMIA
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12
GUATEMALA, CENTROAMÉRICA

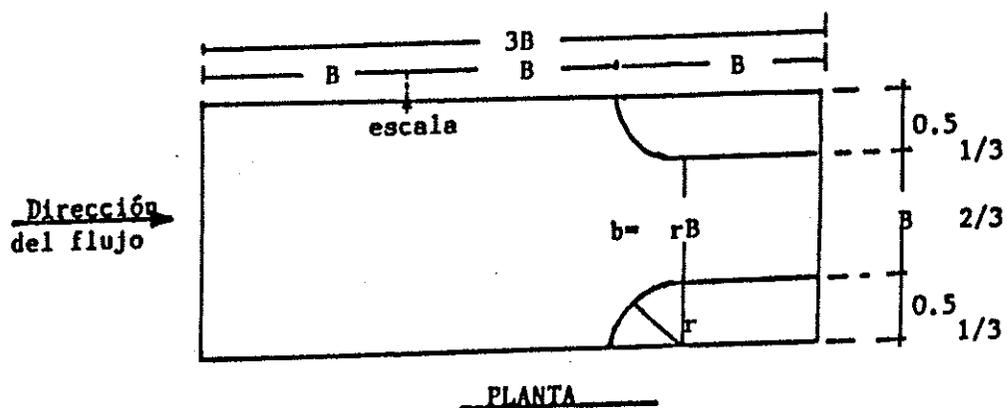
INTERESADO: ARTURO SOSA

PROCEDENCIA: UNIDAD DE RIEGO EL GUAYABAL ZACAPA

IDENTIFIC	pH	Us/cm C.E	meq/litro				SUMA DE CATIONES	ppm				CLASIFICACION
			Ca	Mg	Na	K		Cu	Zn	Fe	Mn	
1	7.1	223	1.12	0.39	0.39	0.12	2.02	0.00	0.00	0.00	0.00	C1S1







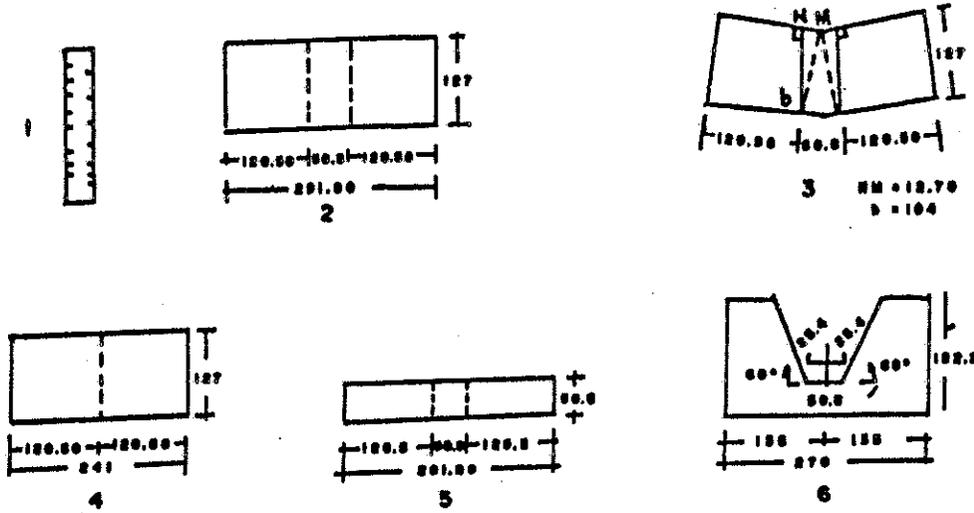
- $3B$ = longitud en cms. -- 90 cms.
 B = ancho, sección de acceso en cms. -- 30 cms.
 b = garganta (rB) -- 20 cms.
 r = Relación de contracción b/B . -- 0.6666
 $2B$ = Altura máxima, -- 40 cms.

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

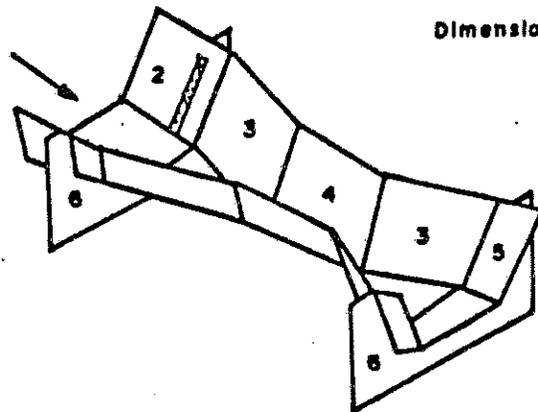
ISOMETRIA

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 2A: PLANTA, ISOMETRIA Y DIMENSIONES DEL MEDIDOR BALLOFET.



Dimensiones: en mm.



Escala para la lectura del tenor de descarga



FIGURA 3A: VERTEDERO WSCI, DETALLE DE CONSTRUCCION.

