

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

EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION " CHACAYA "
SANTIAGO SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ.

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
POR

MARCO BAUDILIO DE LEON ALONZO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO EN
SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

GUATEMALA, ENERO DE 1,994

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



EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASERSIÓN
SANTIANO SACATEPECQUEZ, DEPARTAMENTO DE SACATEPECQUEZ, CHACAYA

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
POR

MARCO BARRILLO DE TRON ALONZO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO EN
SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

REPOSICION DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

GUATEMALA, ENERO DE 1994

DL
01
T(1403)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR
DOCTOR ALFONSO FUENTES SORIA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	ING. AGR.	EFRAIN MEDINA GUERRA
VOCAL I:	ING. AGR.	MAYNOR ESTRADA
VOCAL II:	ING. AGR.	WALDEMAR NUFIO
VOCAL III:	ING. AGR.	CARLOS R. MOTTA
VOCAL IV:	P. AGR.	MILTON ABEL SANDOVAL G.
VOCAL V:	BR.	JUAN GERARDO DE LEON
SECRETARIO:	ING. AGR.	MARCO R. ESTRADA MUY

Guatemala, enero de 1,994

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR
FACULTAD DE AGRONOMIA

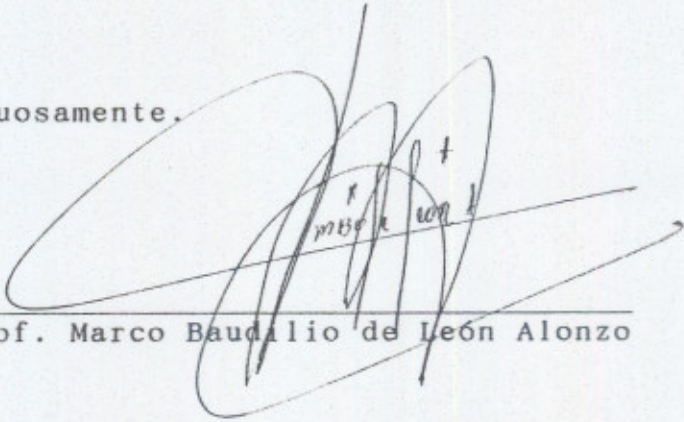
Honorables señores:

De acuerdo con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como un requisito a optar al título de INGENIERO AGRONOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA en el grado académico de licenciado, tengo el honor de someter a la consideración de ustedes el trabajo de tesis titulado:

" Evaluacion del sistema de riego por aspersión " CHACAYA ",
Santiago Sacatepéquez, del departamento de Sacatepéquez.

Esperando que el presente trabajo de investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, es grato presentarles mi agradecimiento por la atención prestada a la presente

Respetuosamente.



Prof. Marco Baudilio de León Alonzo

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS: Creador del Universo y responsable de todo lo que he conseguido en la vida
- A MIS PADRES: Marco Baudilio de León Perdomo y Margarita Alonzo de León. Como recompensa a sus esfuerzos de ayer y realidad de sus sueños para sus hijos.
- A MI ESPOSA: Miriam Elizabeth Ross. Como una muestra de amor por el esfuerzo y sacrificio que ambos hemos compartido para lograr nuestros objetivos.
- A MIS HIJOS: Carlos Diego, María José y Jorge David Armando. Razón de mi existir y dicha que me prodigan. Que el esfuerzo de sus padres sea un ejemplo para alcanzar las metas que se propongan.
- A MIS HERMANOS: Idalia Guadalupe de Méndez, Gloria Hermelinda de Juárez y Carlos Benigno. Agradeciéndoles los estímulos recibidos y esperando que cada uno se realice plenamente en su vida.
- A MIS TIOS: Con todo respeto.
- A MIS SOBRINOS Y PRIMOS: Deseando que en su vida tengan triunfos y satisfacciones.
- A MI ABUELA: Elvira Vda. de León, agradeciéndole sus sabios consejos.
- A MI SUEGRA: Martha Josefina Ross Ayala. Con mucho respeto y cariño
- A MIS CUÑADOS: Eleazar Méndez Urizar, Ricardo Juárez Arellano, Ilse Guadalupe Ross de Barrientos, Jorge Antonio Ross e Ingrid Contreras. Esperando que cada uno encuentre muchas satisfacciones en su vida.
- A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS: Con los cuales en diferentes épocas hemos compartido lindas experiencias. En especial a : Pedro Pelaez, Jorge Fernandez Donis, Nelson Guzmán, Arturo Estrada, Jorge Gómez, Hermanos Chacón Zarazua, Romeo Hernández García, Manuel Barrientos, Efrain Tecú y Rómulo Ramírez.

TESIS QUE DEDICO

- A: Guatemala
- A: Mis Centros de Estudio
- A: Mis compañeros de trabajo de la Dirección General de Servicios Agrícolas. DIGESA. Regiones II y V. Con gratos recuerdos.
- A: Mis compañeros de sistemas I y II, Finca el Refugio, especialmente a : Pedro Pelaez R., Arturo Estrada, Nelsón Guzmán, Eddy Archila, Juan Carlos Galvez, Manuel Elías, Jorge M. Gómez, Julio Vasquez, Hector Vela y Francisco Cosme. Recuerdos Gratos.
- AL: Ingeniero Agrónomo: Rolando Lara Alecio, maestro, amigo que me apoyo en la recta final de mi carrera.
- A: Mi pueblo natal " Rabinal" para que sus hijos me me superen y lo hagan mas grande.
- AL: Comité del proyecto de riego "CHACAYA", por su colaboración en la realización y finalización del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

- A: Victor Armando de León Morente y a su señora esposa Carmen Alicia Medina de de León, bastiones de apoyo en la continuación y finalización de mi carrera. Por tal razón en nombre de mi esposa e hijos les damos nuestros sinceros agradecimientos, esperando que Dios los bendiga en todo momento. Infinitas gracias.
- A: Mis asesores de tesis: Ings. Agrs. Rolando Lara Alecio y José Inocente Solórzano, por el apoyo recibido en la realización de la presente investigación.
- A: Jorge Gómez, por su colaboración en el desarrollo de la labor mecanográfica del presente trabajo.

RESUMEN

PAGINA

		1
1.	INTRODUCCION	4
2.	JUSTIFICACION	6
3.	MARCO TEORICO	7
3.1	Desarrollo Histórico del riego en Guatemala	7
3.1.1	Epoca Precolonial.	7
3.1.2	Epoca Colonial.	7
3.1.3	Epoca Post-independencia.	8
3.1.3	Epoca Contemporánea.	8
3.2	Importancia y Concepto de riego	12
3.3	El riego por aspersión	13
3.4	Componentes que integran un equipo de riego por aspersión.	14
3.4.1	Fuente de Agua.	14
3.4.2	Equipo Motobomba.	14
3.4.3	Tubería.	15
3.4.4	Aspersores.	16
3.4.5	Accesorios.	17
3.5	Ventajas y Desventajas del riego por aspersión.	17
3.5.1	Ventajas.	17
3.5.2	Desventajas.	18
3.6	Evaluación del sistema de riego.	19
3.7	Eficiencia del sistema de bombeo.	20
3.7.1	Determinación de la eficiencia del bombeo en el campo.	21
3.8	Coefficiente de uniformidad.	22
3.9	Eficiencia de Aplicación.	23
3.10	Eficiencia de Almacenamiento.	23
3.11	Eficiencia de Utilización ó Agronómica.	23
3.12	Requisitos generales para ejecutar la evaluación de un sistema de riego por aspersión.	24
3.12.1	Grado de aplicación.	24
3.12.2	Lámina Aplicada	24
3.12.3	Capacidad del sistema	25
3.12.4	Uniformidad de aplicación.	25
3.12.5	Pérdidas de agua.	25
3.12.6	Tamaño económico de la tubería.	25
4.	OBJETIVOS.	26
4.1	Objetivo General.	26
4.2	Objetivos Específicos.	26
5.	METODOLOGIA.	27
5.1	Generalidades del área de influencia de estudio	27
5.1.1	Relieve.	27
5.1.2	Suelos.	27
5.1.3	Climatología.	28
5.2	Materiales.	28
5.3	Aspectos generales del sistema de riego.	28
5.4	Historial de operación del sistema de riego.	29
5.5	Componentes del sistema de riego.	30

5.6	Evaluación del sistema.	31
5.6.1	Determinación de la evapotranspiración.	31
5.6.2	Requerimiento de riego.	31
5.6.3	Determinación física del suelo y constantes de Humedad.	33
5.5.4	Contenidos de humedad.	33
5.5.5	Velocidad de Infiltración.	34
5.5.6	Area de prueba.	35
5.5.7	Cálculo de la Lámina neta de reposición.	36
5.7	Caudal y presión de operación del aspersor	37
5.8	Medición de la lámina de cada recipiente por área de prueba.	38
5.9	Cálculo del coeficiente de uniformidad.	39
5.10	Cálculo eficiencia de almacenamiento.	39
5.11	Eficiencia de aplicación.	40
5.12	Cálculo de la eficiencia de utilización.	41
5.12	Determinación de la distribución de uniformidad.	41
5.13	Determinación de la lámina bruta de riego.	42
4.14	Determinación de la eficiencia del equipo de bombeo.	43
5.14.1	Descarga de la Bomba	43
5.14.2	Carga dinámica total de bombeo.	44
5.14.3	WHP del sistema	45
5.14.4	Potencia Eléctrica(MHP).	45
5.14.5	Eficiencia total del equipo de bombeo.	45
5.15	Análisis de la información.	46
6.	RESULTADOS.	47
6.1	Disponibilidad de agua.	47
6.2	Cálculo de la lámina de agua descargada por los aspersores.	47
6.3	Coefficiente de Uniformidad.	48
6.4	Eficiencia de Almacenamiento.	49
6.5	Eficiencia de Aplicación.	50
6.6	Uniformidad de Distribución.	51
6.7	Eficiencia de utilización del sistema.	52
6.8	Determinación de la eficiencia de operación del equipo de bombeo.	53
6.8.1	Descarga de la bomba.	53
6.8.2	Carga Dinámica total de Bombeo.	53
6.8.3	WHP del Sistema.	54
6.8.4	Potencia Eléctrica.	54
6.8.5	Eficiencia Total del Equipo de bombeo.	55
6.9	Principales problemas en la operación y mantenimiento del sistema.	55
6.10	Discusión de resultados.	56
7.	CONCLUSIONES.	61
8.	RECOMENDACIONES.	63
9.	BIBLIOGRAFIA.	65
10.	APENDICE.	67

INDICE DE CUADROS

Número		P á g i n a
1.	Determinación de la Evapotranspiración Real para Arveja China.	32
2.	Requerimiento de Riego.	33
3.	Velocidad de infiltración e infiltración Básica.	36
4.	Datos sobre el porcentaje de humedad antes del riego y lámina neta requerida para llevar a capacidad de campo (LR).	37
5.	Datos sobre el porcentaje de humedad después del riego y lámina almacenada en la zona radicular.	42
6.	Caudal y presiones de trabajo de los aspersores.	48
7.	Coefficiente de Uniformidad.	49
8.	Eficiencia de Almacenamiento.	50
9.	Eficiencia de Aplicación.	51
10.	Láminas Mínimas recolectadas en 3 horas.	52
11.	Uniformidad de Distribución.	52
12.	Eficiencias para cada parcela de prueba y eficiencia de utilización del Sistema de riego.	53
13.	Cargas dinámicas totales de las Parcelas críticas del Sistema.	54
14.	Potencia Eléctrica del Sistema (MHD).	55
15.	Características físicas y constantes de Humedad, Chacayá, Santiago Sacatepéquez.	68
16.	Contenido de Humedad existentes en el suelo antes del Riego.	69
17.	Contenidos de Humedad Existencia en el Suelo después del riego.	69
18.	Volumen Colectado en Centímetros cúbicos durante la Prueba de Evaluación Chacayá, Santiago Sacatepéquez.	70

19.	Láminas recolectadas en las Parcelas (cms) CHACAYA, Santiago Sacatepéquez.	71
20.	Coefficiente del Cultivo (Kc)	73
21.	Evapotranspiración Potencial, Chacayá.	74
22.	Datos climatológicos, Chacayá, Santiago Sacatepéquez.	75

INDICE DE FIGURAS

Número		P á g i n a
1	Ubicación de Bombas y parcelas de Prueba.	76
2	Parcelas Críticas del Sistema.	77
3	Plano General del área del riego, CHACAYA, Santiago Sacatepéquez.	78
4	Curvas características de las Bombas.	79

INDICE DE TABLAS

Número		P á g i n a
1	Radiación Extraterrestre, expresada como evaporación equivalente en mm/día.	72

1

**EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION "CHACAYA"
SANTIAGO SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ.**

**THE EVALUATION OF THE IRRIGATION SYSTEM SPRINKLER
"CHACAYA", SANTIAGO SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENT
OF SACATEPEQUEZ.**

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el municipio de Santiago Sacatepéquez, donde se localiza el sistema de riego por aspersión Chacayá. El objetivo fue determinar la problemática existente en la operación del sistema de riego, considerando las condiciones actuales de funcionamiento; con el fin de optimizar el uso del recurso agua dentro del proyecto.

En Guatemala son pocos los documentos técnicos-científicos que dan a conocer la situación en que operan los sistemas de mini-riego en el país; así como una metodología de evaluación que genere información básica, para proporcionar recomendaciones adecuadas a fin de mejorar el uso del recurso agua dentro de los sistemas mencionados.

La metodología de trabajo consistió en realizar observaciones de campo, entrevistas a los usuarios del riego, medición de las condiciones hidráulicas actuales, determinación de las características agronómicas, la determinación de la eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad, eficiencia de almacenamiento, uniformidad de distribución del agua de riego y eficiencia de operación del equipo de bombeo.

Se determinó que la lamina de aplicación en toda el área es de 3.1944 centímetros, lo que representa un 75.745% del total de la lámina neta que debería aplicarse en todas las parcelas. Esto significa que el agricultor no maneja adecuadamente la aplicación de agua en sus cultivos. La

lámina bruta aplicada actualmente es de 4.2929 centímetros.

El turno de riego es de 6 horas, con un intervalo de 8 días. Se cuenta con un riachuelo que proporciona un caudal de operación de 145 galones por minuto, cubriendo una área de 9.50 hectáreas bajo riego.

En conclusión, la eficiencia de utilización del sistema es de 0.4675 y los componentes evaluados en las 4 parcelas fueron: Eficiencia de almacenamiento 77.69993%, Eficiencia de aplicación 75.0672%, Coeficiente de Uniformidad 80.5386%. Uniformidad de distribución 73.2698% y Eficiencia de operación del equipo de bombeo 36.6901%.

Con estos resultados se determinó que existe dentro del proyecto aspectos que se consideran adecuados dentro de la operación del sistema, tal es el caso de la eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad y uniformidad de distribución; los cuales nos indican que existe una adecuada utilización del agua de riego sin mayores desperdicios; una buena distribución y uniformidad de aplicación de la misma dentro de todas las parcelas de riego.

Dentro de lo negativo que existe dentro de la operación del sistema, se encuentra lo referente a la eficiencia de almacenamiento y lo relacionado a la eficiencia de operación del equipo de bombeo.

La primera indica que el agricultor no está aplicando la cantidad de agua necesaria, según los requerimientos del suelo y los cultivos bajo riego, ya que actualmente se está aplicando una lámina neta de 3.1944 centímetros y la lámina requerida o lámina neta de reposición es de 4.2062 centímetros. La segunda es responsable de los exagerados consumos de energía eléctrica que se están dando en la operación del sistema, ya que existe un consumo de 59,1080 (MHP) de potencia y el equipo solamente utiliza 21.7046 (WHP) de la misma, para impulsar el flujo a presión por todo el sistema, esto significa que se están dando demasiadas pérdidas de potencia en dicho equipo, lo cual se refleja en su eficiencia actual (36.690%). Este equipo de bombeo no fue

correctamente seleccionado en términos de carga y eficiencia, además existe un sobredimensionamiento del mismo.

Se recomienda darle al agricultor una orientación y capacitación con respecto al uso y manejo del agua. Realizar estudios concretos que relacionen los costos-beneficios que se obtendrían al cambiar el equipo de bombeo que actualmente opera en el proyecto; realizar un rediseño del sistema con el fin de mejorar las condiciones hidráulicas del sistema; efectuar estudios posteriores sobre frecuencias de riego en los cultivos como; arveja china, ejote francés, cebollín, suchini etc; además realizar el reglamento interno que regule el uso del agua.

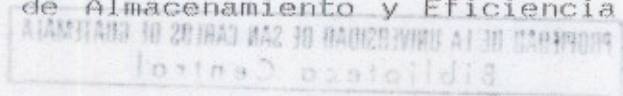
1. INTRODUCCION

Actualmente el desarrollo del país se perfila en el uso eficiente de los recursos naturales y financieros, de tal manera que sean utilizados en forma racional para que los renglones de producción tengan un carácter competitivo acorde a las exigencias del mercado. En Guatemala se encuentran distribuidos 380 proyectos por aspersión, que cubren 4,897 hectáreas, y se benefician 22,850 familias. Esto contribuye a dar mejores ingresos económicos a los pequeños y medianos agricultores a través de la producción de hortalizas para su exportación.

El sistema de riego por aspersión "CHACAYA", se encuentra ubicado en el municipio de Santiago Sacatepéquez, departamento de Sacatepéquez, con coordenadas geográficas de 14°38'24" latitud norte y 90°41'32" longitud oeste, a una distancia de 34 kilómetros de la ciudad capital por la carretera panamericana, y a 1.5 kilómetros de la cabecera municipal por camino de terracería, altura sobre el nivel del mar de 1,950 metros.

