

**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Agronomía
Área Integrada
Ejercicio Profesional Supervisado**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR MINIASPERSIÓN PARA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*), DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN LA FINCA SAN NICOLÁS, DEL INGENIO MAGDALENA, EN EL PARCELAMIENTO LA MÁQUINA, CUYOTENANGO, GUATEMALA, C.A.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JUAN SEBASTIÁN PINTO GROTEWOLD

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

RECTOR MAGNÍFICO

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	DR. LAURIANO FIGUEROA
VOCAL I	ING. AGR. DR. ARIEL ABDERRAMAN ORTÍZ LÓPEZ
VOCAL II	ING. AGR. MSc. MARINO BARRIENTOS GARCÍA
VOCAL III	ING. AGR. MSc. OSCAR RENÉ LEIVA RUANO
VOCAL IV	BACHILLER LORENA CAROLINA FLORES PINEDA
VOCAL V	P. AGR. JOSUÉ ANTONIO FLORES PINEDA
SECRETARIO	ING. AGR. CARLOS ROBERTO ECHEVERRIA ESCOBEDO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

Guatemala, noviembre de 2011

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

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación: **DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR MINIASPERSIÓN PARA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*), DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN LA FINCA SAN NICOLÁS, DEL INGENIO MAGDALENA, EN EL PARCELAMIENTO LA MÁQUINA, CUYOTENANGO, GUATEMALA, C.A.** como requisito previo a optar el título de ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

JUAN SEBASTIÁN PINTO GROTEWOLD

TRABAJO DE GRADUACIÓN Y ACTO QUE DEDICO

A los tres tesoros más grandes y valiosos que Dios me ha dado: Isabella Sofía, Paula Ximena y Lisa Fernanda. Ustedes son la motivación que día a día me impulsa a continuar por el camino de la superación y que con solo verlas a los ojos me llenan de ganas de vivir. Gracias por la manera de quererme y darme tanta ternura en esos abrazos que me enseñan a apreciar la vida.

Te pido Dios mío, me permitas ser un ejemplo de padre, amigo y un buen guía para que mis chicas conduzcan sus vidas bajo tus mandamientos y enseñanzas. Espero que este logro sea de bendición y motivación para que puedan tener logros y satisfacciones que alegren sus vidas.

Las amo incondicionalmente y con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por darme la vida, la oportunidad de lograr esta meta, tantas alegrías y por ser la luz que siempre me acompaña. A ti sea toda la honra y la gloria.

A Mis padres;

María Eugenia Grotewold y Randolpho Pinto Minera:

Por el apoyo incondicional que siempre he tenido, por estar en las buenas y en las malas a mi lado, por el amor tan grande que he recibido. Los amo y este triunfo es para ustedes, misión cumplida.

A Mis abuelos;

Irma de Grotewold y Oscar Grotewold

Lidia Luz Vda. de Pinto y Carlos Alberto Pinto (†):

Por inculcarme tantos principios que hoy me permiten ser un hombre de bien, porque lo que soy se los debo a ustedes. Gracias por todo. Con mucho cariño y admiración.

A Mis hermanos;

Lissa María (†) y María Fernanda(†):

Por todo el amor y cariño que siempre me dieron, porque fueron unas hermanas y mujeres maravillosas. Sé que desde el cielo están brillando de felicidad por esta meta. Las extraño y amaré siempre.

Nathalie Ruth y Dominic:

Por el amor que me han dado siempre, por aguantarme tanto y espero que este logro sirva de motivación en sus vidas.

A la valiosa mujer, Gabriela Ortiz:

Por el apoyo que siempre he tenido, por esas palabras de aliento y sabiduría que Dios pone en ti, por ser parte de mi vida y sobre todo por esos tres mágicos tesoros que compartís conmigo.

A mi familia Pinto Grotewold:

Por el cariño incondicional que me han tenido siempre, el cual ha sido de compañía en momentos difíciles.

A todos mis amigos:

Que mencionarlos sería interminable, pero infinitas gracias por todo ese cariño y apoyo sincero que me han brindado y me ayudado tanto.

Al Ingenio Magdalena:

Por la oportunidad que me dieron de terminar mi preparación y permitirme ser parte de esa gran empresa. En especial al Ing. Efraín Morales, por enseñarme tanto en tan poco tiempo.