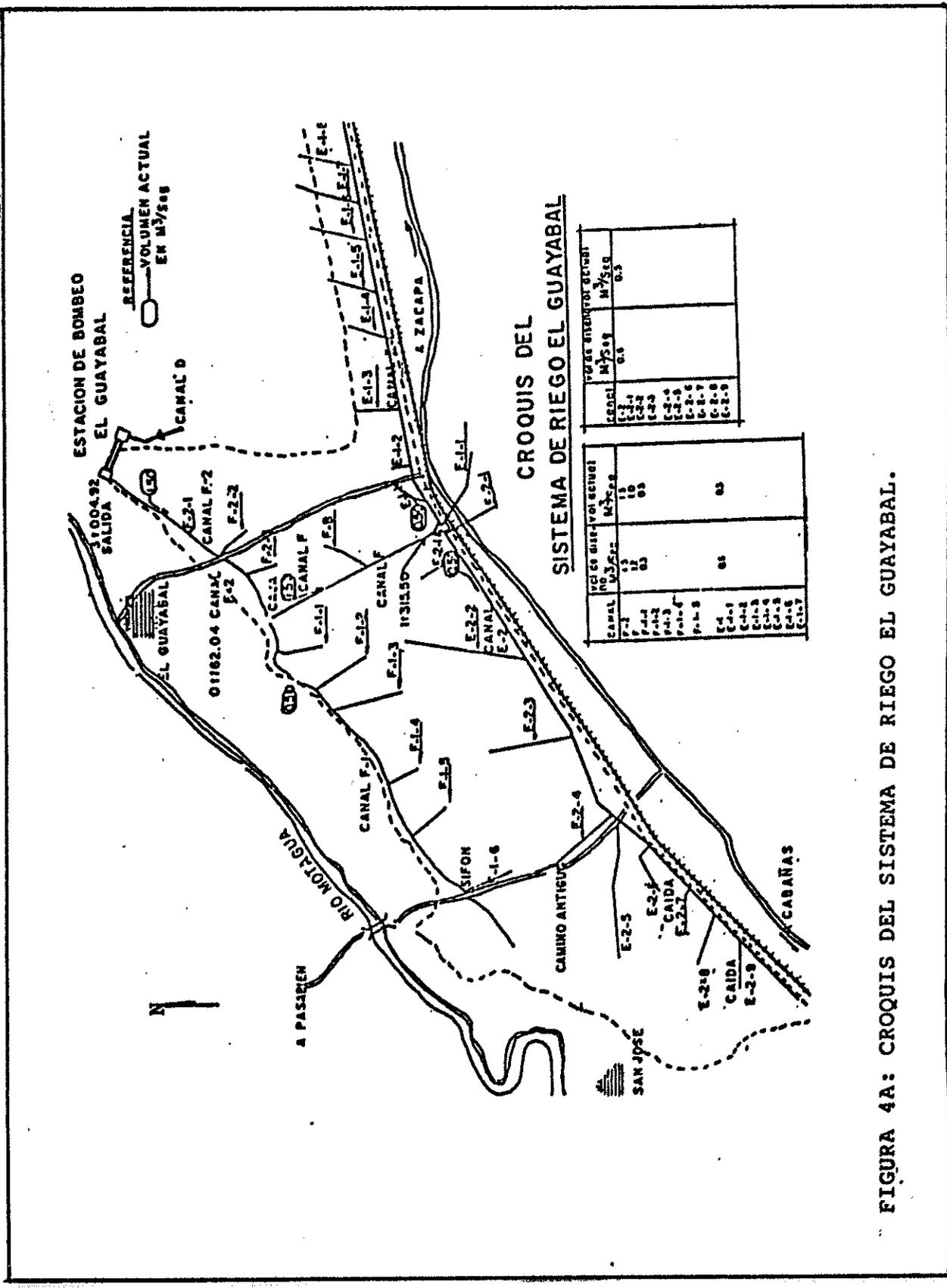


FIGURA 4A: CROQUIS DEL SISTEMA DE RIEGO EL GUAYABAL.

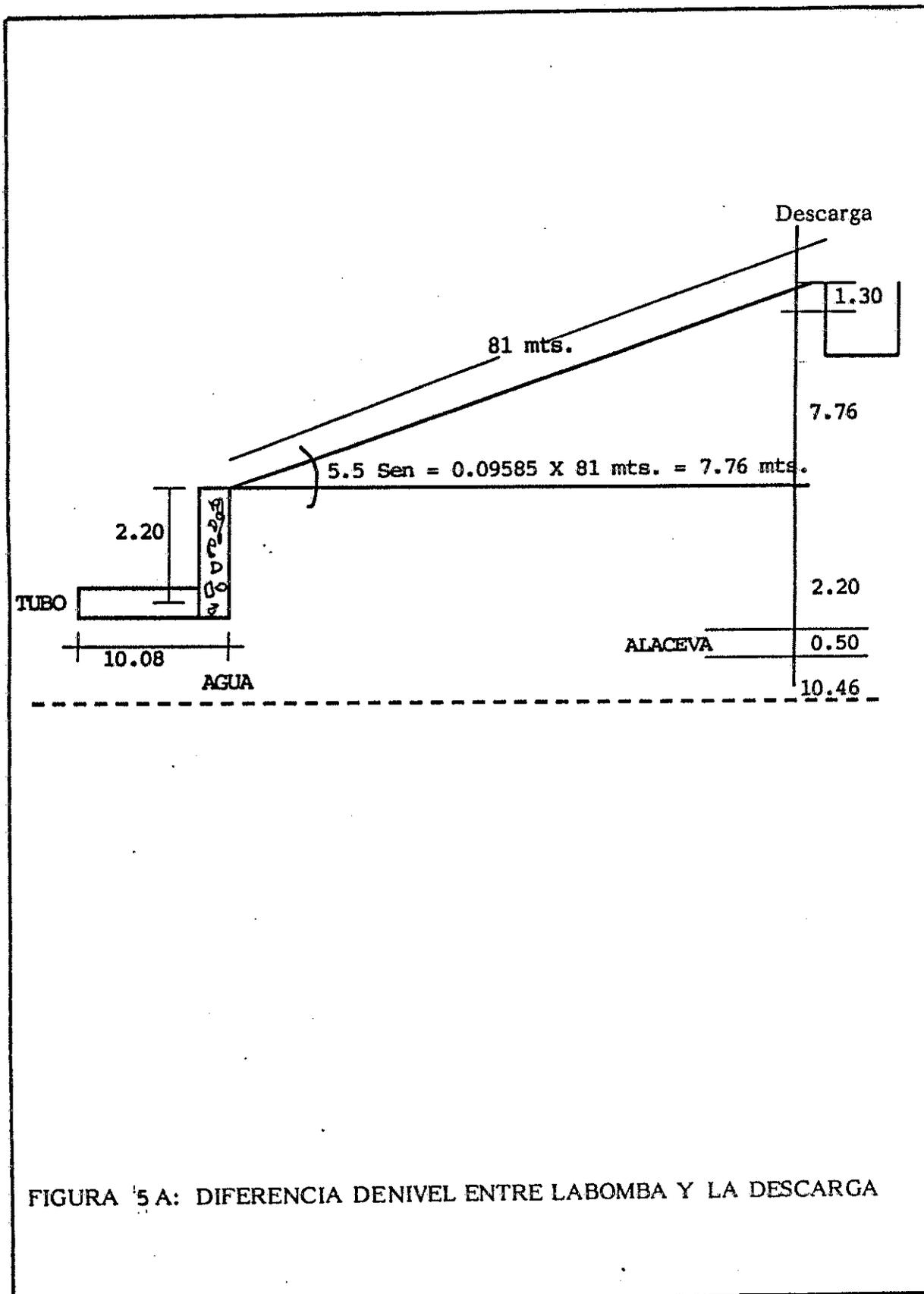
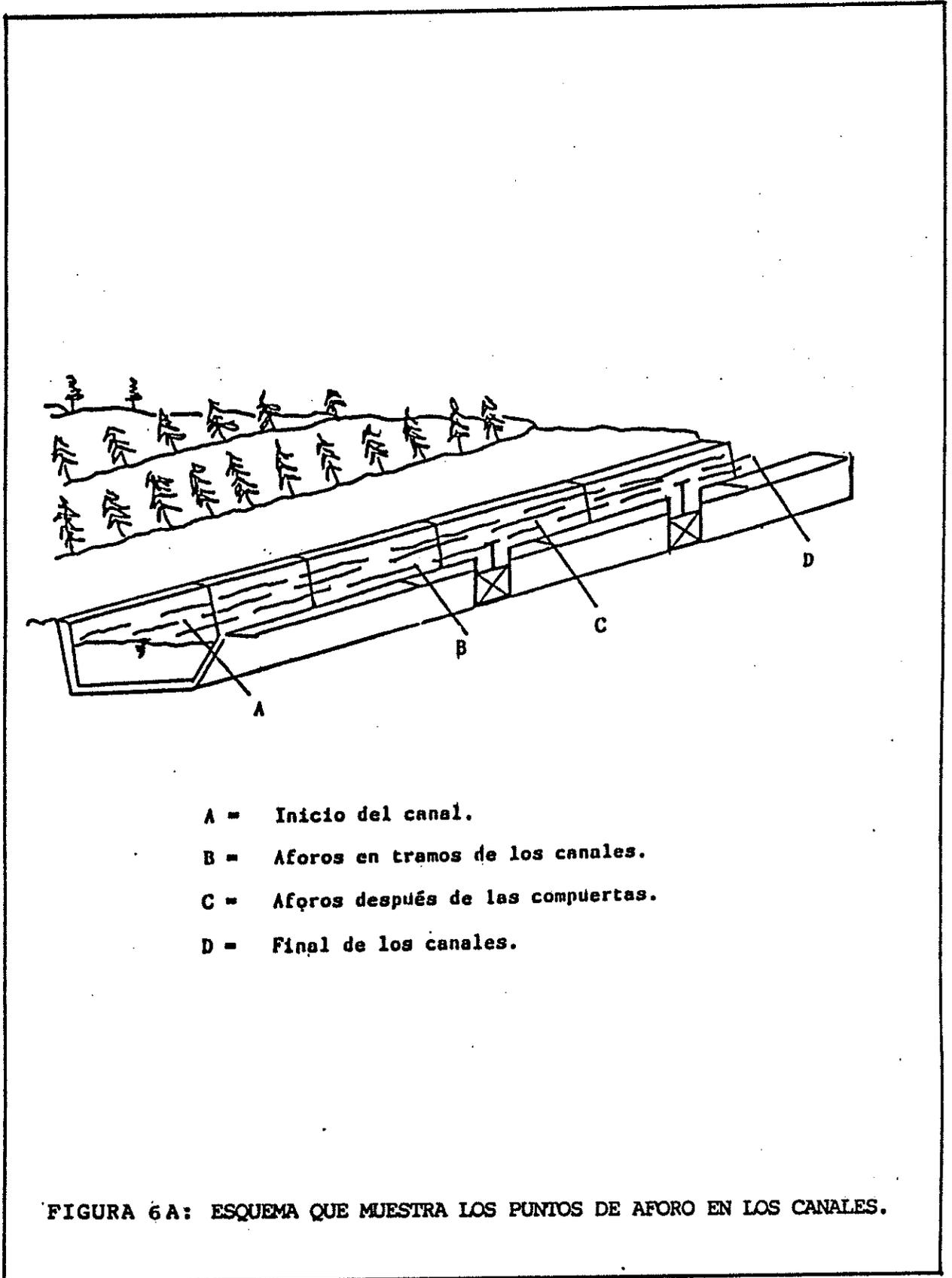