El sistema de riego en estudio presenta características adecuadas para su utilización, siendo éstas: Una fuente de agua superficial que proporciona un caudal de operación de 145 galones por minuto, se riegan 9.50 hectáreas, con topografía plana y ondulada, el sistema de aspersión es fija, 58 familias son actualmente usuarios del sistema y los cultivos que se encuentran bajo riego en el sistema son: arveja china (*Pisum sativum*), Ejote Francés (*Phaseolus* sp), remolacha (*Beta vulgaris*), Espinaca (*Spinacum* o.) puerro (*Allium porrum*) etc.

La evaluación del sistema de riego se hizo con el objetivo de conocer las condiciones actuales de operación, características agronómicas y condiciones hidráulicas del sistema, determinando la eficiencia de aplicación, Distribución de Uniformidad, Coeficiente de Uniformidad, Eficiencia de Almacenamiento y Eficiencia de operación del



equipo de bombeo.

De la investigación realizada se pudo detectar que dentro del proyecto no se están aplicando las láminas adecuadas, lo cual está provocando serios problemas en el crecimiento y rendimiento de los cultivos existentes bajo riego.

Además existen otros problemas de operación del sistema que serán descritos más adelante y con mayores detalles. Es así como en el presente estudio se plantean las recomendaciones que permitan mejorar la operación del sistema de riego, con el fin de optimizar el uso del recurso agua.

2. JUSTIFICACION

En el presente trabajo se evaluó el sistema de riego por aspersión "CHACAYA", Santiago Sacatepéquez, a 5 años de funcionamiento, conociendo los efectos a nivel parcelario y comunitario de dicho sistema.

Anteriormente este sistema de riego presentó problemas en su construcción y después se dieron en la operación, lógicamente se debió al desconocimiento de las condiciones de operación y manejo del sistema. La asistencia técnica bajo estas condiciones es escasa, y esto, no ha permitido conceptualizar la optimización del recurso agua por parte de los usuarios.

En la actualidad no existe ningún estudio que permita dar a conocer la situación del sistema y por consiguiente, la evaluación consistió en conocer la eficiencia actual del mismo, descubrir la problemática del usuario dentro del manejo del agua a las parcelas y el manejo de los cultivos bajo riego, con esto se permitirá visualizar los efectos técnicos, agronómicos y económicos que se dan dentro del mismo proporcionando elementos básicos que permitan emprender nuevos estudios técnicos complementarios que contribuyan a resolver la problemática del sistema de riego en referencia.

3. MARCO TEORICO

3.1 Desarrollo histórico del riego en Guatemala.

3.1.1 Epoca Pre-Colonial:

Los grupos indígenas de América tenían nociones acerca del riego. En Guatemala la aplicaron en Rabinal y Cubulco en el departamento de Baja Verapaz.

3.1.2 Epoca Colonial:

El riego en el Valle de San Jerónimo, en el Departamento de Baja Verapaz, fue la primera obra realizada en esta época por los padres Dominicos, al establecerse en este lugar, habiendo llegado a regar 44 manzanas españolas (31 Ha). El primer cultivo fue la vid y posteriormente la caña de azúcar.

El Valle de Palencia en el departamento de Guatemala, también fue irrigado en esta época por la orden dominica; fueron regadas un total de 6 caballerías (271 Ha). Inicialmente se cultivaba caña de azúcar, luego se cambió este cultivo por hortalizas, frutales y otros.

En el departamento de Jalapa, en la región de Jutiapilla, fueron regadas 30 caballerías (1,354 Ha)

En el Valle de Santa Rosa fueron irrigadas dos zonas pobladas por indígenas: lo de arredondo (hoy cerro redondo) y las viñas.

La zona de los Amates, Izabal, fue irrigada por una orden religiosa; más tarde, probablemente durante la reforma liberal de 1,871, ésta fue otorgada a particulares.

3.1.3 Epoca post-independencia:

Los lugares denominados Toco y (hoy Morazán), Tulumaje, San Agustín Acasaguastlán, Guijó, Usumatlán, Teculután y el Valle norte del río Motagua hasta la población de Río Hondo, correspondientes a los departamentos de El Progreso y Zacapa, fueron regados. Las obras fueron realizadas por iniciativa de los agricultores, estimándose en 40 caballerías (1,808 Ha) el área cubierta por varios sistemas de tomas o canales con obras de captación en zonas más altas a las irrigadas.

En el Valle de Chiquimula, en un área de 2 caballerías (90 Ha) y en la región de San José del Sitio, en el departamento de Jutiapa 400 manzanas (275.2 Ha) también existió riego.

En el año de 1,885 el señor Juan Constanza intentó el aprovechamiento de las aguas del río Motagua en la región de El Rancho, hizo construir una presa de temporal a la altura del paso de Palo Amontonado. En el año de 1,892, al construirse el ferrocarril del Norte, se destruyeron las tomas; en 1,930 los vecinos de la aldea Lo de China, reconstruyeron parte de los trabajos, con lo cual lograron regar 7 Caballerías (316.00 Ha)

3.1.4 Epoca Contemporánea :

De 1,930 a la fecha, la iniciativa privada ha llevado a cabo diversos aprovechamientos de irrigación en diferentes zonas de la república, pudiéndose mencionar las siguientes:

1. En la Costa del Pacífico, las compañías bananeras: Compañía Agrícola de Guatemala y Standard Fruit Company, hasta 1,952 cubrían un área de 10,000 Ha y 6,000 Ha, respectivamente.
2. Grandes y pequeños agricultores de la Costa del Pacífico han realizado pequeños sistemas de irrigación en diferentes zonas, cubriendo unas 6,000 Ha. aproximadamente.
3. En la zona del Altiplano se han regado parcialmente los

grandes valles, así como las vegas de los principales ríos de esa región. El área cubierta por estos trabajos es de 4,500 Ha. aproximadamente.

4. En la Costa Atlántica, la United Fruit Company efectuó hasta 1,952, diferentes aprovechamientos cubriendo un total de 5,000 Ha.

El desarrollo del riego estatal dio comienzo a partir del año de 1,957, como actividad del Ministerio de Agricultura, con la creación del Departamento de Recursos Hidráulicos. El fin inmediato que se le asignó a esta dependencia, fue el de efectuar estudios, programar y llevar a cabo el desarrollo económico de las regiones central y Oriental del País, por medio de la irrigación. Se construyeron el proyecto de riego piloto de Asunción Mita (800 Ha), Palo Amontonado, Los Ocotes, San Jerónimo, Lo de Ramírez, se inició la Fragua, La Laguna del Hoyo y se drenó la Laguna de Retana.

Entre 1,964 y 1,970 se concluyeron 8 sistemas de riego; de 1,970 a 1,975 se ejecutaron 16 proyectos de riego, de los cuales 12 fueron financiados en un 60% de su costo, con fondos de préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo.

De 1,976 a 1,980 se concluyeron 3 proyectos y de 1,981 a la fecha solo se han construido 3 nuevos sistemas pequeños (Sacapulas, Chuxic y Santa Catarina Mita), y se amplió el sistema de riego de Uzumatlán.

Después de casi 10 años de escasa actividad del estado en la construcción de Sistemas de riego recién se está realizando la licitación para la construcción de 3 proyectos con financiamiento del BID y el Gobierno de Guatemala (Cuyuta, Alto Mongoy y Ticanlu, este último pendiente de ser aprobado por el Banco).

A partir de 1,979 se inició el programa de mini-riego, especialmente en la región del Altiplano Central y Occidental del país. El financiamiento para la adquisición de equipos, accesorios y materiales proviene de fondos de la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID), que el Banco Nacional

de Desarrollo Agrícola (BANDESA) tiene en fideicomiso; la mano de obra es proporcionada por los interesados a beneficiarios y la asistencia técnica aportada por la Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA), quien se encarga también de hacer los estudios para cada proyecto. La operación y mantenimiento de los sistemas de mini-riego están a cargo de los propios usuarios.

Según datos proporcionados por la misma institución, DIGESA ha ejecutado desde 1,979 hasta finales de 1,989, 307 proyectos de mini-riego, cubriendo el área de 2,490 Has; el 75% de los mismos fue financiado con fondos provenientes de AID. Los demás fueron construidos con fondos propios de los agricultores y otros donadores tales como COGAAT, UNICEF, BID, CANADA, PLAN FOSTER, etc.

Un proyecto de mini-riego consiste en la captación de un manantial, con sistema de conducción de tubos PVC, terminales con chorros, en las cuales se conecta una manguera con aspersores que sirve a una o más parcelas, según las áreas de las mismas.

Estos sistemas tienen una alta eficiencia de riego; hay muy pocas pérdidas por conducción y la eficiencia de aplicación con aspersión es relativamente alta.

Un beneficio adicional de los proyectos de mini-riego es su utilidad múltiple, ya que por las características de las captaciones de fuentes de agua de buena calidad y conductos cerrados, los sistemas también sirven para agua potable de la población.

En los proyectos de mini-riego, al contrario de los proyectos estatales de pequeña y mediana escala, tratados anteriormente, la participación de los beneficiarios es muy importante. DIGESA solamente proporciona la asistencia técnica, que consiste en la preparación del expediente técnico del proyecto, la supervisión de la ejecución del proyecto y un seguimiento posterior, que incluye asistencia técnica para la diversificación de la producción agrícola. Los beneficiarios

mediante un préstamo de BANDESA (fondos de AID), compran los materiales de construcción y proporcionan toda la mano de obra no calificada para la ejecución de la obra. El crédito se paga en 20 años con un interés anual del 10% y un período de gracia de un año.

La gran ventaja de la participación de los beneficiarios en la construcción de la obra, es la enseñanza que reciben trabajando con el personal asignado por DIGESA. Ellos mismos pueden mantener y reparar las instalaciones posterior a la construcción del proyecto.

Con excepción de los departamentos de Petén e Izabal, se encuentran proyectos de mini-riego en todos los departamentos. Aunque el área total regada por los proyectos de miniriego es relativamente pequeña, por su presencia en gran parte del territorio nacional y por el tipo de usuarios que atiende, ha sido importante en el desarrollo del riego en el País.

Los miniriegos han contado con una buena aceptación por parte de los beneficiarios demostrada por el bajo porcentaje de mora en el pago del préstamo, que claramente satisface una necesidad sentida por los pequeños agricultores del altiplano.

Una primera evaluación realizada con los auspicios de AID en 1,987, dio resultados muy positivos sobre el programa y el análisis económico de 24 proyectos ejecutados llegó a los siguientes resultados, distinguiendo entre costos para el beneficiario (materiales) y costos totales, los cuales incluyen la asistencia de DIGESA y el trabajo de los beneficiarios.

Tasa interna de retorno (vida útil de 20 años)	
- TIR promedio a base de los costos % para el beneficiario.	41
- TIR promedio a base de los costos %	28

Este estudio reveló que, en los sistemas que ya tenían más de 5 años de funcionamiento, los usuarios no habían encontrado mayores problemas en mantener su sistema. Solamente en los pocos proyectos que dependen de bombeo hubo

problemas serios.

Otra evaluación ex-post hecha con base a encuestas ejecutadas en 1,983 y 1,988, igualmente concluyó en términos positivos sobre los programas de miniriego; aunque los usuarios entrevistados también manifestaron ciertos problemas:

- 12% de los beneficiarios no utilizaron el agua para regar sus cultivos.
- 36% manifestó que la cantidad de agua no les era suficiente para sus cultivos y daban como causas problemas de diseño, de cantidad de agua y de operación.
- 43% de los usuarios entrevistados manifestaron que no recibieron asistencia técnica por parte de DIGESA para la operación de sus sistemas de riego.

Ultimamente, DIGESA, con financiamiento proveniente de AID, ha iniciado un programa de perforación de pozos para fines de miniriego. La meta es 150 proyectos de ese tipo con un área de influencia de 3,000 Ha. El rendimiento de los pozos perforados hasta ahora ha sido generalmente muy bueno. Los caudales por pozo fluctúan entre 200 y 900 GPM. Unos 5 proyectos ya están en operación. Debido al alto costo de energía para el bombeo a grandes profundidades (100 m promedio) en el altiplano, donde el programa trabaja y los altos costos en mantenimiento y reparación del equipo de bombeo, se considera que va a ser difícil llegar a resultados positivos en este tipo de proyectos; la situación se ve agravada por el bajo nivel técnico y económico de los usuarios. (18)

3.2 Importancia y Concepto de 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, y además, tener un excedente para exportar a otros países y servir de base a un desarrollo industrial. Los programas nacionales de desarrollo en la actualidad, deben considerar la

incorporación dentro del sector agrícola, nuevas áreas de cultivo e intensificar el uso de aquellas tierras que han dependido del régimen de lluvias. La utilización adecuada del recurso agua con fines de riego tiene impacto significativo en la economía del país.

El riego, se ha desarrollado más intensamente en las regiones áridas del mundo, en las cuales la precipitación pluvial es tan escasa que ningún cultivo puede producirse si no tiene 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 requiere, y no como sucede en la agricultura temporal, en la cual la lluvia puede ser excesiva en unos casos o escasa en otros. La agricultura bajo riego permite hacer uso de otras técnicas como fertiirrigación, 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. (7)

3.3 El riego por Aspersión

Es un método de riego en el cual se conduce el agua a presión, hasta el terreno donde se aplica semejando lluvia, esto se logra mediante el empleo de aspersores que tienen la función de romper el chorro en pequeñas gotas, para que de esta forma se aplique a la superficie del suelo de un modo uniforme y con una intensidad menor a la que se infiltra en dicho suelo. Se trata de un sistema de riego mecanizado, que asegura un preciso control de la lámina de agua aplicada, y se ajusta a las condiciones edafoclimáticas y de cultivos, y además permite una adecuada tecnificación de la práctica de riego. (2)

En los países latinoamericanos la difusión del riego por aspersión ha sido limitada con respecto al agua regada por superficie. Para Guatemala, la infraestructura de riego,

especialmente en áreas de minifundios y zonas de desarrollo agrario, ha sido para modernizar la agricultura y potencializar el uso de la tierra, y mantener una diversificación de cultivos de alto valor; como hortalizas y frutos que tienden a generar divisas al país a través de sus exportaciones e industrializaciones. (17).

Según Israelsen y Hansen, el riego por aspersión es una simulación artificial de la lluvia llevada a cabo forzando el agua bajo presión a través de diversos tipos de aspersores. Los aspersores se clasifican de acuerdo con su tamaño y forma. Los sistemas de aspersión pueden ser estacionarios, parcialmente móviles y totalmente móviles, de acuerdo a estos sistemas pueden cultivarse varias siembras empleando desde dispositivos diminutos de aspersión bajo los árboles de los huertos hasta unidades gigantes de pivotes por el centro. Todo sistema de aspersión debe tener una fuente de agua a presión, tubería principal, laterales de distribución y aspersores. (13)

3.4 Componentes que integran un equipo de riego por aspersión:

Un equipo de riego por aspersión está integrado por: Equipo Motobomba, tuberías, aspersores, fuente de agua y los accesorios. (8)

3.4.1 Fuente de Agua:

Las fuentes de agua pueden ser: Un nacimiento, un pozo, un río, lago etc. El agua puede conducirse desde la fuente por gravedad, pero algunas veces es necesarios utilizar bombeo.

3.4.2 Equipo Motobomba"

La necesidad de agua ha agudizado siempre el ingenio humano. Para satisfacerla se hace necesarios elevar el agua desde lagos, pozos y ríos.

Resulta por lo tanto muy natural que las bombas sean algunas de las máquinas más antiguas conocidas por el hombre. Los antiguos hombres se ingeniaron tales equipos en la forma de cubos, cucharones y sencillos malacates. De aquí nacieron máquinas más evolucionadas movilizadas a mano para transportar líquidos de toda clase, elevarlos desde grandes profundidades hasta grandes alturas y obligarlos a desplazarse por dentro de tuberías a través de distancias virtualmente elevadas. (8a)

El equipo motobomba tiene por fin aspirar el agua desde la fuente de provisión y la impulsará a través del sistema. Dado que para el funcionamiento de los aspersores requiere carga, la bomba crea la presión necesaria para ello, así como también para recompensar las pérdidas de energía en las tuberías. Se emplean para riego por aspersión, bombas centrífugas de eje horizontal y bombas turbinas. El motor puede ser eléctrico y a combustión interna; conjuntamente con la bomba el motor integra el equipo motobomba que puede ser fijo o móvil. (9)

Los motores eléctricos son diseñados para producir desde una fracción de HP hasta miles de caballos de fuerza. Los motores pequeños generalmente son de una sola fase. Motores con potencia superior a los 4 Hp normalmente son de tres fases. El costo inicial de los motores eléctricos por lo general es más bajo con respecto a los otros motores; los costos de operación y mantenimiento son bajos y tienen además una vida útil larga.

Debido al costo creciente de la energía eléctrica y a la necesidad de aumentar la producción de alimentos en las pequeñas explotaciones agrícolas se hace necesario buscar otra fuente alterna de energía y la solar podría ser mejorada y utilizada en muchas áreas. (8)

3.4.3 Tubería:

Casi toda la tubería superficial del sistema de riego por aspersión es de aluminio y polietileno. Los tubos de aluminio

son definidos por su diámetro externo, en unidades de pulgadas. Las ventajas del aluminio son: peso escaso, resistencia relativamente alta, comodidad para el traslado y almacenamiento, además de su larga duración. Los tubos de polietileno poseen diámetros definidos en milímetros, de acuerdo al diámetro interno. En la agricultura se usan de 18, 23, 83 mm. etc. el espesor de la pared varía y se define por clases las cuales expresan la presión de trabajo en atmósferas. (13)

En general, las tuberías de un sistema de riego por aspersión, la integran conductos circulares que conducen el agua desde la bomba a los aspersores. Dichas tuberías pueden ser todas fijas, en cuyo caso, el equipo es fijo y van enterradas, pueden ser semifijas, equipo semi fijo, equipo móvil con toda la tubería trasportable. Las tuberías fijas son comúnmente metálicas, de asbesto cemento o de concreto reforzado con una junta especial. Las metálicas se caracterizan por su reducido peso a fin de que puedan trasladarse con facilidad y con el mínimo esfuerzo; y se integran por tramos de 6, 9 y 12 metros de largo y con diámetros variables entre 2" y 8". (17)

3.4.4 Aspersores:

El aspersor dispersa o distribuye el agua sobre la superficie a través de una o varias boquillas por efecto de la presión del agua. Existe un espectro muy amplio de medidas de aspersores, la cual comprende descargas, alcances, tamaño de las gotas, ángulo de lanzamiento del chorro de agua y otros. (13)

Los aspersores son de tipo estacionario y tipo rotativo. La mayor parte de los aspersores existentes en la actualidad en el comercio para uso de la agricultura son giratorios. El giro puede ser total o puede ser regulable para cubrir un sector circular y los aspersores, pueden así mismo tener una

o dos boquillas.