Al Departamento de Ingeniería Agrícola, IMSA:

Por ser un excelente equipo de trabajo y compartir conmigo esos conocimientos que me sirven de mucho para realizarme en el trabajo. Con especial agradecimiento al Ing. José Fernando Cabrera, por el apoyo, confianza y sobre todo esa amistad tan grande que se ha fortalecido en estos 13 años de compartir.

A mis casas de estudio; ENCA y FAUSAC:

Por todas las enseñanzas inculcadas que hoy en día me sirven para ser un ciudadano de progreso para mi querida Guatemala. En especial a todas y todos los catedráticos que compartieron día a día tantos conocimientos que me sirven de mucho para ganarme la vida. Bendiciones para ustedes. Agradezco también las finezas y apoyo de Astrid Tojín, Patricia Pretzancín y Verónica Archila.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
INDICE GENERAL.....	I
INDICE DE FIGURAS.....	V
INDICE DE CUADROS.....	VI
RESUMEN GENERAL.....	VII
CAPITULO I: Diagnóstico del Departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena S.A.....	1
1.1 Presentación.....	2
1.2 Marco Referencial.....	3
1.2.1 Ubicación Geográfica.....	3
1.2.2 Vías de Accesos.....	3
1.2.3 Condiciones Climáticas.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 General.....	4
1.3.2 Específicos.....	4
1.4 Metodología y Recursos.....	5
1.4.1 Definición del Estudio.....	5
1.4.2 Identificación de los Problemas.....	5
1.4.3 Recursos	5
1.4.4 Sistematización de la Información.....	5
1.5 Resultados.....	6
1.5.1 Reseña Histórica del Ingenio Magdalena.....	6
1.5.2 Departamento de Ingeniería Agrícola.....	8
1.5.3 Funciones del Departamento.....	9
1.5.4 Estructura Organizacional.....	9
1.5.5 Funciones y Atribuciones de los Principales puestos del Departamento Ingeniería Agrícola.....	10
1.5.5.1 Jefe de Ingeniería Agrícola.....	10
1.5.5.2 Jefe de Planificación de Fincas.....	10
1.5.5.3 Jefe de Diseño y Ejecución de Proyectos.....	10
1.5.5.4 Jefe de Drenaje Agrícola y Perforación de Pozos.....	11
1.5.5.5 Jefe de Evaluación y Desarrollo.....	11
1.5.5.6 Jefes de Proyectos Especiales.....	11
1.5.5.7 Área Cubierta por el Departamento de Ingeniería Agrícola.....	13
1.5.6 Recursos Utilizados en el Departamento de Ingeniería Agrícola.....	13
1.5.6.1 Recursos Físicos.....	13
Recursos	
1.5.6.2 Humanos.....	14
1.5.6.3 Horarios.....	14
1.5.6.4 Prestaciones Laborales.....	15
1.5.7 Principales Deficiencias Encontradas.....	16
1.6 Conclusiones y Recomendaciones.....	18
1.7 Bibliografía.....	19