FIGURA 5 A: DIFERENCIA DENIVEL ENTRE LABOMBA Y LA DESCARGA



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

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

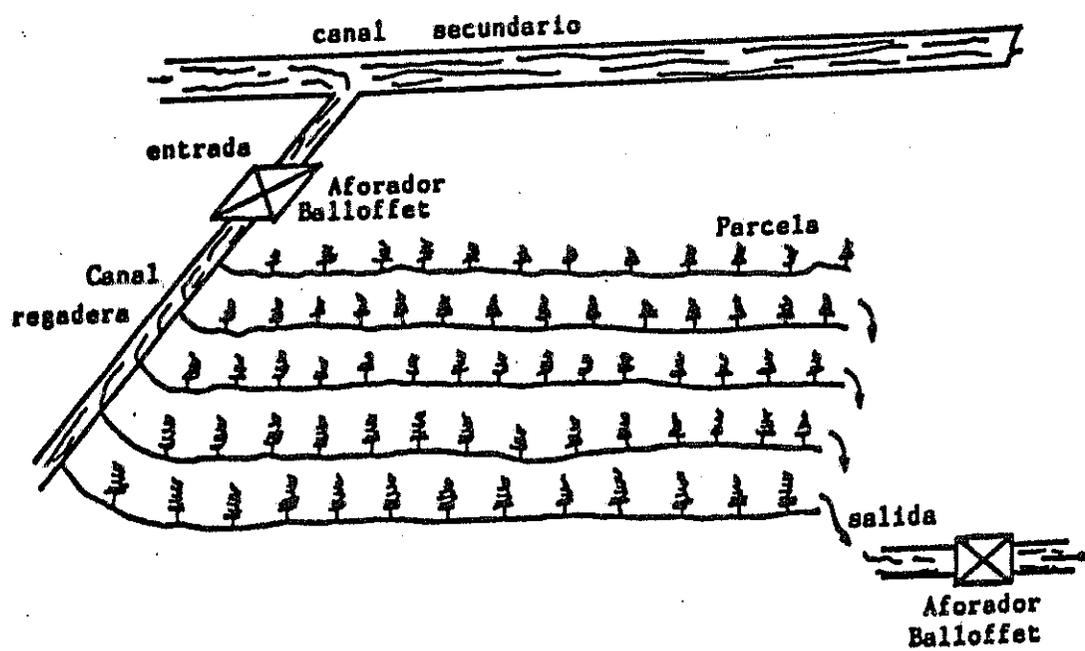


FIGURA 7A: ESQUEMA QUE MUESTRA LA LOCALIZACION DE LOS AFORADORES BALLOFET A LA ENTRADA Y SALIDA DE LA PARCELA.

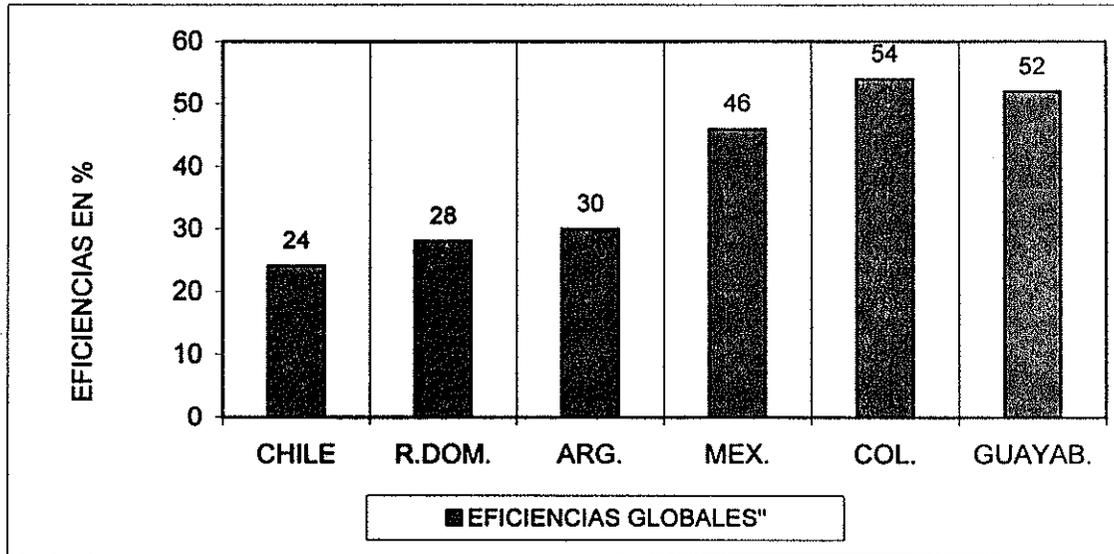


FIGURA 8 A: COMPARACION DE EFICIENCIAS GLOBALES ENTRE ALGUNOS PAISES Y LA UNIDAD DE RIEGO EL GUAYABAL.

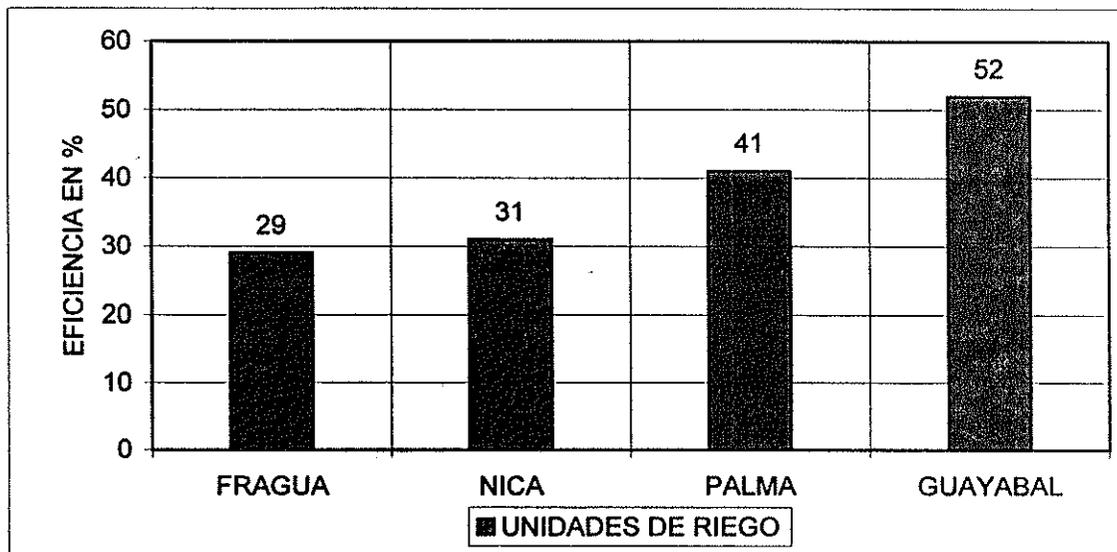


FIGURA 9 A: COMPARACION DE EFICIENCIAS GLOBALES ENTRE UNIDADES DE RIEGO.