El manual de Ames citado por Cabrera Cruz, clasifica los aspersores así:

- a. Aspersores de baja presión, entre 1 y 2 atmósferas, especialmente para colocarlos en árboles frutales.
- b. Aspersores de presión intermedia, entre 2 y 4 atmósfera, se adaptan a todo tipo de suelo y cultivos.
- c. Aspersores de alta presión, entre 4 y 7 atmósferas, adaptados a cultivos de elevado tamaño.

La velocidad de rotación del aspersor, debe ser uniforme para una mejor distribución del agua. La velocidad de rotación también dependerá del mecanismo de construcción, diámetros de boquilla y la presión. Los espaciamientos entre laterales y aspersores se fijan de acuerdo al tipo de aspersor, sus boquillas, condiciones de viento, nivel de presión y ángulo de chorro. Es preferible llegar a una máxima distancia entre laterales para reducir costos de materiales y mano de obra; por lo tanto se requiere un mínimo de 84% de uniformidad de distribución, para una velocidad del viento de 1.5 a 5 Km/hrs. El espaciamiento entre laterales será superpuesto a 60% del diámetro de alcance, bajo condiciones de viento leve y a velocidades mayores de 5 Kms., el espaciamiento será del 40%. (1,3)

3.4.5 Accesorios:

Un equipo de riego por aspersión, está así mismo integrado por una gran cantidad de elementos adicionales que constituyen los accesorios. Ya sea accesorios de aspiración de agua, tales como la tubería con acoplamiento rápido que toma el agua de la fuente por efecto de la motobomba. Accesorios de impulsión de agua, tales como llaves de paso, de conducción de agua instaladas en el lateral, tales como: curvas, Unión T. reductores, control y reguladores de presión, etc.

3.5 Ventajas y desventajas del riego por aspersión: (8,13)

3.5.1 Ventajas:

- Es adaptable a todo tipo de medidas y topografías del terreno.
- Existe un amplio espectro de tasa de aspersión (precipitación) a la cual es posible modificar adaptándola a la capacidad de infiltración del suelo.
- Reduce los costos de nivelación de tierras, así como su preparación para la siembra del cultivo.
- Alta eficiencia de riego como consecuencia de la distribución uniforme del agua.
- Prevención de la escorrentía y consecuentemente la erosión.
- Medición de las cantidades de agua en forma cómoda y exacta.
- Se evita la formación de costras y grietas al secarse el suelo, cuando este es de textura arcillosa.
- Puede regarse el suelo de textura gruesa a finas, también aquellos que tienen muy baja capacidad de retención de agua.
- Se reduce la mano de obra.
- En los sistemas fijos hay un completo dominio del sistema con poco trabajo.;
- Es posible aplicar pequeños volúmenes de riego (por ejemplo para la germinación)
- Influencia sobre el micro-clima; se utiliza en la defensa contra heladas o en días soleados.
- Se puede combinar eficientemente con sistemas de control automático de distintos niveles de automatización.
- La posibilidad de aplicar fertilizantes por intermedio del equipo de riego.

3.5.2 Desventajas:

- Para el funcionamiento del sistema es necesaria la

- presión, lo cual significa inversión de energía;
- El sistema debe ser debidamente diseñado para una aplicación uniforme de lámina de agua.
 - Alto costo de las tuberías de conducción y distribución del agua.
 - El riego bajo condiciones de vientos fuertes, provoca una mala distribución del agua y el arrastre de las gotas de agua hacia el exterior del terreno regado.
 - Pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del terreno durante el riego.
 - En muchos casos el traslado o cambio de sitio de tuberías portátiles después de un riego pueden significar problemas al usuario y para los accesorios.
 - La aspersion por encima del follaje puede aumentar los daños causados por enfermedades de las plantas y el lavado de los materiales fumigados. Cuando es utilizada agua de baja calidad se puede provocar el quemado y la caída de las hojas.
 - Derroche de agua en los bordes, en especial en terrenos pequeños o irregulares.
 - El equipo de aspersion, el estado del riego, y la forma de humedecimiento en algunos casos pueden molestar en la realización de otros tratamientos agrotécnicos como: Cosechas, Fumigaciones, laboreo del suelo y otros.
 - La aspersion con intensidad y energía no aptas al tipo de suelo provoca la formación de escurrimiento superficial.

3.6 Evaluación del sistema de riego:

Colaco (3) menciona que, un sistema de riego puede ser sujeto a evaluación a través de la eficiencia de conducción y de aplicación. Hurd, dice 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 por otro lado indica como maneja el agricultor el agua, también por comparación entre las eficiencias obtenidas en varios ciclos agrícolas se puede saber si han mejorado o no los métodos de riego y si se han aplicado las láminas adecuadas: Merriam y Keller (12) establecen que el manejo correcto del agua en las granjas, puede conservar el agua y suelo y libertad también para incrementar el rendimiento de los cultivos. La evaluación de un sistema debe medir y mostrar la efectividad de las prácticas de irrigación existentes.

3.7 Eficiencia del Sistema de Bombeo:

El costo de la energía (combustible, electricidad) constituye el mayor costo de operación del riego por bombeo. Cuando 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 los BHP. Por lo tanto un motor eléctrico puede consumir 100 Hp de fuerza y solamente producir 90 BHP, 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% mínimo. 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 va a ser instalada deberá ser sometida a una prueba de eficiencia para determinar si la bomba va a trabajar bajo las condiciones del diseño.

Si las eficiencias de operación, considerando en este caso la eficiencia del sistema de bombeo o la eficiencia de aplicación del riego están muy alejadas de los valores de diseño, el consumo de energía será muy alto o las pérdidas en producción serán apreciables. (8)

3.7.1 Determinación de la Eficiencia del Sistema de Bombeo en el campo.

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

- Determinar la descarga de la bomba usando: vertederos, canaletas de aforo, orificios de canales, medidores de flujo, manómetros de agua-aire.
- Determinar la carga total de bombeo, incluyendo:
 - a. Diferencia de elevación entre la bomba y el nivel del agua de la fuente y entre la bomba y la descarga o la presión de operación requerida a la salida de la bomba;
 - b. Carga de presión.
 - c. Pérdidas por fricción en la succión y en la línea de descarga.
 - d. Carga de velocidad, cuando la velocidad es muy alta.
- Determinar el consumo de energía del sistema de bombeo, convirtiendo el consumo de la energía eléctrica a Hp.
- Calcular los WHP del sistema.
- Determinar la eficiencia de bombeo usando los resultados de los dos últimos pasos, así:

$$EFF = \frac{WHP}{\text{Consumo de energía}} \times 100 = \frac{WHP}{MHP} \times 100$$

Donde: EFF= Eficiencia de bombeo

WHP= Energía que suministra la bomba al agua (HP)

MHP= Potencia eléctrica (HP)

Casi siempre es más económico reparar o reemplazar un

sistema de bombeo cuando los costos del mejoramiento son mayores a 4 o 5 veces del costo de energía ahorrada anualmente. (8)

3.8 Coeficiente de Uniformidad:

Christiansen citado por Grassi (7) propuso parámetros de evaluación de riego, y en este caso, el coeficiente de uniformidad (CU), con el intento de hacer comparaciones de patrones de aspersión, para determinar como diferentes espaciamientos afectan la distribución del agua.

El coeficiente de uniformidad puede ser conceptualizado como un término de eficiencia, representando una media volumétrica de la distribución. Fue definido por Christiansen en la siguiente ecuación:

$$CU = 1 - \frac{\sum |x - \bar{x}|}{n \bar{x}} \times 100$$

Donde: Cu = Coeficiente de Uniformidad

$\sum |x - \bar{x}|$ = Suma de las desviaciones en valores absolutos.

\bar{x} = Promedio de láminas

n = Número de observaciones.

Sandoval, I. Indica que un coeficiente de uniformidad debe ser mayor de 0.8 para considerarlo adecuado en riego por aspersión. En este método de riego el grado de uniformidad en la aplicación del agua durante el riego, dependerá esencialmente del espaciamiento entre aspersores y laterales y la presión de los aspersores, siendo grandemente afectados por el viento.

3.9 Eficiencia de Aplicación:

La eficiencia de aplicación, EAP, es la relación que existe entre el agua almacenada en la zona de raíces (Aa) y el agua recibida en la tomagranja (Atg).

$$EAP = \frac{Aa}{Atg} \times 100$$

Donde: EAP= Eficiencia de aplicación (%)

Aa = Agua almacenada en la zona radicular (mm o cms)

Atg= Agua recibida en la toma granja (mm o cms)

La conceptualización mas usada de la eficiencia de aplicación, es que ésta representa la habilidad del agricultor para regar su tierra de manera precisa y sin desperdicios, se puede tener una eficiencia de aplicación para diseño de un 65 % a 75 %. (10).

Existen otros factores que influyen en la eficiencia de aplicación.

- Pérdidas por evaporación cuando el aspersor está rociando.
- Pérdidas por percolación profunda abajo de la zona radical.
- Evaporación de la superficie del suelo durante el riego.

3.10 Eficiencia de almacenamiento:

La eficiencia de almacenamiento, EAL, se define como la relación entre el agua almacenada en la zona principal de raíces como efecto del riego y el agua necesaria para llevar esa zona hasta la capacidad de campo, se representa en la fórmula de la siguiente manera:

$$EAL = \frac{Aa}{An} \times 100$$

Donde: EAL= Eficiencia de Almacenamiento

Aa = Agua almacenada en la zona principal de raíces (mm o cms.)

3.11. Eficiencia de Utilización ó Agronómica:

Gurovich, citado por Sandoval define una eficiencia que denomina de utilización o agronómica y que es la que resulta de la interacción de las eficiencias de aplicación,

almacenamiento y distribución.

$$EU = EAP \times Eal \times Ed$$

donde: EU = Eficiencia de utilización ó
Agronómica.(fracción decimal)

EAP,Eal, Ed = Eficiencias de aplicación,almacenamiento
y distribución (fracción decimal).

En el cuadro que precede se muestran las eficiencias posibles de alcanzar con diferentes métodos de riego. Los valores de EU indican en buena medida que proporción del agua realmente infiltrada en el perfil y retenida por el suelo esta en condiciones de ser evapotranspirada por todas las plantas a lo largo del campo regado.

METODO DE RIEGO	Eap	Eal	Ed	Eu
Inundación	0.40	0.85	0.60	0.20
Surcos	0.55	0.85	0.75	0.35
Bordes	0.60	0.90	0.70	0.38
Aspersión	0.90	1.00	0.85	0.76
Goteo	0.95	1.00	0.90	0.86

3.12 Requisitos Generales para ejecutar la evaluación de un sistema de riego por aspersión:

En cualquier sistema de aspersión, con aspersores giratorios, deben inspeccionarse seis factores principales para determinar hasta que punto son adecuados el diseño y la operación y que ajustes se requieren en la disposición establecida. Entre estos están:

3.12.1 Grado de Aplicación:

El grado de aplicación del agua no debe ser con mayor velocidad que aquella con la que el suelo pueda absorberla, pero a la vez, esta aplicación deberá ser lo bastante rápida para prevenir pérdidas excesivas por evaporación.

3.12.2 Lámina Aplicada:

La cantidad de agua aplicada durante el riego no debe ser más grande que la lámina más ligera necesaria para llevar la zona radicular a su capacidad de campo. Solamente cuando se requiera efectuar lavados para lixiviar sales

nocivas a los cultivos, será necesario aplicar láminas más grandes que la capacidad de retención del suelo.

3.12.3 Capacidad del sistema:

El equipo deberá ser capaz de surtir de humedad al suelo en una cantidad por lo menos igual al consumo máximo del cultivo.

3.12.4 Uniformidad de Aplicación:

El agua debe aplicarse tan uniformemente como sea posible, y la práctica lo permita. La uniformidad se ve afectada por diferencias en la descarga de los aspersores individuales a lo largo del lateral y sobre laterales diferentes. También se ve influenciada por la uniformidad de la distribución de la aspersión dentro del área efectiva de cada aspersor individual.

3.12.5 Pérdidas de Agua:

La pérdida más grande en un diseño correcto y una óptima operación del sistema de aspersión, se debe a las fluctuaciones en la dirección e intensidad del viento, entre la boquilla del aspersor y la superficie del suelo. También influyen en dichas pérdidas, el tamaño de las gotas y el grado de aplicación. Se considera que para tener un uso eficiente del agua tales pérdidas, no deben ser mayores del 10 al 15% del gasto por fricción a través de las tuberías.

3.12.6 Tamaño Económico de la Tubería:

Los diversos tamaños de la tubería usada, deben ser de tal magnitud que exista un balance económico entre los costos de ellos y el costo de la energía usada para impulsar el agua. (9)

incluye a los cultivos, será necesario aplicar láminas más grandes que la capacidad de retención del suelo.

3.12.3 Capacidad del sistema:

El equipo deberá ser capaz de surtir de humedad al suelo en una cantidad por lo menos igual al consumo máximo del cultivo.

3.12.4 Uniformidad de aplicación:

El agua debe aplicarse tan uniformemente como sea posible.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL:

Determinar la problemática existente en la operación del sistema de riego "CHACAYA", Santiago Sacatepéquez, tomando en cuenta las condiciones actuales de funcionamiento; con el fin de optimizar el uso del recurso agua.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- En base a la relación agua-suelo-planta, determinar la eficiencia del sistema de riego, para detectar posibles deficiencias del mismo.
- Evaluar el coeficiente de Uniformidad, Distribución de Uniformidad; Eficiencia de Aplicación, de Almacenamiento y del equipo de bombeo.

3.12.5 Yacimiento Económico de la tubería:

Los diversos tamaños de la tubería usada, deben ser de tal magnitud que exista un balance económico entre los costos de ellos y el costo de la energía usada para impulsar el agua. (?)

5. METODOLOGIA

5.1 Generalidades del área de influencia de estudio:

El sistema de riego por aspersion Chacayá, se encuentra ubicado en el municipio de Santiago Sacatepéquez, departamento de Sacatepéquez, con coordenadas geográficas de $14^{\circ}38'24''$ latitud norte y $90^{\circ}41'32''$ longitud oeste, a una distancia de 34 kilómetros de la ciudad capital por la carretera panamericana, y a 1.5 kilómetros de la cabecera municipal por camino de terracería.

5.1.1 Relieve:

El proyecto de riegos Chacayá, posee un relieve que va de fuertemente ondulado a plano, y su clasificación de capacidad productiva de la tierra se encuentra en la clase II, por lo que el relieve o pendiente, no representa ningún problema en lo que a aspectos agrícolas se refiere.

5.1.2 Suelos:

Las características fisiográficas del componente suelo están representadas en la parte de la superficie por un tipo de formación bien definido de la altiplanicie central, fuertemente ondulado y con una pendiente escarpada hasta un 15% o más, su geología está representada por el material madre que es ceniza volcánica pomácea de color claro. Según Simmons, Tarano y Pinto, el proyecto posee el grupo y serie de suelos siguiente:

GRUPO II. Suelos de la Altiplanicie central, gran parte del área está bajo cultivos limpios continuos, desde hace siglos sin haberse seguido prácticas para mantener y mejorar la fertilidad del suelo.

SUBGRUPO B: Suelos profundos, desarrollados sobre cenizas volcánicas de color claro, posee las series de suelos cauqué y Guatemala, las cuales se diferencian entre si, por características tales como: la clase de material madre,

profundidad, textura, color y declive del suelo, ambas tienen un sub-suelo café-rojizo. (19)

5.1.3 Climatología:

El proyecto de riego por aspersión CHACAYA, está al norte de Santiago Sacatepéquez, y se encuentra en las condiciones climáticas siguientes: Temperatura media anual de 12.23°C ; temperatura mínima -2.2°C ; y máxima de 23.85°C , los meses más fríos son Diciembre, Enero y Febrero; los meses calurosos son Marzo y Abril. La precipitación pluvial promedio anual es de 1,035 milímetros, la evaporación media mensual de 6.04 centímetros. Los datos que se obtuvieron fueron de la estación meteorológica No. 16.11.1 Suiza Contenta, localizada en San Lucas Sacatepéquez, con una elevación de 1,105 metros sobre el nivel del mar.

5.2 Materiales

Los materiales empleados en la ejecución de la evaluación de campo fueron los siguientes:

- Manómetro con tubo de pitot incorporado.
- Cronómetro y reloj.
- Barreno y pala
- Recipientes calibrados para medir la descarga de los aspersores individuales (capacidad 5 galones)
- Una cinta métrica de 30 metros
- 30 recipientes de plástico con capacidad de 2 litros.
- Aforador de Colling
- Probeta para medir el volumen de agua colectada en los recipientes de plástico.
- Cajas de metal para obtener muestras de suelo.
- Un infiltrómetro de doble cilindro
- Bolsas plásticas para la toma de muestras de suelos.
- Carreta de mano.