CAPITULO II: Diseño del Sistema de Riego por Miniaspersión para Caña de Azúcar (<i>Saccharum spp.</i>) en la Finca San Nicolás, del Ingenio Magdalena en el Parcelamiento la Máquina, Cuyotenango	20
2.1 Presentación	21
2.2 Definición del Problema	23
2.3 Justificación	24
2.4 Marco Conceptual	25
2.4.1 Propiedades Físicas del Suelo que Condicionan la Retención de Agua.....	25
2.4.1.1 Textura.....	25
2.4.1.2 Densidad Aparente.....	25
2.4.1.3 Agua en el Suelo.....	26
2.4.1.4 Mecanismos de Retención de Humedad en el Suelo.....	26
2.4.2 Contenido de Humedad del Suelo.....	26
2.4.2.1 Saturación.....	26
2.4.2.2 Capacidad de Campo.....	26
2.4.2.3 Punto de Marchitez Permanente.....	27
2.4.2.4 Agua Disponible para las Plantas -agua aprovechable-.....	27
2.4.2.5 Déficit Permitido de Manejo.....	27
2.4.2.6 Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable -LARA-.....	29
2.4.3 Evapotranspiración.....	29
2.4.3.1 Conceptos de Evapotranspiración.....	30
2.4.4 Riego por Aspersión.....	30
2.4.4.1 Clasificaciones de los Sistemas de Riego por Aspersión.....	31
2.4.4.2 Diferencias Operativas y Financieras entre los Sistemas de Aspersión Tipo Cañones y Miniaspersión.....	34
2.4.4.3 Sistemas Semifijos con Ramales Móviles, Miniaspersión.....	34
2.4.4.4 Sistemas de Pivote Central.....	38
2.4.5 Unidades que Componen el Sistema.....	39
2.4.5.1 Grupo de Bombeo.....	39
2.4.5.2 Red Tuberías de Transporte.....	40
2.4.5.3 Emisores.....	41
2.4.5.4 Accesorios.....	42
2.4.5.5 Equipo de Control y Medida.....	43
2.4.5.6 Filtros.....	44
2.4.6 Diseño del Sistema de Riego.....	44
2.4.6.1 Información de Partida.....	44
2.4.6.2 Diseño Agronómico.....	45
2.4.6.3 Diseño Hidráulico.....	47
2.4.7 Caña de Azúcar (<i>Saccharum spp. L.</i>).....	54
2.4.7.1 Descripción de la Especie.....	54
2.4.7.2 Requerimiento de Agua en la Caña de Azúcar.....	54
2.4.7.3 Requerimientos Climáticos y Edáficos de la Caña de Azúcar.....	55
2.4.7.4 Sistema Radicular de la Caña de Azúcar.....	55
2.4.7.5 Zona Radicular de Diseño.....	56
2.5 Marco Referencial	57
2.5.1 Antecedentes del Riego en el Ingenio Magdalena.....	57
2.5.2 Finca San Nicolás.....	57
2.5.2.1 Ubicación.....	57
2.5.2.2 Colindancias.....	58
2.5.2.3 Área Total.....	58

2.5.2.4	Suelos.....	58
2.5.2.5	Clima.....	59
2.5.2.6	Topografía.....	59
2.5.3	Parcelamiento La Máquina.....	59
2.5.4	Cuyotenango.....	60
2.6	Objetivos.....	61
2.6.1	Objetivo General.....	61
2.6.2	Objetivos Específicos.....	61
2.7	Metodología.....	62
	I Fase: Recopilación de Datos de Información.....	62
	II Fase: Concepción del Proyecto.....	63
	III Fase: Evaluación de Alternativas de Riego.....	64
	IV Fase: Diseño del Sistema de Riego.....	64
	V Fase: Instalación y Ejecución del Proyecto.....	65
2.8	Resultados y Discusión.....	67
2.8.1	Recopilación de Datos.....	67
2.8.1.1	Determinación de la Infiltración Básica.....	67
2.8.1.2	Propiedades de Retención de Humedad.....	68
2.8.1.3	Cultivo.....	68
2.8.2	Elaboración del Pre-diseño con fines de caudal.....	68
2.8.2.1	Evaluación de Alternativas.....	69
2.8.2.2	Análisis de Inversión.....	70
2.8.3	Descripción del Proyecto a Instalar.....	72
2.8.3.1	Módulo de Riego.....	72
2.8.3.2	Trazo de la Finca.....	73
2.8.3.3	Lámina de Riego.....	73
2.8.4	Componentes del Sistema de Riego Utilizados.....	73
2.8.4.1	Aspersor.....	73
2.8.4.2	Laterales Porta Aspersores.....	74
2.8.4.3	Tubería Principal.....	74
2.8.4.4	Tubería Secundaria.....	74
2.8.4.5	Sistema de Bombeo.....	74
2.8.5	Cálculo y Elaboración del Diseño Agronómico para un Módulo de 80 Ha.....	75
2.8.5.1	$LHA = (CC - PMP) * Da * ZR / 100$	75
2.8.5.2	$LHA = DPM * LHA$	76
2.8.5.3	$Lbd = LHRA / Eap$	76
2.8.5.4	$Ird = Lbd / Et \text{ max}$	76
2.8.5.5	Intensidad de Riego.....	76
2.8.5.6	Área Regada por Lateral (Apl)=EI* longitud del terreno a un lado de la principal	76
2.8.5.7	Área de Riego por Turno.....	76
2.8.5.8	Números de Laterales.....	77
2.8.5.9	No. Aspersores /lateral= longitud del terreno a un lado de la principal / Ea.....	77
2.8.6	Cálculo y Elaboración del Diseño Hidráulico para un Módulo de 80 HA:.....	78
2.8.6.1	Caudal en la tubería Lateral y Principal.....	78
2.8.6.2	Diámetro de la Tubería Lateral.....	78
2.8.6.3	Perdidas de Carga por Fricción.....	78
2.8.6.4	Carga Requerida en la Entrada del Lateral.....	78
2.8.6.5	Diámetro de la Tubería Principal.....	79
2.8.6.6	Carga Dinámica Total (CDT).....	81
2.8.6.7	Potencia requerida.....	81