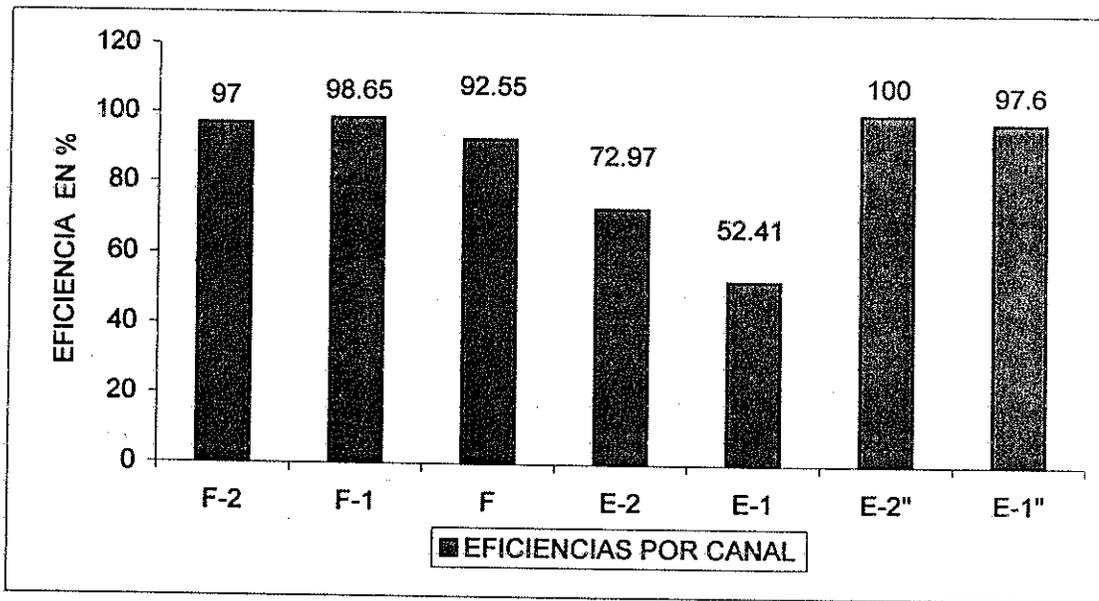


FIGURA 10 A: GRAFICA MOSTRANDO LAS EFICIENCIAS DE CONDUCCION POR POR CANAL.

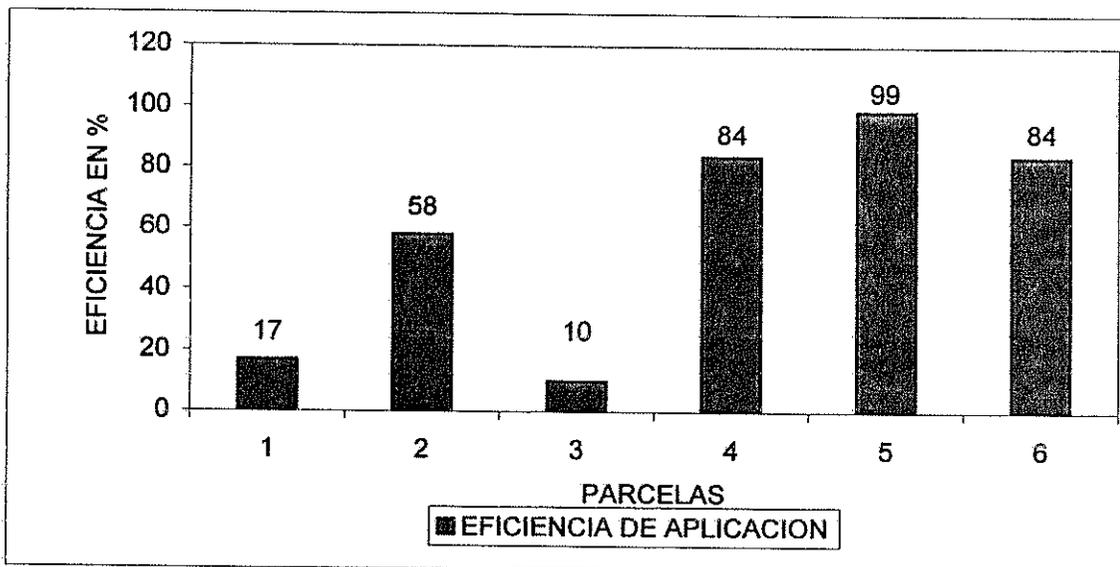


FIGURA 11 A: GRAFICA MOSTRANDO LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN POR PARCELA.

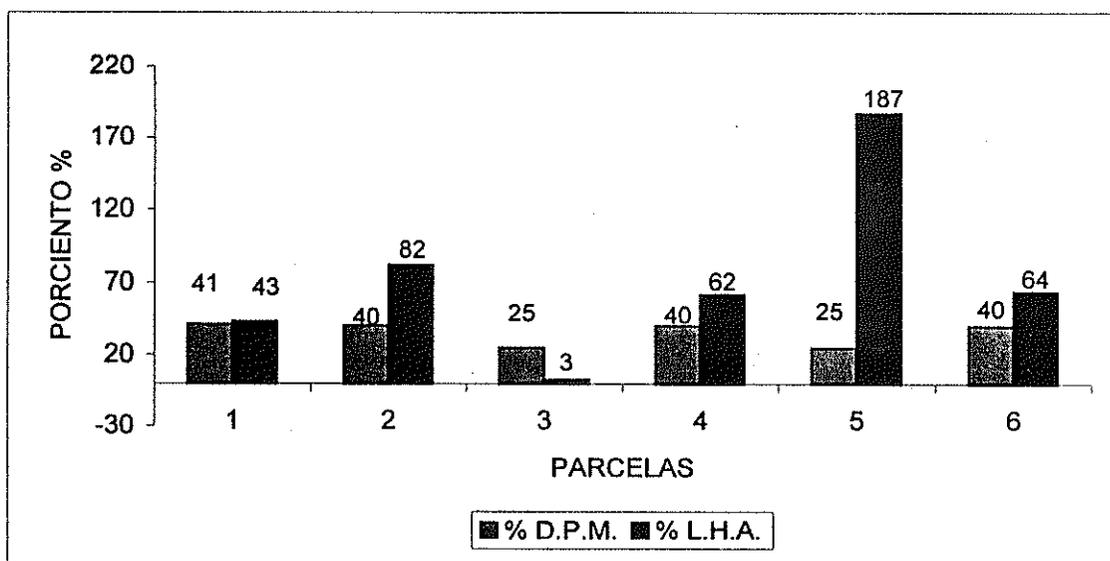


FIGURA 12 A: GRAFICA MOSTRANDO EL DEFICIT PERMITIDO DE MANEJO (DPM) Y LA LAMINA DE HUMEDAD APROVECHABLE (LHA), POR PARCELA.