5.3 Aspectos Generales del Sistema de riego:

El proyecto de riego Chacayá, Santiago Sacatepéquez, se

inició por promoción que hizo la Dirección General de Servicios Agrícolas, DIGESA, REGION V, por medio del programa de mini-riego. El objetivo de llevar a cabo la incorporación de un sistema de riego en Santiago, se debe a que en ese lugar es factible aprovechar el recurso agua de una fuente superficial y el establecimiento de cultivos de exportación. Luego se realizaron los estudios previos y reuniones con los interesados para formar un comité de riegos, el cual sería el responsable de organizar y construir el sistema de riego. El total de familias beneficiadas fueron de 42. Se iniciaron los trabajos de construcción del sistema en marzo de 1,987 y terminaron el 20 de abril de 1,988. El diseño del sistema se basó para un riego por aspersión, debido a que el área reúne las características adecuadas y con esto darle facilidades en el manejo del sistema al agricultor. Al inicio del funcionamiento del sistema los cultivos que se desarrollaban eran: arveja china, suchini, ejote Francés, brócoli, radicchio. Las instituciones que intervinieron en la formulación y ejecución económica técnica del proyecto Chacayá fueron la Dirección General de Servicios Agrícolas, Región V, aportando asesoría técnica, diseño hidráulico y construcción del sistema de riego por aspersión, Banco Nacional de Desarrollo Agrícola, BANDESA, aportando el crédito para la adquisición de la tubería, equipo de bombeo y accesorios. Actualmente no existe información de las características agronómicas y de diseño del sistema de riego por aspersión Chacayá, por tal razón no se pudo, hacer una comparación de lo investigado en este trabajo con dichas características.

5.4 Historial de Operación del Sistema de Riego:

El sistema de riego por aspersión Chacayá, inició sus operaciones en abril de 1,988, mes y año en que fue inaugurado el mismo. El sistema de riego diseñado fue del tipo Semi-Movil, donde el agricultor utilizaba un juego de tres aspersores con sus respectivas mangueras para irrigar una

cuerda de terreno ($40 \times 40 \text{ Vrs}^2$). los aspersores juntamente con sus respectivas mangueras se movilizaban hacia diferentes puntos de aspersión, previamente establecidos dentro de las parcelas con el fin de cubrir el área total de riego. Para irrigar una cuerda de terreno el agricultor utilizaba tres turnos de riego con una duración de 6 horas cada turno. En 1,991 el sistema fue totalmente cambiado por los propios agricultores a un sistema fijo, realizándose nuevas instalaciones de tuberías a nivel de parcelas, donde por comodidad y tiempo riegan actualmente en un solo turno de 6 horas sus respectivas parcelas. El patrón de distribución del agua utilizado actualmente es el mismo que fue propuesto por la Dirección General de Servicios Agrícolas, DIGESA, Región V, cuando el sistema fue inaugurado y entregado a los usuarios del mismo.

5.5 Componentes del sistema de riego:

Los componentes que se detallan a continuación fueron propuestos e instalados por la Dirección General de Servicios Agrícolas y la compañía Hidrotecnia S.a.

3 bombas de 25 HP, marca Sta-Rite, con motores acoplados marca CENTURY. El sistema de tuberías de conducción y distribución son de PVC. Las bombas están distribuidas en serie a lo largo de la red de conducción. Cada bomba posee 2 transformadores y un contador eléctrico. Una caseta para los tableros de control de arranque y apagado de la bomba con sus respectivos accesorios. Elevadores de PVC de 4.92 pies de alto. Aspersores de plástico, válvulas de compuerta, llaves de paso, válvulas de aire etc.

En el sistema se manejan diferentes diámetros de tubería PVC ($4, 2 \frac{1}{2}$, 2 , $1 \frac{1}{2}$, $1 \frac{1}{4}$, 1 , $\frac{3}{4}$ de pulgada respectivamente). El aspersor utilizado es de plástico, el cual carece de características técnicas (Marca, Modelo, Número de boquilla etc.). El uso de este tipo de aspersor se está uniformizando en el sistema y en los proyectos vecinos, debido a que su

precio es relativamente bajo en el comercio.

Este aspersor no fue el propuesto por la Dirección General de Servicios Agrícolas. DIGESA.

5.6 Evaluación del sistema:

La evaluación del sistema de riego Chacayá, Santiago Sacatepéquez, se llevó a cabo de la siguiente manera:

5.6.1 Determinación de la Evapotranspiración:

La evapotranspiración en el área se calculó por medio del método de Hargreaves, modificado en 1,986, en donde se utilizaron datos tales como: Temperatura máxima y mínima promedio mensual expresada en grados centígrados, radiación extraterrestre en equivalente de evaporación expresado en milímetros por día. El cálculo de la evapotranspiración se expresa en milímetros por día, como puede observarse en el cuadro 21 del apéndice. Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó la siguiente ecuación.

$$ETP = \frac{0.0023 Ra(T_{max} - T_{min})^{0.5} (T_{max} + T_{min}) + 17.8}{2}$$

.....Ecuación No. 1

DONDE:

ETP= Evapotranspiración Potencial (mm/día)

Ra= Radiación extraterrestre en equivalente de evaporación (mm/día) de acuerdo a la latitud del lugar y mes.

Ver tabla 1 del apéndice)

Tmax= Temperatura máxima promedio (°C)

Tmin= Temperatura mínima promedio (°C)

2.6.2 Requerimiento de Riego:

Para estimar el requerimiento de riego en el cultivo de arveja china, como el cultivo principal en el área de estudio,

se utilizó los datos de la evapotranspiración potencial, y el coeficiente del cultivo (Kc), el cual se obtuvo del cuadro No. 20 del apéndice, donde se multiplicaron los datos correspondientes para obtener la evapotranspiración real. En el cuadro No. 2, se observan los resultados para dos épocas de siembra de arveja china, iniciándose la primera en el mes de enero y la otra en el mes de febrero.

CUADRO No. 1

**DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION REAL PARA
ARVEJA CHINA.**

MES	Etp (mm)	Kc	Etr (mm)	Etr Acum. (mm)
*Enero	3.8350	0.40	1.5340	1.5340
Febrero	4.2885	0.70	3.0020	4.5360
Marzo	4.8930	1.05	5.1377	9.6737
Abril	5.1528	1.00	5.1528	14.8265
*Febrero	4.2885	0.40	1.7154	1.754
Marzo	4.8930	0.70	3.4251	5.1405
Abril	5.1528	1.05	5.4104	10.5509
Mayo	5.0591	1.00	5.0591	15.6100

Etp= Evapotranspiración Potencial.

Kc = Coeficiente del cultivo.

Etr= Evapotranspiración real

Período vegetativo: 120 días

Cultivo: arveja China

* = Inicio del cultivo

Una vez determinada la evapotranspiración real del cultivo para la época de siembra, se procedió a determinar el requerimiento de riego en base a la siguiente expresión:

$$Rr = Etr - Pe \dots \dots \dots \text{Ecuación No. 2}$$

Donde: Rr= Requerimiento de riego (mm/día)

Etr=Evapotranspiración real (mm/día)

Pe =Precipitación Efectiva (mm/día)

CUADRO No. 2

REQUERIMIENTO DE RIEGO

MES	Etr. (mm/día)	Pe (mm/día)	Rr (mm/día)	Rr Acum. (mm/día)
*Enero	1.5340	0.0959	1.4381	1.4381
Febrero	3.0020	0.3550	2.6470	4.0851
Marzo	5.1377	0.1679	4.9698	9.0549
Abril	4.1528	0.3645	4.7883	13.8432
*Febrero	1.7154	0.3550	1.3604	1.3604
Marzo	3.4251	0.1679	3.2572	4.6176
Abril	5.4104	0.3645	5.0459	9.6635
Mayo	5.6591	2.7844	2.2747	11.0382

* = Inicio de la siembra de cultivo.

5.6.3 Determinación Física del Suelo y Constantes de Humedad.

Se recolectaron muestras de suelo en las 4 parcelas de prueba para conocer las características físicas y los parámetros de humedad del suelo. En cada parcela de prueba se tomaron 4 sub-muestras para luego obtener una muestra homogénea; la profundidad de muestreo se hizo a 60 centímetros, dividiendo ésta en 3 estratos, de 20 centímetros de profundidad cada estrato. Las muestras se tomaron antes de iniciado el riego y luego fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento, DIRYA. Los datos que se obtuvieron fueron: Densidad Aparente, Textura, Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente, tal como se observa en el cuadro No. 15 del apéndice.

5.6.4 Contenido de Humedad

Para determinar el contenido de humedad del suelo se utilizó el método Gravimétrico. Se tomaron 8 sub-muestras al

azar dentro de cada parcela de prueba antes y después del riego. Una vez recolectadas dichas muestras se homogenizaron para obtener una sola. De la muestra homogenizada se tomaron aproximadamente 125 gramos de suelo que fueron guardados en cajas de metal para evitar pérdidas de humedad. A las muestras de suelo recolectadas antes y después del riego en cada parcela, se les determinó su peso en estado húmedo (PSH) y en estado seco (PSS), después de ser expuestas las mismas a una temperatura de 105 grados centígrados durante 24 horas. En los cuadros 16 y 17 del apéndice se observan los datos de Peso de las muestras de suelo en estado húmedo y en estado seco, así como el porcentaje de humedad existente en el suelo antes y después del riego. El porcentaje de humedad existente en el suelo (PSa y PSd) se calculó a través de la siguiente ecuación.

$$Ps = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100 \dots \text{Ecuación No. 2a.}$$

PSS

DONDE: Ps = Contenido de humedad (%)

PSH = Peso del suelo húmedo (gr)

PSS = Peso del suelo seco (gr)

5.6.5 Velocidad de Infiltración:

Se efectuaron 4 pruebas de campo para el cálculo de la velocidad de infiltración, utilizando el método del infiltrómetro de doble cilindro. Este consiste en dos cilindros de metal, el primero de 40 centímetros de diámetro y el segundo de 30 aproximadamente; ambos con una altura de 35 centímetros, siendo enterrados a 1/3 de su altura. Se aplicó agua entre ambos cilindros para tener una mejor distribución vertical del agua infiltrada. Se determinó la velocidad de infiltración para conocer el comportamiento del agua en el suelo, comparando si es mayor o menor que la intensidad de

aplicación del espesor.

Para efectos de cálculo de la velocidad de infiltración se utilizó el modelo de Kostiakow Lewis, siendo representado por la ecuación de infiltración.

	$I = K t^n$	K	n	PRUEBA
	Ecuación No. 3			
Donde:	I	= Velocidad de Infiltración (Cms/hora)		
	K	= Parámetro que representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial.		
	t	= Tiempo acumulado de infiltración (minutos)		
	n	= Parámetro que indica la forma con que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo.		

En base a las pruebas de campo y los datos aportados por estos, se pudo establecer la velocidad de infiltración y la infiltración básica. La infiltración básica se determinó partiendo de la siguiente ecuación:

$$I_b = K (-600 n)^n \dots \text{Ecuación No. 4}$$

De donde:

I_b = Infiltración Básica (cms/hora)

K y n = Parámetros obtenidos de la ecuación de Kostiakow Lewis (Ecuación 3)

Aplicando los parámetros de Kostiakow, se obtuvo que la infiltración básica fue en promedio de 1.1462 centímetros por hora, donde las condiciones de relación del riego con el suelo en el sistema se pudo detectar que éste valor es mayor que la intensidad de riego de los aspersores 0.7155 centímetros por hora. Con esto se determinó que en las parcelas del sistema no se producen encharcamiento, ni escurrimientos durante el tiempo de riego que son 6 horas.

CUADRO No. 3

VELOCIDAD DE INFILTRACION E INFILTRACION BASICA

PRUEBA No.	n	K	$I=Kt^n$	Ib((Cms/hrs)
1	-0.6383	56.8926	56.8926 t ^{-0.6383}	1.2771
2	-0.6288	49.8314	47.8314 t ^{-0.6288}	1.1948
3	-0.6414	46.7508	46.7508 t ^{-0.6414}	1.0270
4	-0.6285	45.1870	45.1870 t ^{-0.6285}	1.0857

5.6.6 Area de Prueba

Según las características del sistema de riego por aspersión en estudio, y las condiciones topográficas del mismo, se tomaron 4 parcelas de prueba, tal como se observa en la figura 1 del apéndice; de las cuales 2 parcelas se seleccionaron bajo condiciones topográficas planas y las otras 2 en condiciones de topografía quebrada. Dentro de cada parcela de prueba se determinó un espacio que cubriera 4 aspersores, con el fin de obtener el traslape adecuado en los círculos de mojado. El área utilizada fue variable para cada una de las parcelas de prueba.

5.6.7 Cálculo de la lámina neta de Reposición:

El método utilizado para determinar el contenido de humedad en el suelo antes del riego fue el gravimétrico, el cual consistió en tomar una muestra de suelo de aproximadamente 125 gramos a una profundidad de 60 centímetros; se guardó en cajas de metal para evitar pérdidas de humedad. La muestra ya pesada se colocó en un horno a una temperatura de 105 grados centígrados, para obtener el peso seco, y llevar este dato a la ecuación siguiente:

$$LR = \left(\frac{cc - P_{Sa}}{P_{Sa}} \right) \times Da \times Zr. \quad \dots \text{Ecuación No. 6}$$

Donde: LR= Lámina neta de riego para llevar a capacidad de campo la zona principal de raíces (cms.)
 cc= Capacidad de Campo (%)
 PSA= Porcentaje de humedad antes del riego (%)
 Da= Densidad aparente (grs/cc)
 Zr= Zona radicular en centímetros.

En el cuadro No. 4 se presentan los resultados de las determinaciones del contenido de humedad en el suelo antes del riego y la lámina neta requerida para llevar a capacidad de campo la zona principal de raíces. Se observa que en las tres primeras parcelas no hay mayor variación, no así en la última que se requiere una lámina neta menor para alcanzar la capacidad de campo.

CUADRO No. 4

DATOS SOBRE EL PORCENTAJE DE HUMEDAD ANTES DEL RIEGO Y LAMINA NETA REQUERIDA PARA LLEVAR A CAPACIDAD DE CAMPO (LR)

PARCELA No.	Prof. Estrato	PSa (%)	Lámina Neta (Cms)	LR (Cms.)
1	0-20	15.4355	2.2202	4.4033
	20-40	16.8075	1.4547	
	40-60	19.3939	0.7284	
2	0-20	19.2744	1.9873	4.6232
	20-40	20.3593	1.4270	
	40-60	23.9880	1.2089	
3	0-20	20.2931	1.7157	4.4721
	20-40	22.6730	1.2439	
	40-60	22.9730	1.525	
4	0-20	19.2069	1.7775	3.3261
	20-40	21.5208	0.7425	
	40-60	25.2591	0.8061	

5.7 Caudal y Presión de Operación del Aspersor:

Se procedió a poner en funcionamiento normal el sistema y luego que la presión y volumen del agua dentro de la tubería se estabilizó, se determinó el caudal de descarga de los aspersores, utilizando para ello el método volumétrico, el cual se desarrolló como sigue:

Se insertó una manguera a la boquilla de salida del aspersor, de tal manera que el volumen fue descargado dentro de un recipiente de 5 galones de capacidad, se determinó el tiempo de llenado y se obtuvo el caudal de descarga del aspersor en metros cúbicos por segundo. Se midió la presión de los 4 aspersores que conformaban cada parcela de trabajo, utilizando un manómetro con tubo de pitot incorporado, a una distancia de 5 milímetros del chorro. A partir del dato de caudal del aspersor, se calculó la lámina de agua descargada sobre el área de mojado y para esto se utilizó la fórmula básica de riego:

$$L = \frac{Q \times t}{A} \dots \dots \dots \text{Ecuación No. 7}$$

Donde: L= Lámina de agua descargada por el aspersor (Cms)
 Q= Caudal del aspersor (mts cúbicos/seg)
 t= Tiempo de riego (segundos)
 A= Área de mojado de los aspersores (mts²)

5.8 Medición de la lámina de cada Recipiente por área de prueba.

Se colocaron recipientes de 2 litros de capacidad, distribuidos en forma de cuadrícula de 2 x 2 metros dentro del área de prueba, debidamente nivelados con la finalidad de que éstos no se voltearan al captar el agua. El total de recipientes por parcela fue de 30 y el tiempo de captación de la lámina de agua fue de 3 horas.

Con los datos obtenidos, se procedió a determinar el área de los recipientes colectores (84.9489 cms², 73,8983 cms²)

y con los volúmenes obtenidos en cada recipiente, expresados en centímetros cúbicos, se aplicó la ecuación para calcular la lámina aplicada por el aspersor en 3 horas de riego. En los cuadros 18 y 19 del apéndice, se expresan los volúmenes colectados y las láminas determinadas durante la prueba de 3 horas de riego.