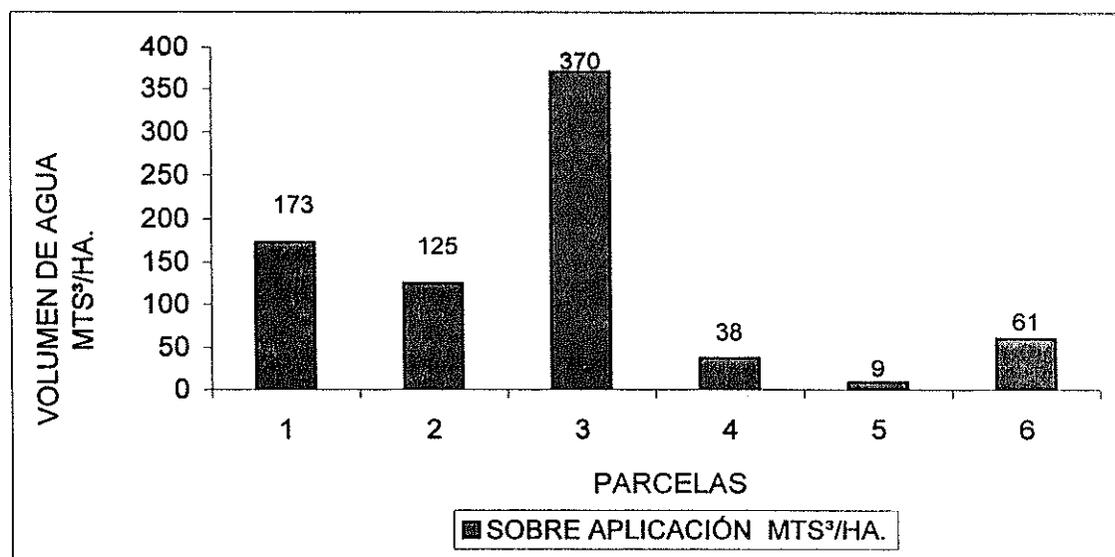


FIGURA 13 A: GRAFICA MOSTRANDO LA SOBRE APLICACIÓN DE VOLUMENES DE DE AGUA POR PARCELA.

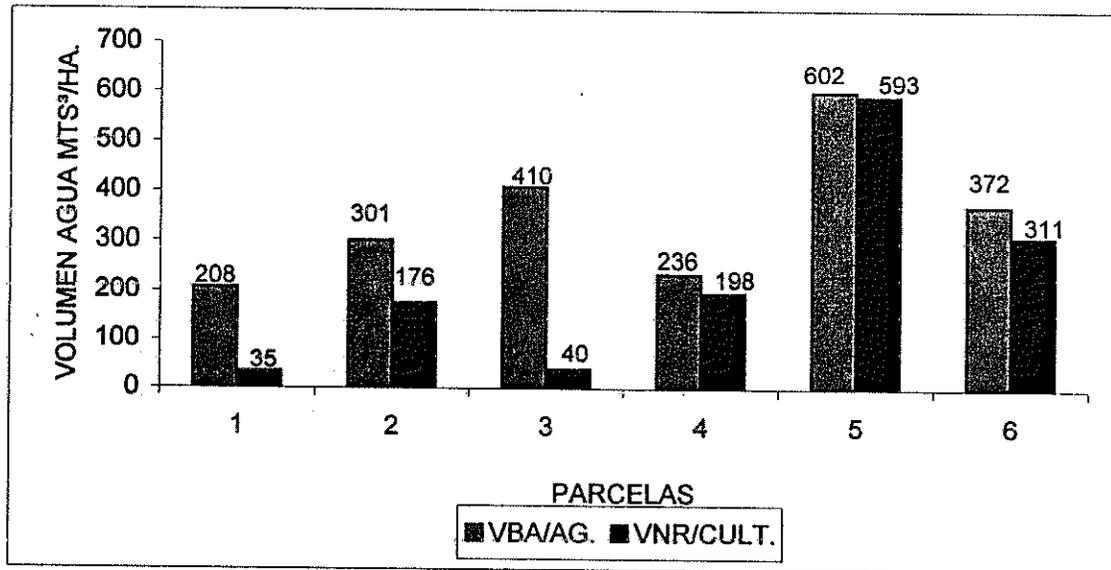


FIGURA 14 A: GRAFICA COMPARANDO EL VOLUMEN BRUTO APLICADO POR EL AGRICULTOR (VBA/AG) Y EL VOLUMEN REQUERIDO POR EL CULTIVO (VNR/CULT.), SEGÚN LA PROFUNDIDAD EFECTIVA.

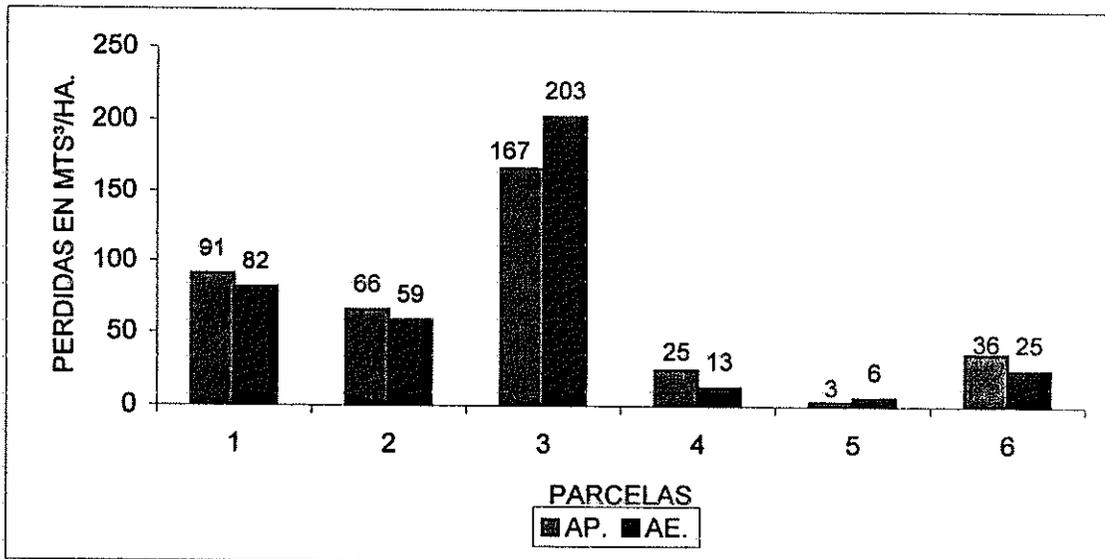


FIGURA 15 A: GRAFICA MOSTRANDO LAS PERDIDAS POR PERCOLACION PROFUNDA (AP) Y POR ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (AE), POR PARCELA.

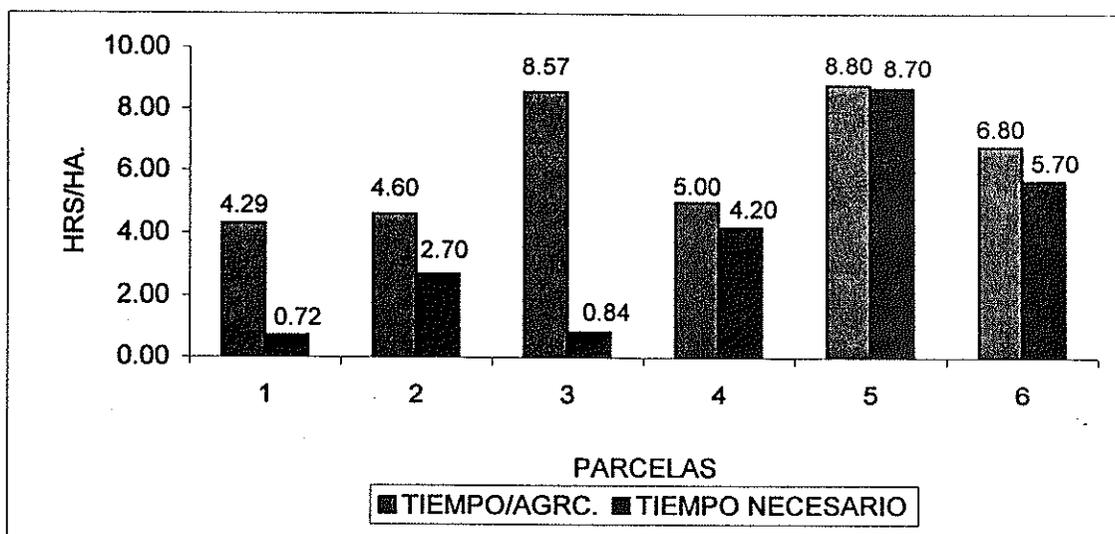


FIGURA 16 A: GRAFICA MOSTRANDO EL TIEMPO UTILIZADO POR EL AGRICULTOR Y EL TIEMPO NECESARIO PARA APLICAR LA LAMINA NETA DE REPOSICION.

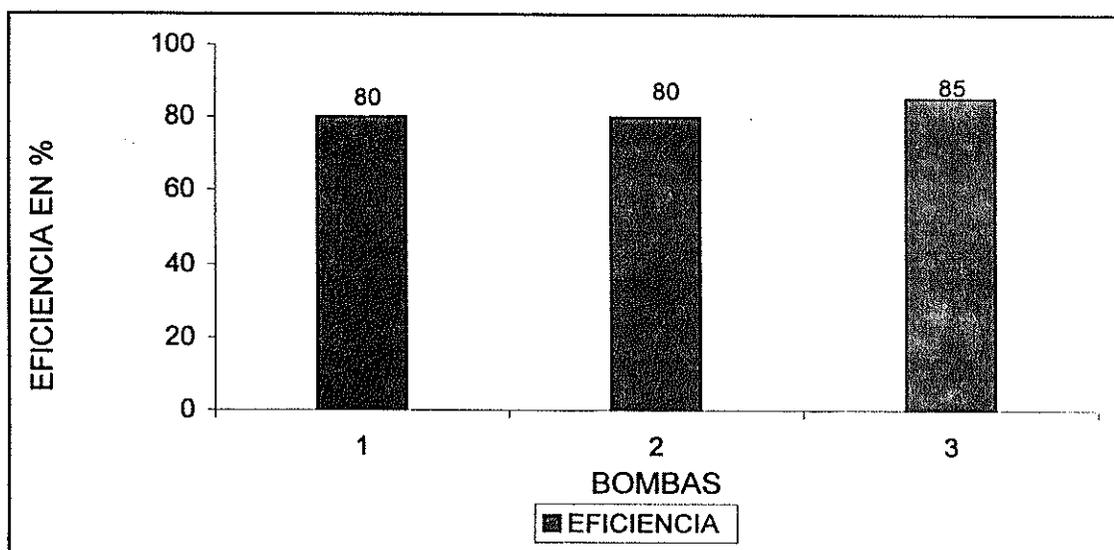


FIGURA 17 A: GRAFICA MOSTRANDO LAS EFICIENCIAS DEL EQUIPO DE BOMBEO

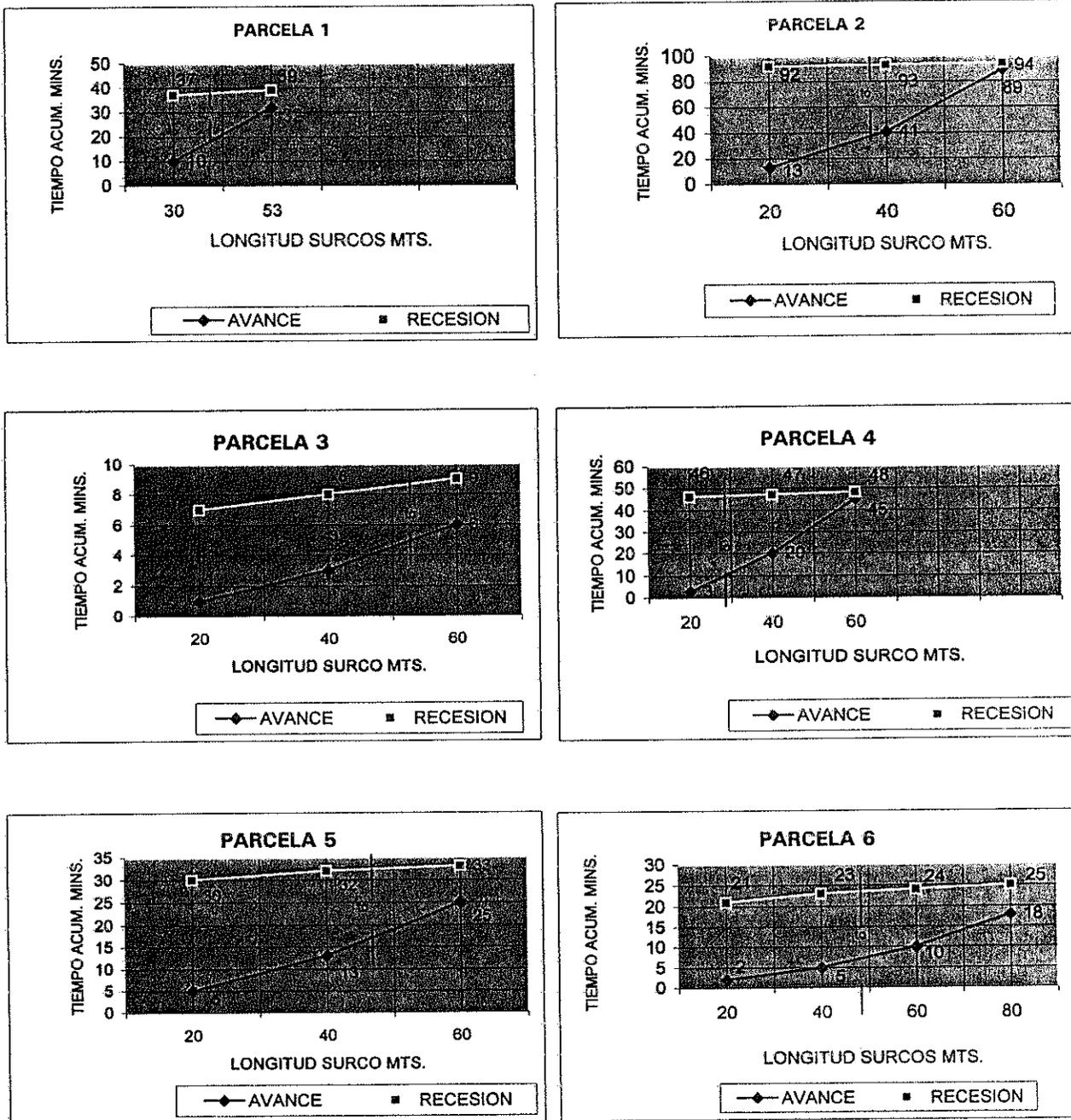


FIGURA 18 A : GRAFICA MOSTRANDO EL AVANCE Y RECESION POR PARCELA .