Los datos de tales cuadros, se calcularon por medio de la fórmula siguiente:

$$I = \frac{V}{a} \dots \dots \dots \text{Ecuación No. 8}$$

Donde: I= Lámina Colectada en el recipiente (cms)
 V= Volumen colectado en el recipiente (cms)
 a= Area de los recipientes (cm²)

5.0 Cálculo del coeficiente de Uniformidad:

Con los datos de las láminas recolectadas del aspersor (ver cuadro 19 del apéndice) en las cuatro parcelas de estudio, se obtuvo la media de estos datos y la sumatoria de los valores absolutos de la desviación de las observaciones. Luego se sustituyeron en la ecuación 9 para determinar el coeficiente de uniformidad, expresado en %

$$CU = 1 - \frac{\sum |x - \bar{x}|}{n \bar{x}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación No. 9}$$

Donde: $CU^x = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{n \bar{x}} \times 100$ Coeficiente de Uniformidad (%)

\bar{x} = Promedio de Láminas

$\sum |x - \bar{x}|$ = Suma de las desviaciones en valores absolutos.

n = Número de observaciones

El coeficiente de Uniformidad es un indicador del comportamiento que se da dentro del suelo de la lámina neta aplicada. Entre más uniforme sea la aplicación de la lámina

del suelo mayor será el coeficiente de uniformidad; un 80% de coeficiente de uniformidad o mayor es adecuado para un sistema de riego por aspersión. (17)

5.10 Cálculo de la eficiencia de almacenamiento:

La eficiencia de almacenamiento E_{al} , se obtuvo al relacionar el agua almacenada en la zona radicular por efecto del riego y el agua necesaria para llevar esa zona hasta capacidad de campo (Lámina neta de reposición LR). Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_{al} = \frac{Aa}{LR} \times 100 \dots \text{Ecuación No. 10}$$

Donde: E_{al} = Eficiencia de Almacenamiento (%)

Aa = Agua almacenada en la zona principal de raíces (Cms)

LR = Lámina necesaria para alcanzar la capacidad de campo (Cms).

Para el cálculo de la lámina almacenada en la zona radicular se recurrió a la Siguiete ecuación:

$$Aa = \frac{P_{sd} - P_{sa}}{100} \times D_a \times Z_r \dots \text{Ecuación No. 11}$$

Donde: Aa = Agua o lámina almacenada en la zona radicular (cms).

P_{sa} = Porcentaje de humedad antes del riego (%)

P_{sd} = Porcentaje de humedad después del riego (%)

D_a = Densidad Aparente (grs/cc)

Z_r = Profundidad radicular o zona radicular (Cms)

En el cuadro No. 5 se observan los datos de porcentaje de humedad después del riego y la lámina almacenada en la zona radicular.

5.11 Eficiencia de Aplicación:

Para evaluar la eficiencia de aplicación se midió la cantidad de agua aplicada por los aspersores durante un turno de riego, que son 6 horas, y la lámina de agua almacenada en la zona radicular.

Para el cálculo de la eficiencia de aplicación se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_{ap} = \frac{A_a}{L_a} \times 100 \dots \text{Ecuación No. 12}$$

Donde: E_{ap} = Eficiencia de Aplicación (%)

A_a = Agua o lámina almacenada en la zona radicular (Cms)

L_a = Lámina Descargada por el aspersor (Cms)

5.12 Cálculo de la eficiencia de utilización:

La eficiencia de utilización ó agronómica se obtuvo relacionando la eficiencia de aplicación (EAP), eficiencia de almacenamiento (EAL) y distribución (Ed ó CU), a través de la siguiente ecuación:

$$EU = EAP \times EAL \times Ed \text{ ecuación No. 12A}$$

donde: EU = Eficiencia de Utilización. (fracción decimal).

EAP, EAL, Ed = Eficiencia de aplicación,

almacenamiento y distribución (fracción decimal).

5.13 Determinación de la Distribución de Uniformidad:

Para determinar la uniformidad de distribución del agua en el sistema, se tomó el promedio de las láminas mínimas recolectadas y el promedio de las láminas recolectadas. Este concepto nos permitió evaluar la habilidad que existe en el sistema en aplicar el agua uniformemente en las parcelas, se definió en base a la ecuación siguiente:

$$UD = \frac{L_{mP}}{LMP} \times 100 \dots \text{Ecuación No. 13}$$

LMP

En donde: UD = Uniformidad de distribución (%)

L_{mP} = Lámina mínima promedio captada (cms)

LMP = Lámina promedio captada (cms)

La distribución de uniformidad hace referencia al comportamiento de ciertos puntos (láminas mínimas) dentro de las parcelas de prueba, respecto a la lámina neta aplicada. Estos puntos deben estar a un 70% mínimo con respecto a la lámina neta promedio aplicada, de lo contrario se observarían sectores donde el desarrollo del cultivo es irregular. (3)

CUADRO No. 5

**DATOS SOBRE EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUES DEL RIEGO
Y LAMINA ALMACENADA EN LA ZONA RADICULAR (Aa)**

No. Parcela	Prof Estrato	PSD (%)	Aa (cms)	Aa Total (cms)
1	0-20	22.3514	1.8784	3.7730
	20-40	21.8705	1.3289	
	40-60	21.5577	0.5657	
2	0-20	24.0881	1.3833	2.5514
	20-40	23.3373	0.8002	
	40-60	25.3823	0.3679	
3	0-20	25.7642	1.5123	3.1271
	20-40	26.2870	0.9695	
	40-80	25.3323	0.6453	
4	0-20	26.6216	2.0713	3.7758
	20-40	24.8276	0.8964	
	40-80	28.2803	0.8081	

5.14 Determinación de la lámina bruta de riego:

La lámina de riego bruta, es la lámina que debe aplicarse, después de considerar el porcentaje de eficiencia de aplicación de la lámina de riego neta. A su vez la lámina de riego neta se define, como aquella que es necesaria aplicar al cultivo en cada riego para mantener la humedad del suelo en tensiones adecuadas para ser fácilmente aprovechable por el mismo..

$$Lb = \frac{Ln}{Eap} \quad \text{Ecuación No. 14}$$

De donde" Lb = Lámina bruta (cms)

Ln = Lámina Neta (cms)

Eap = Eficiencia de Aplicación (cms)

La lámina bruta aplicada actualmente en el sistema, fue calculada con la ecuación No. 7, como puede observarse en el

cuadro No. 6; la cual resultó ser de 4.2929 centímetros en promedio. Para el cálculo de la lámina bruta real que debería aplicarse en el sistema, se relacionó la lámina neta de reposición (LR), la cual fue calculada con la ecuación 6 (ver cuadro No. 4) que es de 4.2062 centímetros promedio, entre la eficiencia de aplicación que resultó ser de 75.0672%, se tiene como resultado final 5.6032 centímetros para dicha lámina bruta.

5.15 Determinación de la Eficiencia del equipo de bombeo.

La determinación de la eficiencia del equipo de bombeo en su conjunto (Bomba-Motor) se realizó en el sistema de la siguiente manera:

5.15.1 Descarga de la Bomba:

Para determinar la descarga de la bomba, se utilizó el aforador de colling, un aparato que mide la velocidad del flujo dentro de la tubería, la descarga se calculó aplicando la siguiente ecuación.

$$Q = A \times V \dots \dots \dots \text{Ecuación No. 15}$$

Donde: Q= Caudal o descarga (Mts³/seg)
 A= Area del tubo (mts²)
 V= Velocidad del agua (mts/seg)

El area del tubo se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación No. 16}$$

Donde: A= Area del tubo
 D= Diámetro del tubo.

Para la determinación de la carga dinámica total de bombeo, se hizo necesario contar con el plano del sistema (ver figura No. 2 del apéndice), el cual especifica diámetros y longitudes de tuberías, diferencias de elevación y distribución del agua en el turno de riego de la parcela crítica (parcela de mayor altura del sistema); para el cálculo de la carga dinámica total se utilizó la siguiente ecuación:

$$CDT = hp + hv + Hl + 0.1hl + A1 \dots \text{Ecuación No. 17}$$

Donde: CDT: Carga dinámica Total (mts)
 hp: Carga de presión. Corresponde a la presión de operación de los aspersores. (mts)
 hv: Carga de elevación, es la diferencia de elevación entre el nivel de bombeo y el punto de descarga. (mts.)

Hv = Carga de velocidad. Viene dada por la expresión.

$$hv = \frac{v^2}{2g} \quad g = \text{Es la aceleración de la gravedad.}$$

hl = Carga de fricción (mts). Para el cálculo se utilizó la fórmula de Hazen-Williams, la cual viene dada por la expresión:

$$hl = \frac{1.21 \times 10^{10} \times L}{D^{4.87}} \left(\frac{Q}{CHW} \right)^{1.852}$$

Ecuación No. 18

Donde: Hl = Pérdidas de carga por fricción (mts)

L = Longitud de la tubería (Mts)

D = Diámetro de la tubería (mm)

Q = Caudal de descarga (LPS)

CHW = Coeficiente de rugosidad de la tubería.

En el presente estudio se utilizó un coeficiente de 140 ya que el sistema tiene 5 años de funcionamiento. (150 para PVC nuevo)

0.1 hl = 10% del total de la carga por fricción por pérdidas menores.

Al = Altura del elevador (mts)

5.15.3 WHP del sistema:

Para determinar los WHP, o sea la energía que la bomba debe suministrar al agua en la forma de presión, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$WHP = \frac{Q \times CDT}{76} \quad \text{Ecuación No. 19}$$

Donde: Q = Caudal en m³/hrs.

CDT = Carga dinámica total (mts)

5.15.4 Potencia Eléctrica (MHP)

Para determinar la potencia eléctrica, se utilizó la constante del disco del contador, donde se hizo necesario contar con el número de vueltas de dicho disco por segundo. Para el cálculo de la potencia eléctrica se aplicó la siguiente ecuación:

$$MHP = \frac{(10 \text{ rev.} \times Kh \times 4.82)}{t \text{ para 10 rev.}} \quad \text{Ecuación No. 20}$$

Donde: MHP = Potencia Eléctrica (HP)

10 rev = Número de vueltas del disco del contador

Kh = Medidor Eléctrico

t = Tiempo para 10 revoluciones (seg)

5.15.5 Eficiencia Total del equipo de bombeo:

Para el cálculo de la eficiencia total del equipo de bombeo se utilizó la siguiente ecuación:

$$Efs = \frac{Q \times CDT \times 100}{5,300 \times Kw \text{ de entrada}} \quad \text{Ecuación No 21}$$

Donde: Efs= Eficiencia del equipo de bombeo (%)
 Q= Caudal total de bombeo (GPM)
 CDT= Carga Dinámica Total (PIES)
 Kw= Kilowatts de entrada
 Kw de entrada= MHP x 0.746

5.16 Análisis de la Información:

Para el análisis de la información y con el fin de ordenar y obtener mejores resultados de la información técnica investigada, se utilizó el método de las medias aritméticas, considerando posteriormente los respectivos porcentajes de cada una de las variables investigadas.

6. RESULTADOS

El tipo de riego evaluado en la zona de estudio fue por bombeo-aspersión. En este lugar las condiciones topográficas son irregulares en algunos sectores que cubre el sistema y en la otra parte del área se presenta plana. El sistema tiene actualmente aspersión fija, debido al potencial agrícola de la zona, y de esta manera se pretende que el agricultor pueda llevar a cabo una mejor operación del sistema de riego. El sistema de riego Chacayá, Santiago Sacatepéquez, cuenta con una extensión de 9.50 hectáreas bajo riego, y el número de usuarios que trabajan en el sistema son en total 58 agricultores.

El cultivo de mayor importancia que se siembra es la arveja china (*Pisum Sativum*), existiendo otros cultivos hortícolas que también son destinados para la exportación tales como: Ejote Francés, Suchini, Cebollín, Mora etc. Estos son sembrados en menor escala y su comercialización la realizan al exterior a través de la Cooperativa Agrícola Cuatro Pinos de Santiago Sacatepéquez o a través de otros intermediarios. El sistema cuenta con un mismo tipo de aspersor (Plástico), sin características técnicas (Marca, Modelo, Diámetro de boquilla etc), cuyos caudales varían de 3 a 4 galones por minuto.

6.1 Disponibilidad de Agua:

La fuente de agua utilizada es un riachuelo que recorre el proyecto por la parte sur. Este riachuelo en época de estiaje cuenta con 19.80 litros por segundo. El sistema de riego cuenta con tres bombas centrífugas de 25 HP, marca STA-RITE, con motores acoplados marca CENTURY. Las bombas están distribuidas en serie a lo largo de la red de conducción (Ver figura No. 1 del apéndice);

6.2 Cálculo de la lámina de agua descargada por los aspersores:

Para calcular la lámina de aplicación descargada por los aspersores se utilizó la ecuación No. 7, determinando la condición media de trabajo de los aspersores en cada

parcela de prueba y en todo el sistema. También se midió el diámetro de mojado que fue de 22 metros. El grado máximo de aplicación promedio de la descarga del aspersor fue de 0.7155 centímetros para una hora y 4.2929 Centímetros para 6 horas. En el cuadro No. 6 se observa que en las parcelas de prueba, existe mucha variación en cuanto a la lámina descargada por los aspersores. Durante las pruebas se constató que no se presentan encharcamientos en el suelo, lo cual significa que el suelo retuvo la lámina de agua aplicada en forma satisfactoria y no hubo movimiento superficial.

CUADRO No. 6

CAUDAL Y PRESIONES DE TRABAJO DE LOS ASPERSORES

Parcela No.	Caudal m^3 /asp	GPM/asp.	Presión Psi	Area Mts. ²	Lámina Descargada (cms)	
					1 Hora	6 Horas
1	2.23×10^{-4}	3.53	26	110	0.7298	4.3789
2	1.94×10^{-4}	3.08	20	106.95	0.6530	3.9181
3	2.25×10^{-4}	3.57	28	132	0.6136	3.6818
4	2.38×10^{-4}	3.78	30	99	0.8655	5.1927

6.3 Coeficiente de Uniformidad

Para determinar el coeficiente de uniformidad se tomaron en cuenta los valores de las láminas recibidas en los botes, la media de estos valores y la desviación con respecto a la media.

EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO

CUADRO No. 7

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

No. Parcela	Suma total de Observaciones	Desviación	Media de Valores	Cu (%)
1	57.9750	10.9045	1.9325	81.1909
2	376179	6.4599	1.2539	82.8272
3	426065	5.8781	1.4202	86.2036
4	68.5656	19.2444	2.2855	71.9326

Se observa en el cuadro No. 7 que los valores del coeficiente de Uniformidad determinado en las tres primeras parcelas no presentan mayor variación dentro del rango establecido, cuyos valores fueron mayores del 80%. Este caso no se presentó en la cuarta parcela de prueba, debido a la influencia del viento y la pendiente existente en dicha parcela. El promedio de Coeficiente de Uniformidad (CU) fue de 80.5386 para el sistema en estudio.

6.4 Eficiencia de Almacenamiento:

Para la obtención de la eficiencia de almacenamiento en el área de prueba, ésta se calculó utilizando la ecuación No. 10 y los resultados para cada prueba se pueden observar en el cuadro No. 8.

CUADRO No. 8

EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO

No. Parcela	Aa (cms)	LR (cms)	Eal (%)
1	3.7730	4.4033	85.6857
2	2.5514	4.6232	55.1869
3	3.1271	4.4721	69.9246
5	3.3261*	3.3261	100.000

Aa= Lámina almacenada en la zona radicular.

LR= Lámina neta requerida para llevar a capacidad de campo el suelo.

Eal= Eficiencia de almacenamiento.

*No se utilizó la lámina especificada en el cuadro No. 8, ya que para el cálculo de la eficiencia de almacenamiento, interesa la lámina de agua que lleva el suelo a capacidad de campo.

En el cuadro No. 8 se muestra la relación que existe entre la lámina almacenada en la zona radicular y la lámina neta de reposición (LR) y puede observarse el comportamiento del porcentaje de eficiencia en las 4 parcelas de prueba. El promedio para todo el sistema fue de 77.6993%.

6.5 Eficiencia de Aplicación:

Tomando en cuenta que es la relación que existe entre la lámina almacenada en la zona radicular (Aa) y la lámina de aplicación descargada por los aspersores en un turno de riego (La), se obtuvo un promedio de 75.0672%

de eficiencia de aplicación. En el cuadro No. 9 se presentan los resultados obtenidos en las 4 parcelas. Existen desperdicios de agua dentro del sistema, los cuales se están dando principalmente por percolación profunda y mayormente por evaporación del agua en el ambiente, ya que el agricultor pulveriza demasiado la gota de agua del aspersor cuando este está rociando.

6.6 Uniformidad de Distribución:

Para calcular la uniformidad de distribución se relacionó la lámina mínima promedio de los recipientes (lmP) y la lámina media colectada en el área de prueba (Lmc). En el cuadro No. 11 se observa que los porcentajes obtenidos durante las pruebas son aceptables para las parcelas 1, 2 y 3, mientras que para la cuarta parcela se presenta un valor bajo. Según las observaciones de campo se determinó que durante la prueba para dicha parcela las condiciones de topografía (20% de pendiente), viento y hora de la prueba fueron factores negativos, no permitiendo que la recolección de la lámina de agua fuese uniforme. El promedio fue de 73.2698% para todo el sistema.

CUADRO No. 9

EFICIENCIA DE APLICACION

No. Parcela	Aa (Cms)	La (Cms)	Eap (%)
1	3.7730	4.3789	86.1632
2	2.5514	3.9181	65.1183
3	3.1271	3.6818	84.9540
4	3.3261	5.1927	64.0534

Parcela de prueba 1,993

Sistema de riego por aspersión Chacayá

Santiago Sacatepéquez

6.7 Eficiencia de Utilización del Sistema

En el cuadro No. 12 se presenta un resumen de las eficiencias alcanzadas para cada parcela de prueba y el promedio de cada una de ellas, indicando la eficiencia de utilización del sistema de riego por aspersión Chacayá, Santiago Sacatepéquez.