16"
8312
1170
RPM
2
STAGE

16"
COLUMN

16"
FABRICATED
STEEL
ELBOW

1 11/16"
LINESHAFT

2 1/2"
ENCLOSING
TUBE

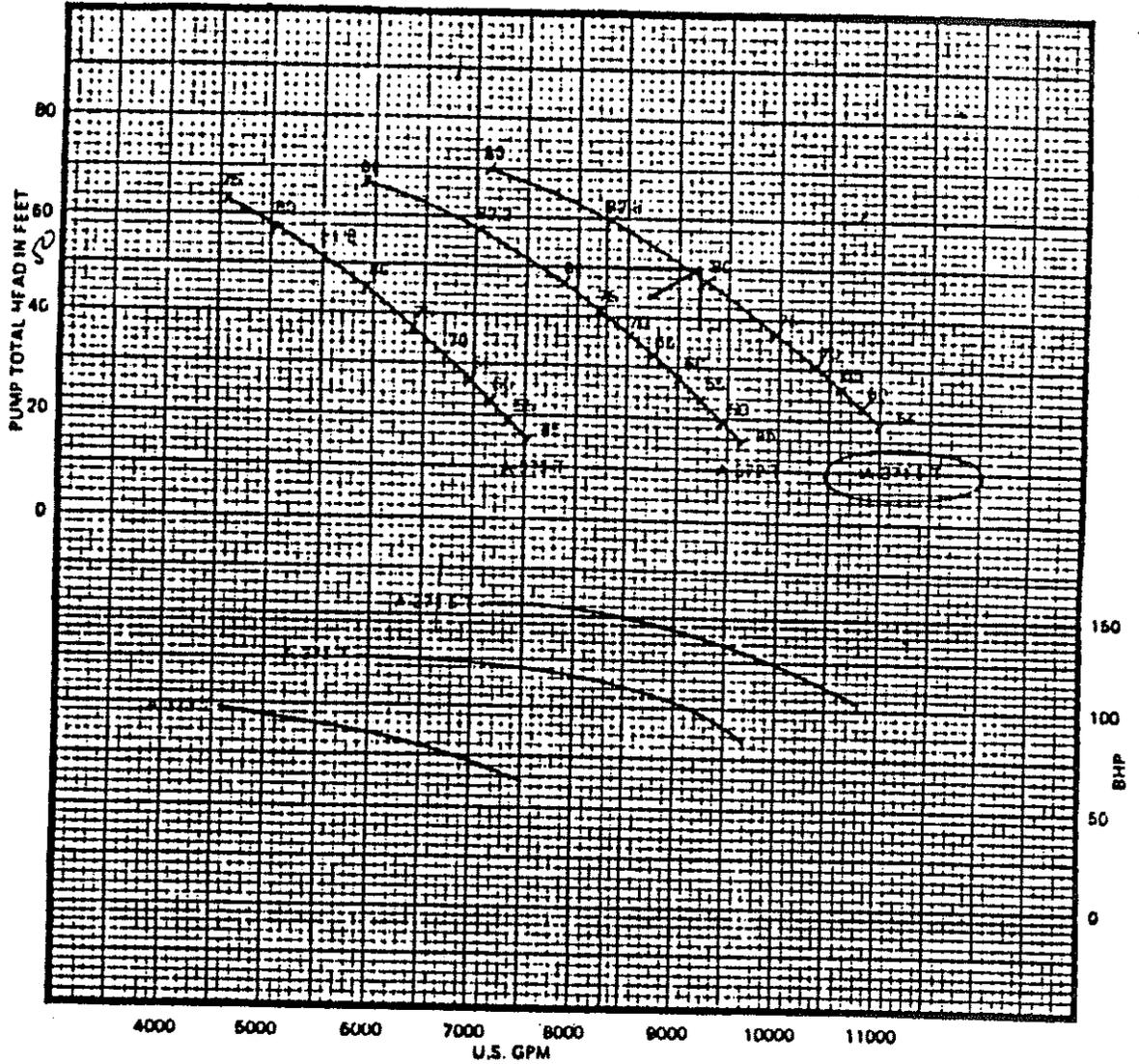


FIGURA 19A: CURVAS DE LA BOMBA DE 150 HP.

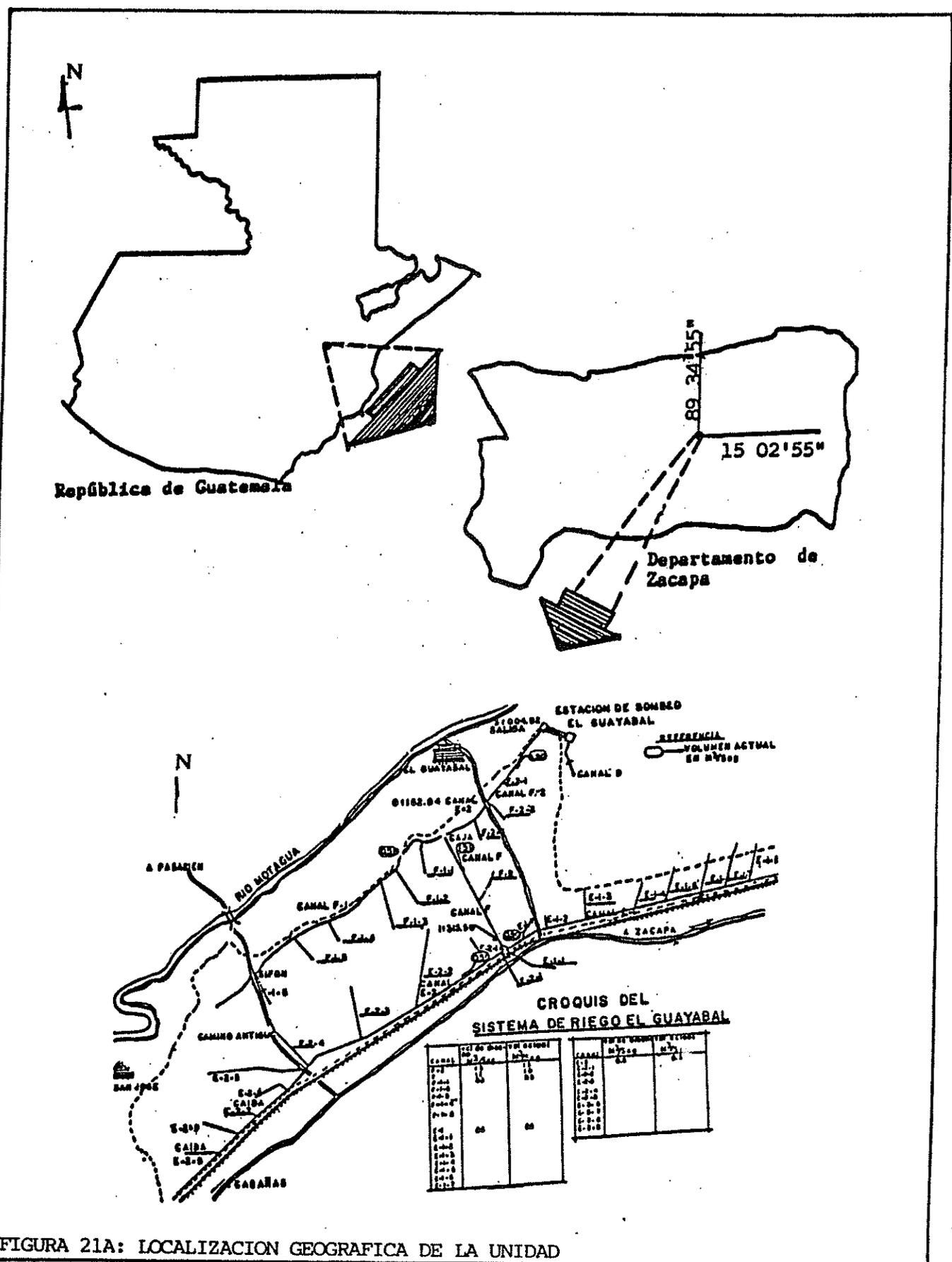
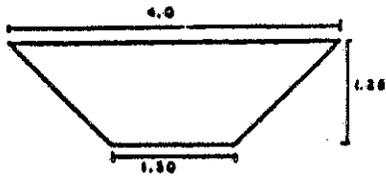