CUADRO No. 10

LAMINAS MINIMAS RECOLECTADAS EN 3 HORAS

No. Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
1.2450	0.8390	0.9182	1.1232
1.2585	0.8473	1,0948	1.2243
1.5180	0.8525	1.1183	1.4126
1.5291	0.8125	1.1638	1.5291
1.1503	0.8711	1.1772	1.5339
1.5427	0.9417	1.2179	1.5562
1.5665	0.9743	1.2478	1.6374
	1.0420	1.2720	1.6915
LmT11,7319	7.2207	9.2100	11.7282
LmP1,4665	0.9026	1.1513	1.4660

CUADRO No. 11

UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION

No. Parcela	LmP (cms)	Lmc (cms)	UD(%)
1	1.4665	1.9325	75.8862
2	0.9026	1.2539	71.9834
3	1.1513	1.4202	81.0660
4	1.4660	2.2855	64.1435

LmP= Lámina mínima promedio

LmC= Lámina media colectada. (Ver cuadro No. 19 del apéndice)

CUADRO No. 12

**EFICIENCIAS PARA CADA PARCELA DE PRUEBA Y EFICIENCIA
DE UTILIZACION DEL SISTEMA DE RIEGO**

No. Parcela	Eap	Eal	Ed ó CU	UD	EU
1	0.8616	0.8568	0.8119	0.7588	0.5995
2	0.6512	0.5518	0.8282	0.7198	0.2977
3	0.8493	0.6992	0.8620	0.8106	0.5119
4	0.6405	1.0000	0.7193	0.6414	0.4607

Datos en fracciones decimales.

6.8 Determinación de la eficiencia de operación del equipo de bombeo.

Para estimar la eficiencia de operación del equipo de bombeo, se procedió de la manera siguiente:

6.8.1 Descarga de la bomba:

Para el cálculo de la descarga de la bomba, se utilizó el aforador de "colling", un aparato que nos midió la velocidad del flujo dentro de la tubería, la cual fue de 3.74 pies/seg. Aplicando la ecuación No. 15 se determinó que el caudal total de bombeo del sistema en estudio fue de 0.0091 mts³/seg o sea 144.38 galones por minuto. el diámetro de tubería de toda la red principal del sistema es de 4 pulgadas, con una presión de trabajo de 250 psi.

6.8.2 Carga Dinámica Total de Bombeo:

Para el cálculo de la carga dinámica total, se hizo un análisis de los turnos de riego que normalmente manejan los agricultores. De esta manera se seleccionó el turno de riego que incluye las parcelas de mayor altura del sistema (ver figura No. 2 del apéndice).

En el cuadro No. 13 se observan las cargas dinámicas de las 4 parcelas consideradas como críticas; y se concluyó que la carga dinámica total del sistema es de 181.0629 metros.

CUADRO No. 13

**CARGAS DINAMICAS TOTALES DE LA PARCELAS
CRITICAS DEL SISTEMA**

Parcela	hp(mts)	H _z (mts)	h _l (mts)	0.1 h _l (mts)	A _l (mts)	H _v (mts)	CDT(mts)
A	14.0845	121.9900	23.7964	2.3796	1.5	0.2185	163.9690
B	21.1268	117.5800	17.4142	1.7414	1.5	0.6698	160.0322
C	17.6056	138.2900	21.1034	2.1103	1.5	0.4536	181.0629
D	26.0686	128.9907	19.9288	1.9929	1.5	0.7984	179.2794

hp= Carga de presión

hz= Carga de elevación

hl= Carga de Fricción

0.1hl= 10% del total de la carga.
por fricción

A_l= Altura del elevador

H_v= Carga de Velocidad

6.8.3 WHP del Sistema:

Para el cálculo de los WHP, o sea la energía que la bomba debe suministrar al agua en la forma de caudal o presión, se utilizó la ecuación No. 19, de la cual se obtuvo un valor de 21.7046 WHP para el sistema en estudio.

6.8.4 Potencia Eléctrica:

Para el cálculo de la potencia eléctrica, se tomaron datos tales como el Kh(medidor eléctrico) y el tiempo para 10 vueltas del disco del contador en segundos. En el cuadro No. 14 se presentan los datos de potencia eléctrica para los tres equipos de bombeo existentes en el proyecto, así como la potencia eléctrica del sistema, que resultó ser de 59.1080 MHP.

6.8.5 Eficiencia Total del Equipo de bombeo:

Para el cálculo de la eficiencia total del equipo de bombeo se aplicó la ecuación No. 21, de la cual se obtuvo un 36,6901% de eficiencia Total:

Dicho valor se considera muy bajo para el sistema en estudio.

CUADRO No. 14

POTENCIA ELECTRICA DEL SISTEMA (MHP)

Equipo de bombeo	Kh Medidor eléctrico	Tiempo seg.	MHP	MHP (Total)
1	1.44	33.7050	20.5928	
3	28.8	79.2300	17.5206	
3	14.4	33.0600	20.9946	59.1080

6.9 Principales problemas en la Operación y Mantenimiento del Sistema.

En base a observaciones y pláticas realizadas con los usuarios, durante la operación y manejo del sistema de riego por aspersion, se pudo detectar una serie de problemas que afectan la operación y mantenimiento del sistema. Entre estos se pueden mencionar los siguientes:

- Carecen de un reglamento interno para un mejor uso y manejo del agua.
- Poseen poca asistencia técnica en aspectos de riego y cultivos.
- No poseen manuales de operación y mantenimiento. Esta situación hace que el agricultor tenga un desconocimiento completo de como operar y mantener adecuadamente sus materiales y equipo de riego.
- Se realizan ampliaciones en el sistema sin consulta técnica.-

- Se presentan altos costos de energía eléctrica al operar el sistema.
- Esta situación está provocando en los usuarios una incertidumbre, en cuanto a seguir produciendo sus hortalizas bajo condiciones de riego.
- Falta de Accesorios y obras de infraestructura. Tal es el caso de un desarenador, válvulas de aire, reguladores de presión, manómetro.
- Incapacidad económica del grupo de agricultores para afrontar fallas en los equipos. Esta situación hace que los usuarios no estén en capacidad de poder chequear su equipo de bombeo.
- Cambio del sistema de riego. Del tipo semi-móvil, los usuarios lo transformaron en un sistema fijo.
- Falta de organización, orden, experiencia y participación de todos los usuarios en la solución de los problemas prioritarios de su sistema.

6.10 Discusión de Resultados:

Uno de los elementos importantes para llevar a cabo una evaluación del sistema de riego por aspersión CHACAYA, Santiago Sacatepéquez, fue evaluar las características agronómicas y técnicas dentro del sistema que se tiene actualmente. En base a los resultados obtenidos podemos inferir, en primer lugar la metodología planteada cumple satisfactoriamente para las condiciones del sistema y a la vez los procedimientos planteados son aceptables para llevar una evaluación. Para una mejor representatividad de la evaluación, para medir las diferentes eficiencias se tomaron 4 parcelas de prueba en todo el sistema, cubriendo un área distinta cada una.

Los valores de intensidad de riego e infiltración

básica, indican que no existen encharcamientos dentro de las parcelas, debido a que la "intensidad" de riego (0.7155 cms/hrs) es menor que la infiltración básica (1.1462 cms/hr). La lámina neta aplicada en promedio (lámina almacenada en la zona radicular) en las 4 parcelas de prueba fue de 3.1944 centímetros, ésta es menor que la lámina bruta de riego calculada, durante la operación del sistema, siendo este resultado de 4.2929 centímetros. Podemos inferir que el suelo está en capacidad de retener la cantidad de agua que es aplicada durante el tiempo de riego, que para el sistema son 6 horas.

Ahora bien, se pudo constatar que el agricultor no está aplicando la cantidad de agua necesaria a su cultivo; ya que para llegar a capacidad de campo sus parcelas se requiere de la aplicación de una lámina promedio de 4.2062 centímetros (LR) y actualmente únicamente llegan al suelo un promedio de 3.1944 centímetros. (Aa) Esto es fácilmente comprensible, ya que el agricultor está aplicando una lámina bruta de 4.2929 centímetros en la operación actual del sistema; requiriéndose para una aplicación adecuada del riego de una lámina bruta de 5.6032 centímetros, esto, siempre y cuando se mantengan las condiciones actuales de operación con un tiempo de 6 horas de riego.

La lámina almacenada en la zona radicular no se presenta uniforme para todo el sistema de riego, como tampoco son uniformes en algunos sectores las presiones, caudales y distanciamiento entre aspersores. Esta problemática tiene sus orígenes en las instalaciones de tuberías hechas por los propios agricultores sin ningún consentimiento técnico, lo cual hace imposible hacer un control efectivo sobre la lámina neta requerida para llevar a capacidad de campo los suelos del sistema.

Los valores de coeficiente de uniformidad, evaluados

en las 4 parcelas, se estableció que únicamente la parcela No. 4 no se encuentra dentro del rango que debe ser mayor del 80%, la velocidad del viento, la topografía del terreno y la pulverización muy fuerte de la gota de agua de los aspersores fueron los factores principales que incidieron en una uniformidad muy baja en dicha parcela. En términos generales se puede decir, que el coeficiente de uniformidad para el sistema en estudio, se considera adecuado, ya que el promedio del mismo fue de 80.5386%. Además se puede decir, que a pesar de existir diferentes patrones de espaciamientos entre aspersores dentro del sistema, éstos se consideran adecuados.

De acuerdo con lo anterior, se pudo establecer que la lámina almacenada en la zona radicular, constituye el principal problema en la operación del presente sistema de riego, en tal sentido, es urgente solucionar dicha problemática, tomando en cuenta las condiciones económicas y el nivel técnico alcanzado por los usuarios del proyecto.

La eficiencia de aplicación en un sistema de riego por aspersion se encuentra entre un 65% y 75% para considerarla adecuada al sistema y en el presente estudio se reporta que la eficiencia de aplicación fue de 75.0672%, por lo tanto se considera adecuada, conceptualizando que el agricultor a pesar de que no está aplicando la lámina necesaria al cultivo, tiene habilidad para regar su parcela sin mayores desperdicios de agua.

Con estos datos se puede decir que el agricultor o usuario desconoce que dentro del sistema no se están aplicando las horas adecuadas de riego y que las pérdidas por percolación son mínimas, ya que si disminuyera la eficiencia de aplicación se tendrían mayores pérdidas de agua por percolación. En un sistema por bombeo se debe evitar en todo lo posible la existencia de eficiencia de

aplicación muy bajas, ya que los fuertes desperdicios de agua únicamente vienen a aumentar los costos de producción de los agricultores, debido a que cada metro cúbico de agua bombeada posee un valor monetario y la existencia de mucha humedad en el suelo provoca una mayor incidencia de enfermedades fungosas en los cultivos.

En base a los resultados obtenidos de las láminas mínimas promedios y láminas medidas promedio recolectadas, se presenta que la uniformidad de distribución para el sistema fue de 73.2698%. A pesar que el agricultor no alcanza a aplicar la lámina neta en el sistema, su manejo a nivel del suelo es adecuado.

En lo que respecta al equipo de bombeo, se determinó que la eficiencia de operación del mismo es de 36,6901%. Esta eficiencia nunca es recomendable en equipos de bombeo en operación, ya que representan altos consumos de energía eléctrica; lo cual viene a aumentar significativamente los costos de producción de los usuarios del sistema. Si hacemos un análisis de esta situación, tenemos que el equipo de bombeo necesita actualmente de una potencia de entrada de 59,1080 (MHP) y solamente necesita de 21.7046 (WHP) de potencia para impulsar el flujo a presión por todo el sistema, esto significa que se están dando demasiadas pérdidas de potencia en dicho equipo, lo cual se refleja en su eficiencia actual de operación.

Ahora bien, para comprender algunos otros aspectos referentes al equipo de bombeo es necesario mencionar que cada bomba del sistema es de 25 HP, con impulsores de 7 pulgadas. Estas bombas están distribuidas en serie a todo lo largo del sistema (ver figura No. 2 del apéndice), y en su conjunto suman 75 HP en todo el sistema. Si observamos las curvas características de dichas bombas (ver figura No. 4 del apéndice) podemos

darnos cuenta que a una carga de 200 pies (carga dinámica total por bomba) y a un caudal de 145 galones por minuto, el sistema operaría teóricamente a una eficiencia del 53%, necesitándose únicamente 15 HP para desarrollar el trabajo necesario. Un buen equipo de bombeo es aquel que opera en el campo con un mínimo del 66% de eficiencia en su punto máximo de operación.

Con lo expuesto anteriormente, el equipo instalado, es un equipo que opera a baja eficiencia y la falta de cuidado y mantenimiento ha influido en que esta eficiencia baje aún más con las consecuencias que actualmente están a la vista. (exagerados costos de energía eléctrica).

La eficiencia del equipo de bombeo constituye otro problema de importancia detectado en el presente estudio y como tal, deberá ponerse mucha atención con el fin de mejorar el funcionamiento del mismo, tomando en cuenta como se dijo anteriormente el nivel económico y técnico de los usuarios del proyecto.

En lo que respecta a la eficiencia de utilización o agronómica, se estableció un valor de 0.4675 para todo el sistema. Este valor es un indicador de que el agricultor presenta problemas con el agua infiltrada en el perfil del suelo, la cual debe estar en condiciones de ser evapotranspirada por los cultivos. Los valores de eficiencias de utilización, se hacen menores cuando las pérdidas de agua aumentan dentro del sistema, y se complican aun más cuando la aplicación de las láminas de agua se hacen de manera inadecuada.

7. CONCLUSIONES

1. La eficiencia de utilización del sistema de riego "Chacayá", Santiago Sacatepéquez, es del 47%; integrado por el producto de las eficiencias de aplicación (75.06%), almacenamiento (77.69%) y distribución (80.53%).
2. Existen aspectos evaluados dentro del proyecto que se consideran adecuados dentro de la operación actual del sistema, tal es el caso del coeficiente uniformidad 80.5380%, uniformidad de distribución 73.2698% y eficiencia de aplicación. 75.0672%. Estos valores nos indican que existe un manejo adecuado del agua en todas las parcelas del proyecto.
3. Actualmente dentro del sistema, se está aplicando una lámina de 3.1944 centímetros (Lámina almacenada en la zona radicular) y la lámina requerida o lámina neta de reposición es de 4.2062 centímetros. Lo anterior constituye el principal problema en la operación del presente sistema de riego, y nos indica que en el proyecto no se están aplicando las láminas adecuadamente, según los requerimientos del suelo y los cultivos bajo riego.
4. El crecimiento y producción de arveja china, está siendo afectado por la falta de una adecuada aplicación del agua, esta es una de las razones por las cuales dicho cultivo presenta una floración prematura en ciertos sectores del proyecto.
5. Las mayores pérdidas de agua que se están dando dentro del sistema, son por evaporación en el ambiente, ya que el agricultor tiene la costumbre de pulverizar demasiado la gota de agua del aspersor.

6. La eficiencia del equipo de bombeo constituye otro problema detectado en la operación del presente sistema de riego. Actualmente dicho equipo de bombeo opera en el campo a una eficiencia del 36.690%, una eficiencia no recomendable para nuestro medio, debido a que se dan altos consumos de energía eléctrica, cuyo costo es bastante significativo y problemático para el usuario del sistema.
7. No se hizo una adecuada selección del equipo de bombeo en términos de carga y eficiencia, por tal razón existe un sobredimensionamiento del mismo. (75 HP)
8. Las instalaciones hechas en el sistema, el manejo inadecuado de diámetro de tuberías a nivel secundario y parcelario, la falta de mantenimiento y un calendario de riegos elaborado técnicamente, ha contribuido de una manera significativa en la baja de eficiencia del equipo de bombeo.
9. El poco cuidado del sistema, de asistencia técnica por parte de DIGESA y de organización entre los agricultores, está complicando aún más los problemas de operación del sistema de riego.

8. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios concretos que relacionen los costos-beneficios que se obtendrían al cambiar el equipo de bombeo que actualmente opera en el sistema.
2. Solucionar la problemática existente dentro del sistema de riego, tomando en cuenta las condiciones económicas y técnicas alcanzadas por los usuarios del proyecto. Una primera solución es la de efectuar un rediseño del sistema de riego, el cual involucra la selección de un nuevo equipo de bombeo que opere en el campo a una mayor eficiencia, la selección de diámetros de tuberías adecuadas al sistema, con el fin de disminuir cargas, costos de operación por consumos de energía eléctrica, uniformizar caudales, presiones y distanciamientos entre aspersores. Esto ayudará al agricultor a manejar adecuadamente la aplicación de las láminas de agua a nivel de parcelas, con el fin de obtener un crecimiento y rendimiento adecuado de sus cultivos bajo riego.

Si no es posible realizar cambios dentro del sistema, por efecto de un nuevo diseño, la solución será aumentar el número de horas de riego (8 horas) o bien se tendrá que reducir el número de aspersores trabajando simultáneamente, donde el agricultor regará su parcela en los turnos de riego necesarios con el fin de poder alcanzar el caudal y presiones adecuadas dentro del sistema. Para lo anterior es necesario chequear el equipo de bombeo existente lo más antes posible, con el fin de garantizar su funcionamiento durante la época de riego, haciéndose necesario también darle el mantenimiento adecuado con el fin de alargar su vida útil.

3. La Dirección General de Servicios Agrícolas, DIGESA, deberá elaborar un manual de operación y mantenimiento para el sistema. Esto contribuirá a que el usuario conozca los lineamientos necesarios para el mejor funcionamiento de su sistema.
4. Es urgente construir un tanque desarenador en el sistema, con el fin de evitar el bombeo de arenas, que únicamente vienen a perjudicar el funcionamiento y rendimiento del equipo.
5. Los usuarios del riego deben tener una mayor organización y contar con un reglamento interno, que regule el uso del agua, establecer derechos y obligaciones tanto para los integrantes del comité como a los usuarios, con esto se logrará mejorar el funcionamiento del sistema.
6. Efectuar aforos constantes en la fuente de agua para determinar la cantidad de agua disponible.
7. Realizar estudios sobre frecuencias de riego en los diferentes cultivos que se encuentran bajo riego y llevar a cabo registros agronómicos del suelo y rendimientos, por ser estos de importancia para la exportación.
8. Evitar pulverizar demasiado la gota de agua a través del graduador de gota del aspersor, lo cual evitará mayores pérdidas de agua dentro del sistema.