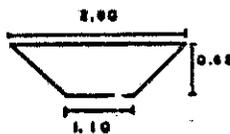
FIGURA 21A: LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA UNIDAD

CANAL DE CONDUCCION

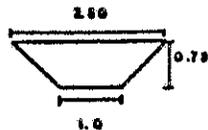


Longitud: 2974 MI.
 Q: 1500 l/seg.

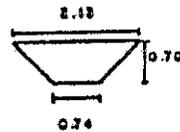
CANALES PRINCIPALES : F-1, F, E-1, E-2.



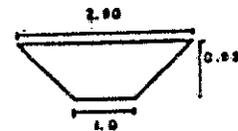
Q : 300 l/seg.



Q: 1200 l/seg.

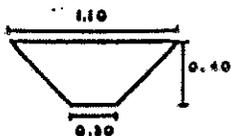


Q : 600 l/seg.

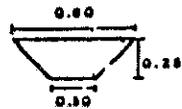


Q : 600 l/seg.

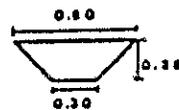
CANALES SECUNDARIOS



Longitud: 6806 MI.
 Q : 120 l/seg.



CANALES TERCARIOS.



Longitud: 332 MI.
 Q : 60 l/seg.

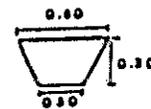
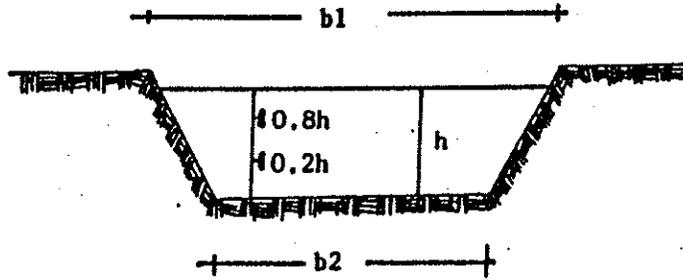
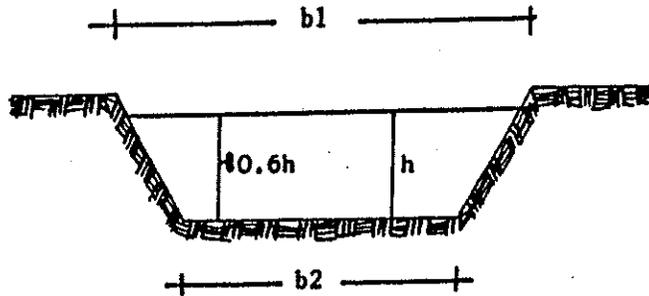


FIGURA 22A: RED HIDROMETRICA DE LA UNIDAD

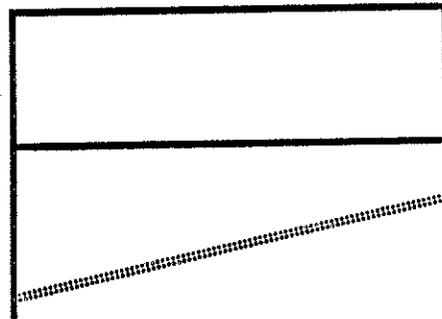


- b_1 = Ancho del espejo de agua.
 b_2 = Base del canal.
 h = Altura del tirante de agua.

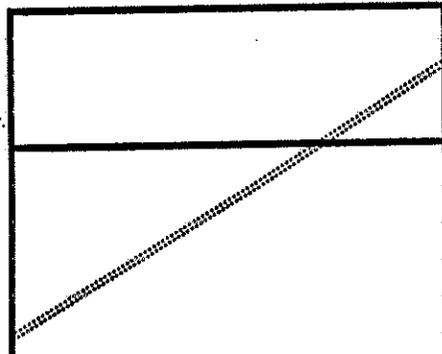
PROFUNDIDAD PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD MEDIA DEL AGUA
CON MOLINETE EN EL CANAL PRINCIPAL.



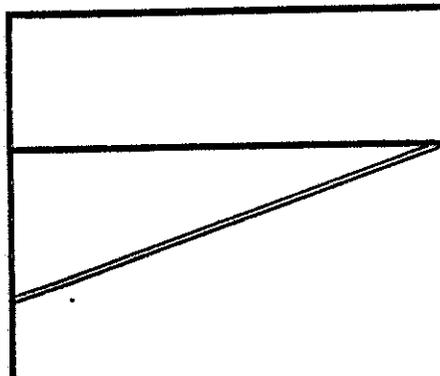
- b_1 = Ancho del espejo de agua.
 b_2 = Base del canal.
 h = Altura del tirante de agua.



Sobreaplicación



Déficit



Distribución adecuada.

FIGURA 24A: GRAFICA MOSTRANDO LA SOBREALPLICACION, EL DEFICIT Y LA MEJOR DISTRIBUCION DE LA HUMEDAD.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Ref. Sem.079-99

FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

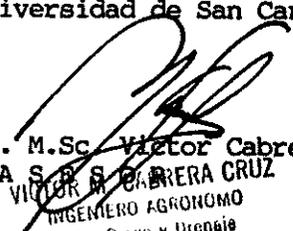
LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE RIEGO EN LA UNIDAD "EL GUAYABAL"
ESTANZUELA, ZACAPA"

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: ANGEL ARTURO SOSA FAJARDO

CARNET No: 7915488

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Gustavo A. Méndez Gómez
Ing. Agr. Eddi A. Vanegas Chacón
Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
Ing. Agr. Maxdelio Herrera de León

El Asesor 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.

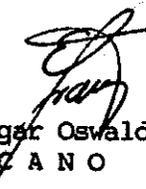

Ing. Agr. M.Sc. Victor Cabrera Cruz
A S O S CABRERA CRUZ
INGENIERO AGRONOMO
MSc. Riego y Drenaje
Colegiado: 522



ALVARO GUSTAVO HERNANDEZ DAVILA
ING. AGRONOMO
COLEGIADO # 602


Ing. Agr. M.Sc. Alvaro Hernández Dávila
DIRECTOR DEL IIA

IMPRIMASE


Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo Franco Rivera
D E C A N O



c:Control Académico
Archivo
AH/prr.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.
TEL/FAX (502) 476-9794
e-mail: llusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomfa.htm>