BIBLIOGRAFIA

1. CABRERA CRUZ, R.O. 1984. Estudio y diseño para la implementación de riego por aspersión en la aldea Los Tecomates, Palencia, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 72 P.
2. CISNEROS, C. 1986. Principios de riego; cuánto regar. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. v.1, 32 p.
3. COLACO, C.J. 1979. Evaluación del método de riego por aspersión basado en patrones de aplicación. Tesis de Mag. Sc. en riego México D.F., Universidad Autónoma de México. 104 p.
4. DIAZ DEL VALLE, M.T. 1983. Evaluaciones de las unidades de miniriego por aspersión en Pueblo Viejo y Quiajolá, San Sebastián, Huehuetenango, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 84 p.
5. DISKIN, M.H.; BENAMI, A. 1965. Design sprinkler irrigation technion. Logan Utah, Utah State University, Department of agricultural and Irrigation Engineering. 615 p.
6. GARCIA, J. 1975. Instructivo para la determinación de la infiltración básica y la capacidad de infiltración del suelo. Chapíngo, México, Escuela Nacional de Agricultura. 44 p.
7. GONZALES, O. 1988. Diagnóstico de la situación del riego, objetivos, estrategias y políticas. Guatemala. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. v.1. 23 p.
8. GRASSI, C.J. 1978. Estimación de los usos consuntivos, requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Mérida, Venezuela, Centro Internacional de Desarrollo de Aguas y Tierras. 93 p.
9. -----, 1988. Manual de riego por aspersión. 2 ed. Mérida, Venezuela, Centro Internacional de aguas y Tierras. 160 p.
10. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLAS. 1989. Diseño de riego por aspersión y análisis económico de los proyectos de riego del altiplano. Guatemala, DIGESA. Memorandum Técnico No. 4. 25 p.

11. GUATEMALA. DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO. 1991. Plan Maestro de riego y drenaje. Guatemala. v.3. 70 p.
12. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Tarjetas de registro climático de 1977-1989, de la estación meteorológica Suiza Contenta. Guatemala.
Sin publicar.
13. HUERTAS, I. 1978. El buen uso y manejo del agua de riego; segunda parte. México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 175 p.
14. ISRAELSEN, O.; HANSEN, V. 1975. Principios y aplicaciones de riego. 2 ed. Trad. por Alberto García. Barcelona, España, Reverte. 396 p.
15. MERRIAN, J.L.; KELLER, J. 1978. Farm irrigation system evaluation a guide for management. California, EE.UU., Departament of Agricultural and Irrigation Engineering. 250 p.
16. OVALLE H., J.A. 1986. Diagnóstico sobre la eficiencia de riego en la Unidad Catarina, San Marcos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. 55 p.
17. SANCHEZ T., G.A. 1989. Diagnóstico de la eficiencia de riego en la Unidad Atescatempa, Jutiapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 84 p.
18. SANDOVAL ILLESCAS, J.E. 1977. Diseño de dos sistemas de riego (aspersión y goteo) para el campo experimental de la Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 72 p.
19. -----, 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p.
20. SIMMONS, Ch.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. José Pineda Ibarra. 1000 p.

P. Ovalle

Vo. Bo.



CUADRO No. 12
 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y CONSTANTES DE HUMEDAD
 CHACAYA, SANTIAGO SACATEPÉQUEZ

No. muestra	Prof. Estado	Textura del suelo	Humedad Equivalente		Peso seco
			1/2 día (w)	12 días (w)	
1	0-20	L. ar.	23.81	10.06	1.2288
	20-40	L. ar.	22.25	9.64	1.2151
	40-60	L. ar.	22.18	11.81	1.2611
2	0-20	L. ar.	26.19	8.22	1.4388
	20-40	L. ar.	22.81	8.11	1.4132
	40-60	F. arc. ar.	26.27	10.81	1.2192
3	0-20	F. arc. ar.	27.21	12.70	1.2021
	20-40	F. arc. ar.	27.21	10.18	1.2614
	40-60	F. arc. ar.	26.42	10.92	1.2672
4	0-20	L.	22.21	12.00	1.2912
	20-40	F. arc. ar.	24.26	14.99	1.2821
	40-60	L.	26.26	13.92	1.2462

10. APENDICE

Fuente: Laboratorio de suelos de la DIRYA, 1992.

F. : Franco
 F. ar. : Franco arenoso
 F. arc. ar. : Franco arcilloso arenoso
 P. : Contenido de humedad en base a peso seco.

CUADRO No. 15

CARACTERISTICAS FISICAS Y CONSTANTES DE HUMEDAD
CHACAYA, SANTIAGO SACATEPEQUEZ>

No. Parcela	Prof. Estrato	Textura del suelo	Humedad Equivalente		Densidad Apar. gr/cc
			1/3 Atm. (Ps)	15 Atm. (Ps)	
1	0-20	F. Ar.	23.61	10.06	1.3580
	20-40	F. Ar.	22.35	9.64	1.3123
	40-60	F. Ar.	22.18	11.83	1.3072
2	0-20	F.Ar.	26.19	8.55	1.4368
	20-40	F.Ar.	25.67	8.71	1.3435
	40-60	F.Arc.Ar.	28.57	10.81	1.3192
3	0-20	F.Arc.Ar.	26.50	15.70	1.3821
	20-40	F.Arc.Ar.	27.31	18.18	1.3413
	40-60	F.Arc.Ar.	28.62	18.93	1.3392
4	0-20	F.	25.57	15.00	1.3967
	20-40	F.Arc.Ar.	24.26	14.99	1.3553
	40-60	F.	28.28	17.95	1.3342

Fuente: Laboratorio de suelos de la DIRYA. 1993.

F.: Franco

F.Ar.: Franco Arenoso

F.Arc.Ar.: Franco Arcilloso arenoso

Ps. Contenido de humedad en base a peso seco.

CUADRO No. 16

CONTENIDOS DE HUMEDAD EXISTENTES EN EL SUELO
ANTES DEL RIEGO (PSa)

No. Parcela	Prof. Estrato	PSH (grs)	PSS (grs)	PSa (%)
1	0-20	104.70	90.70	15.4355
	20-40	98.50	82.50	19.3939
	40-60	97.00	83.00	16.8675
2	0-20	105.20	88.20	19.2744
	20-40	100.50	83.50	20.3593
	40-60	82.70	66.70	23.9880
3	0-20	106.70	88.70	20.2931
	20-40	102.80	83.80	22.9730
	40-60	91.00	74.00	22.9730
4	0-20	96.20	80.70	19.2069
	20-40	84.70	69.70	21.5208
	40-60	96.70	77.20	25.2591

CUADRO No. 17

CONTENIDOS DE HUMEDAD EXISTENTES EN EL SUELO
DESPUES DEL RIEGO/(PSd)

No. Parcela	Prof. Estrato	PSH(grs)	PSS(grs)	PSa(%)
1	0-20	94.70	77.40	22.3514
	20-40	84.70	69.50	21.8705
	40-60	87.40	71.90	21.5577
	0-20	81.65	65.80	24.0881
	20-40	102.74	83.30	23.3373
	40-60	83.63	66.70	25.3823
	0-20	86.40	68.70	25.0764
	20-40	99.20	78.60	26.2087
	40-60	84.85	67.70	25.3323
	0-20	93.70	74.00	26.6216
	20-40	90.50	72.50	24.8276
	40-60	74.40	58.10	28.0551

CUADRO 18

VOLUMEN COLECTADO EN CENTIMETROS CUBICOS DURANTE LA PRUEBA DE EVALUACION, CHACAYA, SANTIAGO SACATEPEQUEZ.

Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
278*	113*	130	186
162*	120*	110*	360*
137*	129	164	134
145	91	123	281*
151*	115*	119	211
176*	98	94	163
129*	115	111	83
221	127*	106*	120*
127	145*	95	113
113	82	110*	331*
213	117	100*	115
169	136*	95	168*
134	74*	109	149
120	84	96	192
150*	97	78*	121
130*	113	113*	146*
151	63	128*	184
163	125*	125	130
145	98	118*	480*
133*	84	93*	154*
155*	72	111	132
120	77	103	104*
93	116*	100	202*
92	97	101	151*
114	62	110	170
161	63	160	172
149	92	104	175
114	92	86	141
190	80	90	144
181	72*	139	171

Areas recipientes: 84.9489 cms2= *
73.8983

CUADRO No. 19

LAMINAS RECOLECTADAS EN LAS PARCELAS (cms)
CHACAYA, SANTIAGO SACATEPQUEZ.

Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
3.2726	1.3302	1.7592	2.5170
1.9070	1.4126	1.1949	4.2378
1.6127	1.7456	2.2193	1.8133
1.9622	1.2314	1.4479	3.3196
1.7775	1.3538	1.6103	2.8553
2.0718	1.3261	1.2720	2.2057
1.5186	1.4209	1.5021	1.1232
2.9906	1.4950	1.2478	1.4126
1.7186	1.7069	1.2856	1.5291
1.5291	1.1096	1.2949	3.8965
2.8823	1.5833	1.7772	1.5562
2.2869	1.6010	1.1183	1.9777
1.8133	0.8711	1.4750	2.0163
1.6239	1.1367	1.2991	2.5982
1.7658	1.3126	0.9182	1.6374
1.5303	1.5291	1.3302	1.9757
2.0433	0.8525	1.5068	2.4899
2.2057	1.4715	1.4244	1.7592
1.9622	1.3261	1.3891	5.6505
1.5656	1.1367	1.0948	1.8129
1.8246	0.9743	1.5021	1.5539
1.6239	1.0420	1.3938	1.2243
1.2585	1.3655	1.3532	2.3779
1.2450	1.3126	1.3667	1.7775
1.5427	0.8390	1.4885	2.3817
2.1787	0.8525	2.1651	2.3275
2.0163	1.2450	1.4073	2.3681
1.5427	1.2450	1.1638	1,9080
2.6711	0.9417	1.2179	1,9486
2.1307	0.8476	1.8810	2,3140
Total 57.9750	37.6170	42.6065	68.5656
MEDIA 1,9325	1,2539	1,4202	2,2855

Radiación extraterrestre, expresada como evaporación
equivalente en mm/día.

Latitud	Hemisferio Norte											
	Jan.	Feb.	Marzo	Abril	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
50°	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48	4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7
46	4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6
34	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32	8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8
30	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3
28	9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8
26	9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3
24	10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7
22	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
4	14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Tabla No 1

Cuadro No 20

Cultivo	Crop Development stages					Todo el periodo
	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Cosecha	
Banano						
trópico	0.4 -0.5	0.7 -0.85	1.0 -1.1	0.9 -1.0	0.75-0.85	0.7 -0.8
subtrópico	0.5 -0.65	0.8 -0.9	1.0 -1.2	1.0 -1.15	1.0 -1.15	0.85-0.95
Fríjol						
Verde	0.3 -0.4	0.65-0.75	0.95-1.05	0.9 -0.95	0.85-0.95	0.85-0.9
Seco	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.25-0.3	0.7 -0.8
Repollo	0.4 -0.5	0.7 -0.8	0.95-1.1	0.9 -1.0	0.8 -0.95	0.7 -0.8
Algodón	0.4 -0.5	0.7 -0.8	1.05-1.25	0.8 -0.9	0.65-0.7	0.8 -0.9
Uvas	0.35-0.55	0.6 -0.8	0.7 -0.9	0.6 -0.8	0.55-0.7	0.55-0.75
Maní	0.4 -0.5	0.7 -0.8	0.95-1.1	0.75-0.85	0.55-0.6	0.75-0.8
Maíz						
dulce	0.3 -0.5	0.7 -0.9	1.05-1.2	1.0 -1.15	0.95-1.1	0.8 -0.95
grano	0.3 -0.5*	0.7 -0.85*	1.05-1.2*	0.8 -0.95	0.55-0.6*	0.75-0.9*
Ajo						
seco	0.4 -0.6	0.7 -0.8	0.95-1.1	0.85-0.9	0.75-0.85	0.8 -0.9
verde	0.4 -0.6	0.6 -0.75	0.95-1.05	0.95-1.05	0.95-1.05	0.65-0.8
Arverja						
verde	0.4 -0.5	0.7 -0.85	1.05-1.2	1.0 -1.15	0.95-1.1	0.8 -0.95
Pimentón						
verde	0.3 -0.4	0.6 -0.75	0.95-1.1	0.85-1.0	0.8 -0.9	0.7 -0.8
Papas	1.1 -1.15	1.1 -1.5	1.1 -1.3	0.95-1.05	0.95-1.05	1.05-1.2
Arroz	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.65-0.7	0.2 -0.25	0.65-0.7
Azafrán	0.3 -0.4	0.7 -0.75	1.0 -1.15	0.75-0.8	0.5 -0.55	0.75-0.85
Sorgo	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.0 -1.15	0.7 -0.8	0.4 -0.5	0.75-0.9
Soya	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.0 -1.15	0.7 -0.8	0.4 -0.5	0.75-0.9
Remolacha	0.4 -0.5	0.75-0.85	1.05-1.2	0.9 -1.0	0.6 -0.7	0.8 -0.9
azúcarera	0.4 -0.5	0.7 -1.0	1.0 -1.3	0.75-0.8	0.5 -0.6	0.85-1.05
Caña de						
azúcar	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.7 -0.8	0.35-0.45	0.75-0.85
Girasol	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.0 -1.2	0.9 -1.0	0.75-0.85	0.85-0.95
Tabaco	0.4 -0.5	0.7 -0.8	1.05-1.25	0.8 -0.95	0.6 -0.65	0.75-0.9
Tomate	0.4 -0.5	0.7 -0.8	0.95-1.05	0.8 -0.9	0.65-0.75	0.75-0.85
Melón	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.2 -0.25	0.8 -0.9
Trigo	0.3 -0.4	0.7 -0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.2 -0.25	0.8 -0.9
Alfalfa	0.3 -0.4				1.05-1.2	0.85-1.05
Cítricos						
sin malezas						0.65-0.75
con malezas						0.85-0.9
Aceituna						0.4 -0.6

Primer Valor: Altura Humedad relativa (Hr>77%) y poco viento (U<5 m/seg)

Segundo Valor: Bajo humedad relativa (HR<20%) y viento fuerte (>5m/seg)

Tomado del Departamento and Kassar (5).

CUADRO 21

**EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL
"CHACAYA"**

TEMPERATURA EN °C					
MES	MAXIMA	MINIMA	MEDIA	(mm/día)	ETP(mm)
ENERO	22.24	-2.20	10.68	12.1234	3.8350
FEBRERO	22.75	-0.10	11.25	13.3926	4.2885
MARZO	23.75	0.75	12.18	14.7617	4.8930
ABRIL	23.85	2.30	13.29	15.6309	5.1528
MAYO	23.40	4.05	13.48	15.8617	5.0591
JUNIO	22.39	4.72	12.94	15.7617	4.7781
JULIO	21.40	4.37	12.85	16.7617	4.5905
AGOSTO	21.70	4.85	12.98	15.7000	4.6062
SEPTIEMBRE	20.92	4.45	12.77	15.0309	4.2771
OCTURE	20.95	3.30	12.33	13.9612	4.0356
NOVIEMBRE	21.20	0.55	11.45	12.5234	3.7523
DICIEMBRE	22.27	-0.78	11.30	11.7234	3.6953

FUENTE: *Datos obtenidos de la Estación Meteorológica Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez.

** Datos obtenidos de la tabla No. 2 del apéndice.

CUADRO No. 22

DATOS CLIMATOLOGICOS, CHACAYA, SANTIAGO SACATEPEQUEZ

ESTACION: 16.11.1. NOMBRE: Suiza Contenta

ELEVACION: 2,105 Mts.

LATITUD: 90°39'30" LONGITUD: 14°37'01" AÑOS DE REGISTRO: 10

MES	TEMPERATURA		PRECIPITACION	EVAPORACION	
	MAXIMA	MINIMA	MEDIA	(mm/mes)	(mm)
ENERO	18.5667	4.4667	10.68	3.1310	68.27
FEBRERO	18.5000	4.0111	11.25	9.9400	64.18
MARZO	19.5333	5.1444	12.18	5.4808	82.18
ABRIL	19.9000	6.1111	13.29	11.5110	75.03
MAYO	20.4375	7.6250	13.48	105.3814	69.59
JUNIO	18.2714	7.9571	12.94	182.4330	55.52
JULIO	18.9000	8.4625	12.85	169.4894	55.72
AGOSTO	18.6778	8.6222	12.98	211.0108	55.08
SEPTIEMBRE	17.2333	8.5556	12.77	257.7600	58.28
OCTUBRE	17.8300	7.1000	12.33	67.7412	55.03
NOVIEMBRE	17.7556	6.1444	11.45	9.9300	43.52
DICIEMBRE	18.5143	5.6429	11.30	1.0013	43.61

FUENTE: Registro de datos climatológicos de la Estación meteorología Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez.

FIGURA No. 1

UBICACION DE BOMBAS Y PARCELAS DE PRUEBA...

PROYECTO CHACAYA.

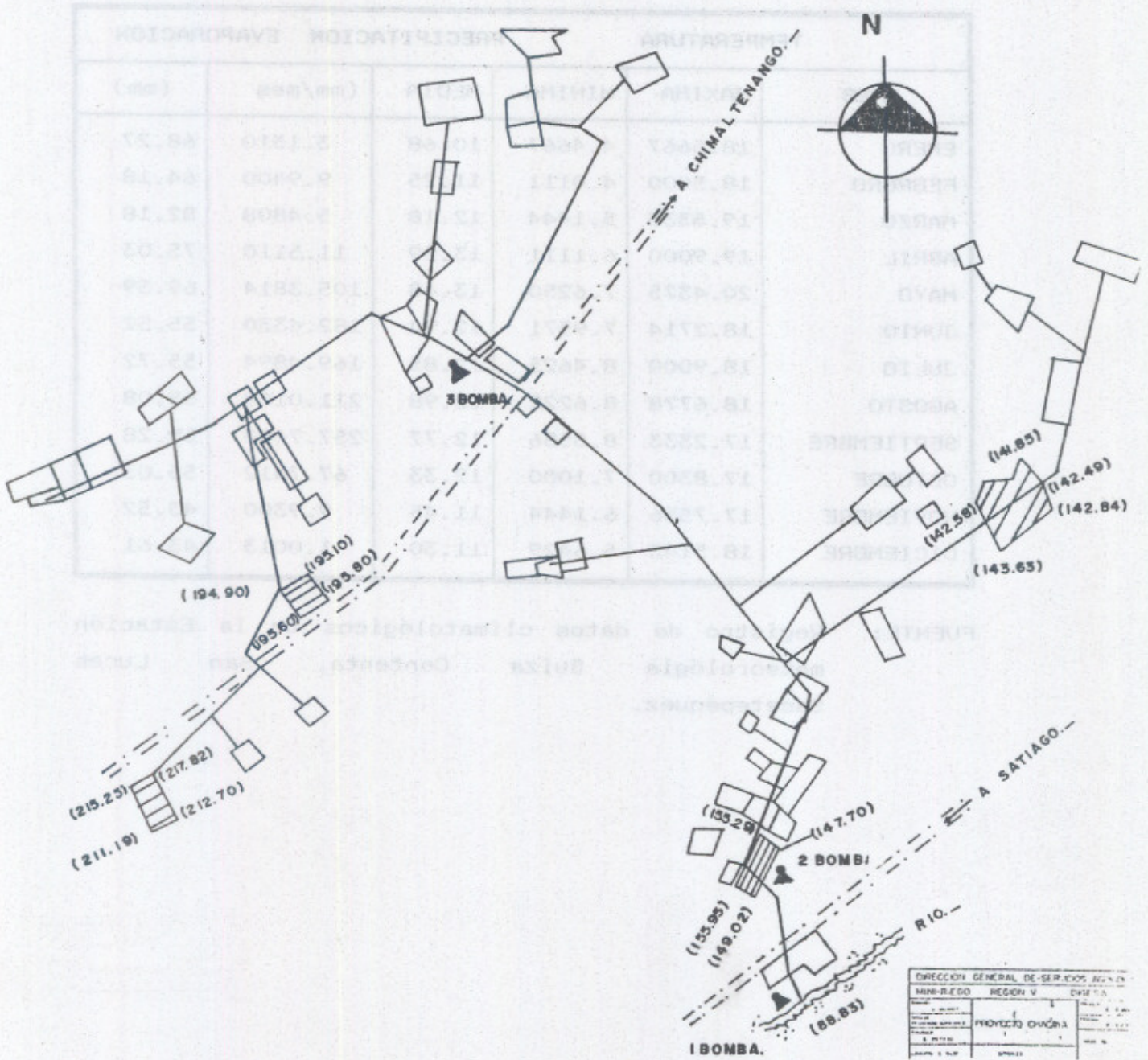
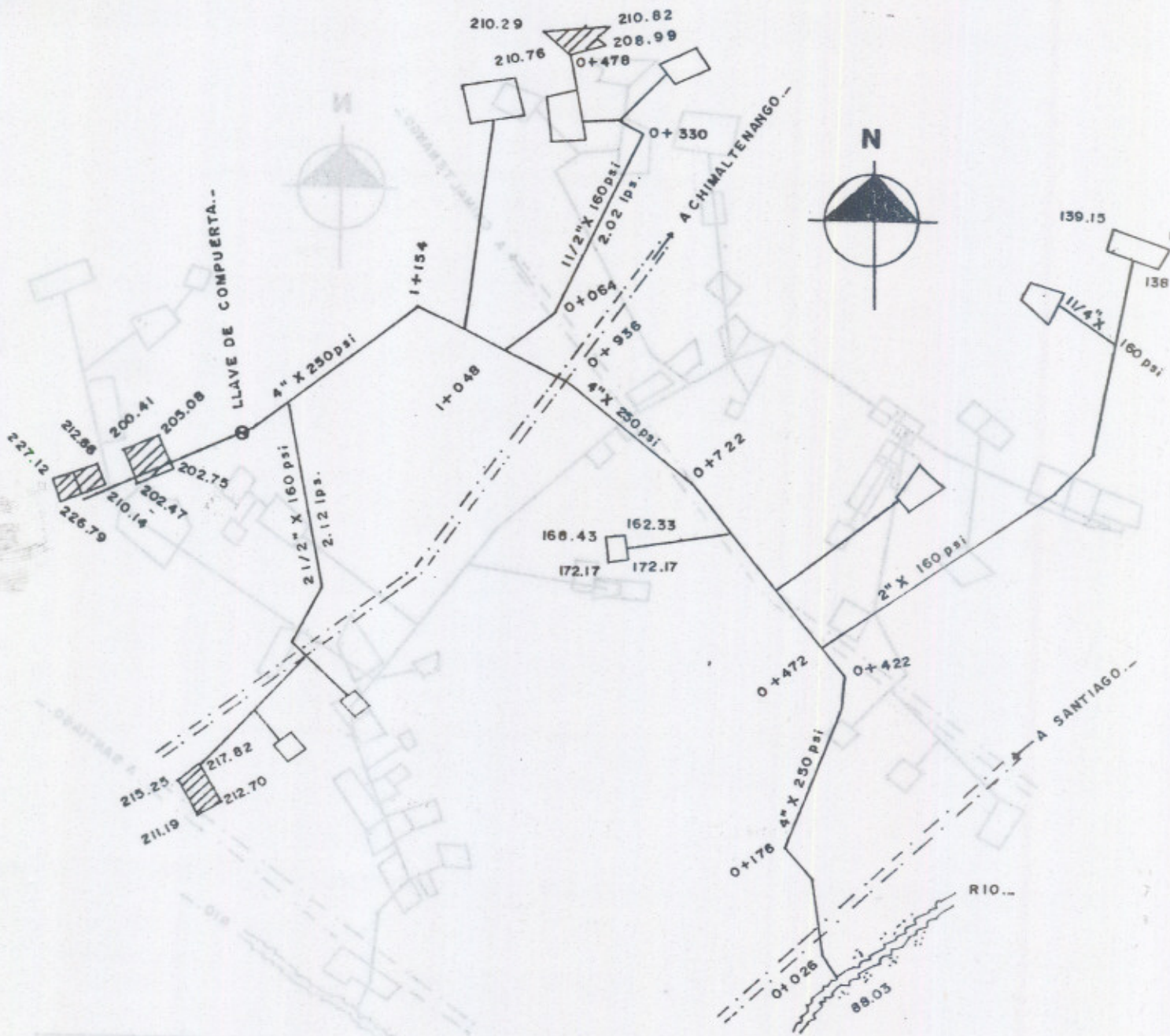


FIGURA No. 2

PARCELAS CRITICAS DEL SISTEMA.

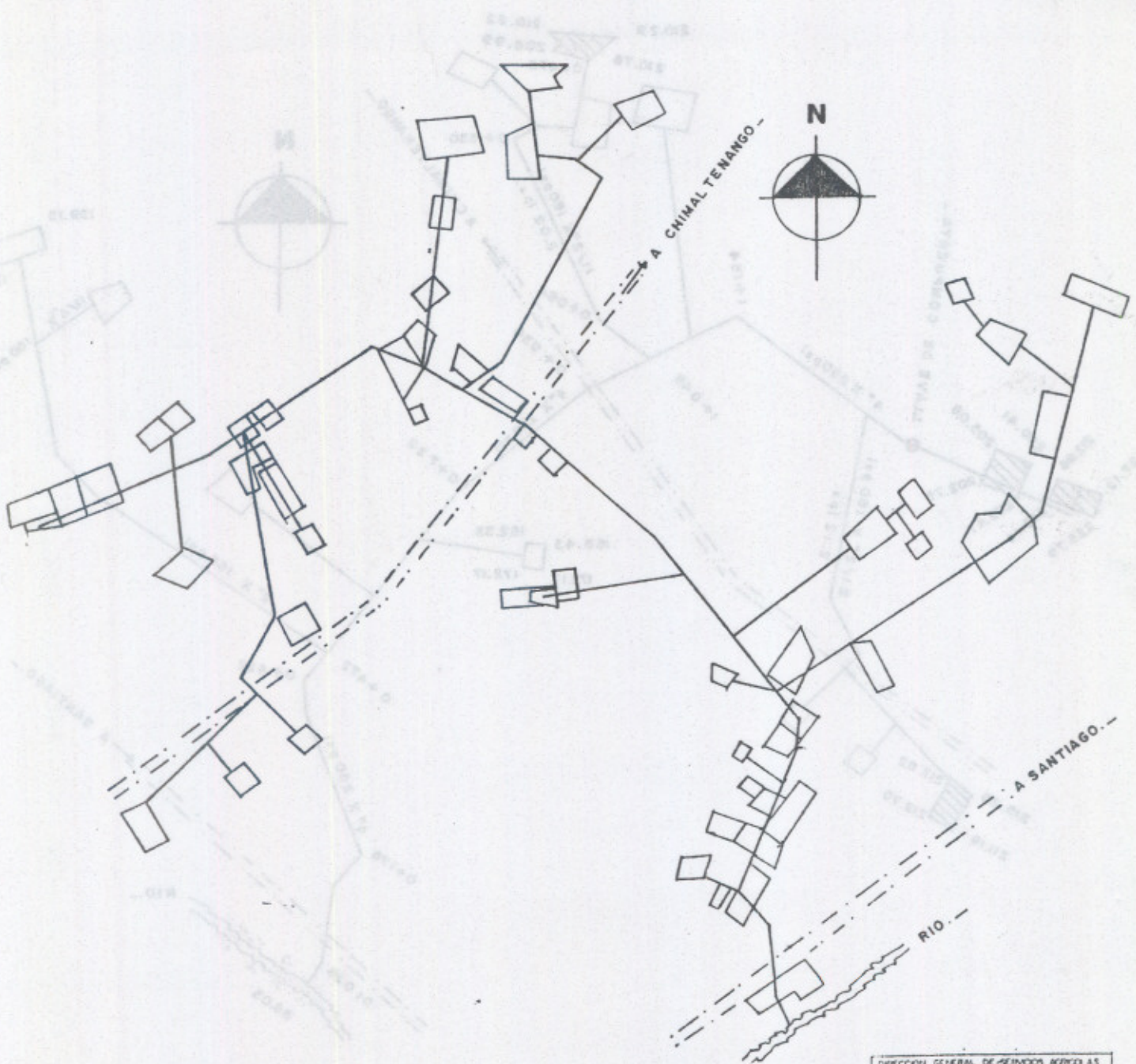


PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 Biblioteca Central

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLAS		
MANO BREGO	REGION V	DIGESA
PROYECTO	PROYECTO CHANCHA	FECHA
ELABORADO POR	PROYECTO CHANCHA	FECHA
REVISADO POR		

FIGURA No. 3

PLANO GENERAL DEL AREA DE RIEGO, CHACAYA, SANTIAGO SACATEPEQUEZ...




DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS AGRICOLAS		
MIRA-RIEGO	REGION V	DIGESA
PROYECTO CHACAYA		

UNIDAD DE SERVICIOS AGRICOLAS DE FORTALEZA
Biblioteca Central

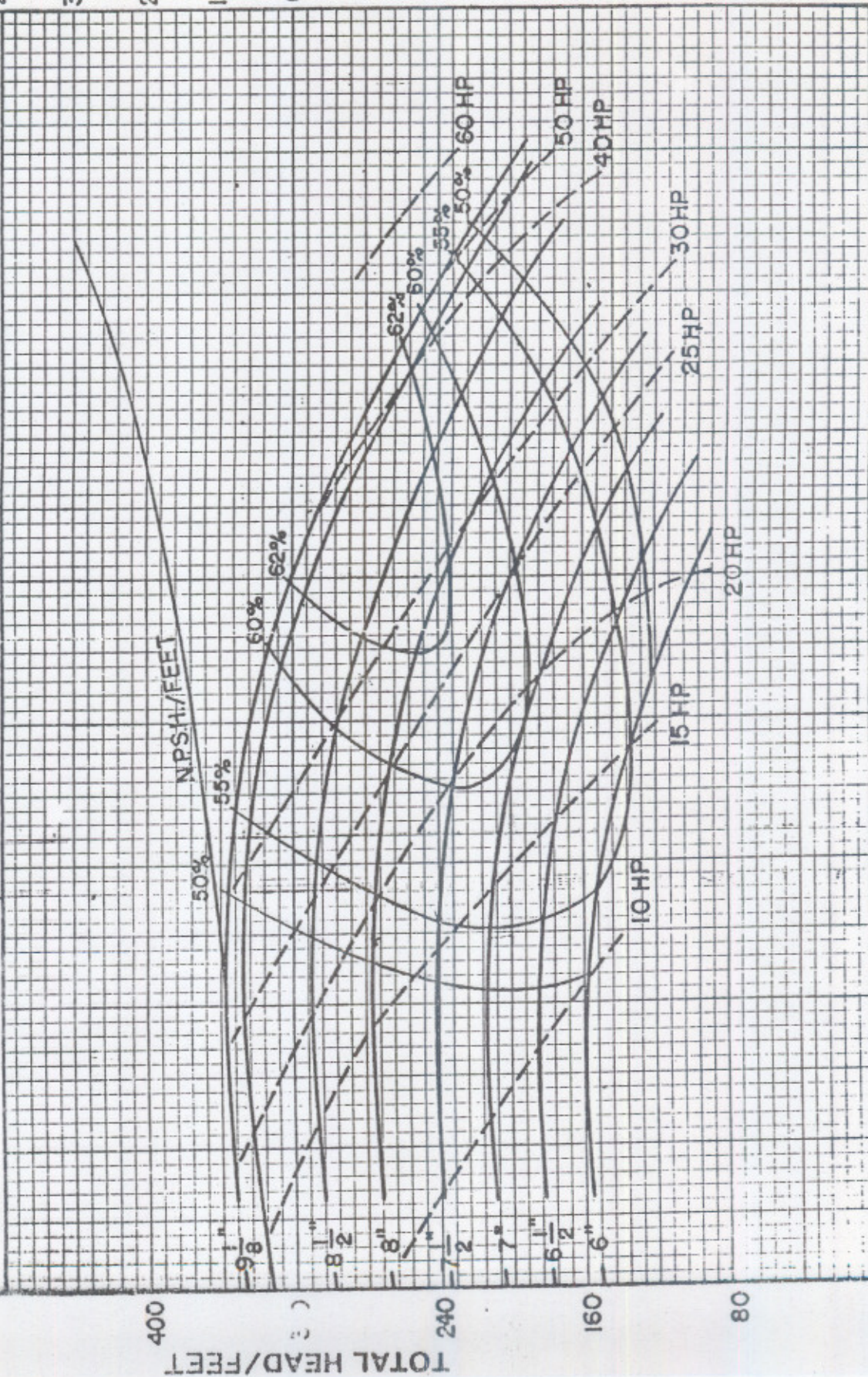
N.P.S.H. REQUIRED/FEET

FIGURA No. 4
CURVAS CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS 79


STAIRITE INDUSTRIES, INC.
 Water Equipment Division
 203 SOUTH WRIGHT STREET / DELAVAN, WISCONSIN 53115 / U.S.A.

MODEL: "E" SERIES
SIZE: 2 1/2 X 3 X 9
RPM: 3500

IMPELLER NO: C5-210
 CURVE NO: C3007
 HP:



400
 300
 240
 160
 80
 0

0 60 120 180 240 300 360 420 480

TOTAL HEAD/FEET
 CAPACITY U.S. GPM



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

Sem. Sem.001-94

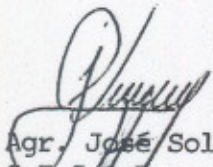
LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION "CHACAYA"
 SANTIAGO SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ".

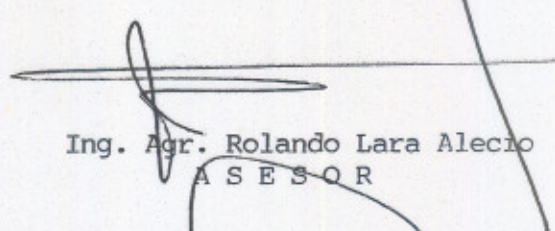
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MARCO BAUDILIO DE LEON ALONZO

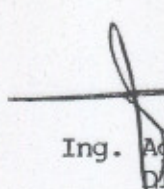
CARNET No: 56645

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Gustavo Méndez
 Ing. Agr. Francisco Mazariegos
 Ing. Agr. Miguel Morales Cayax

Los Aseores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cum-
 plido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la
 Universidad de San Carlos de Guatemala.

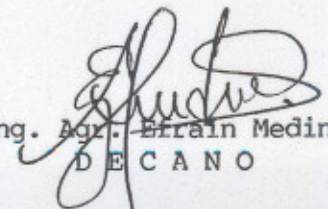

 Ing. Agr. José Solórzano
 ASESOR


 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
 ASESOR


 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
 DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E


 Ing. Agr. Efraín Medina Guerra
 DECANO



c.c.Control Académico
 Archivo
 /prr.



LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASERSIÓN "CHICAYA"
SANTIAGO SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: MARCO BAUILLO DE LEON ALONSO

CARNET No: 58642

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Gustavo Méndez
Ing. Agr. Francisco Martínez
Ing. Agr. Miguel Molas Casar

Los asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cum-
plido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. Rolando Lara Alejo
ASESOR

Ing. Agr. José Solórzano
ASESOR

Ing. Agr. Rolando Lara Alejo
DIRECTOR DEL IIA.
DIRECCIÓN

IMPRESA



Ing. Agr. Martín Medina
DECANO

C. Control Académico
Archivo
/per.