2.8.7	Ejecución del Proyecto.....	82
2.8.7.1	Perforación de Pozos.....	82
2.8.7.2	Instalación de la Tubería de PVC.....	87
2.8.7.3	Instalación del Sistema de bombeo (motores, turbinas y centrifugas).....	91
2.8.7.4	Prueba Hidráulica.....	91
2.8.7.5	Entrega del Proyecto.....	92
2.8.7.6	Costos Generales del Proyecto.....	95
2.9	Conclusiones.....	97
2.10	Recomendaciones.....	99
2.11	Bibliografía.....	100
CAPITULO III: Diseño y Ejecución de la Instalación de Riego Bombeo-Gravedad		
de Finca Acarigua del ingenio Magdalena, Cocales, Suchitepéquez,		
Guatemala, C.A.....		
3.1	Presentación.....	109
3.2	Revisión Bibliográfica.....	110
3.2.1	Descripción del Método de riego por Surcos (inundación parcial).....	110
3.2.2	Eficiencia de Aplicación.....	110
3.2.3	Adaptabilidad.....	110
3.2.4	Forma, dimensión y Separación de los Surcos.....	111
3.2.5	Caudal por Surco.....	111
3.2.6	Longitud del Surco.....	112
3.2.7	Ventajas.....	112
3.2.8	Desventajas.....	113
3.2.9	Surcos Especiales.....	113
3.3	Objetivos.....	113
3.3.1	General.....	113
3.3.2	Específicos.....	113
3.4	Metodología.....	114
3.4.1	Información Previa.....	114
3.4.2	Diseño del Sistema.....	114
3.4.3	Instalación y Ejecución del Proyecto.....	115
3.4.4	Entrega del Proyecto.....	118
3.5	Conclusiones.....	122
3.6	Recomendaciones.....	123
3.7	Bibliografía.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
Figura 1 Fotografía aérea del Ingenio Magdalena en el año 2010.....	8
Figura 2 Organigrama del departamento de Ingeniería Agrícola.....	9
Figura 3 Accesorios utilizados por lateral de aluminio para miniaspersión.....	36
Figura 4 Macrolocalización de la finca San Nicolás.....	58
Figura 5 Cálculo de la Infiltración Básica.....	67
Figura 6 Empresa DAHO perforando un pozo.....	84
Figura 7 Perfil litológico del pozo 1 de finca San Nicolás.....	85
Figura 8 Perfil litológico del pozo 1 de finca San Nicolás.....	86
Figura 9 Procedimiento de la excavación de la zanja para la tubería de pvc.....	88
Figura 10 Instalación de la tubería de pvc, en finca San Nicolás.....	89
Figura 11 Instalando PVC en San Nicolás.....	89
Figura 12 Perforación del agujero para la montura del hidrante.....	90
Figura 13 Instalación de una montura para la colocación del hidrante de riego.....	90
Figura 14 Instalación del equipo de bombeo de un pozo a cargo de Magrisa.....	91
Figura 15 Hidrante de riego con una purga de lavado y aspersores en funcionamiento.....	93
Figura 16 Ejemplo del módulo I de riego abastecido por el río Icán, entregado y en funcionamiento. Donde se aprecia: canal de llamada, succión y descarga motor y bomba centrífuga, tanque de combustible y caudalímetro.....	94
Figura 17 Módulo III de riego abastecido por pozo entregado y en funcionamiento Donde se aprecia de derecha a izquierda: base de concreto, motor, tanque de combustible, eje de cardan, cabezal de engrane, cabezal de descarga válvula cheque, tubo de descarga y caudalímetro.....	95
Figura 18 Datos climáticos del año 2009, de la estación meteorológica Irlanda, ubicados a 15 km de Finca San Nicolás.....	103
Figura 19 Plano de diseño de la finca San Nicolás.....	104
Figura 20 Catálogo del aspersor Naan-Daan, utilizado en Fca. San Nicolás.....	105
Figura 21 Ejemplo del diseño hidráulico en autocad, del módulo 1; diferenciados los diámetros en colores: café 15", rosado 12", naranja 10", verde 8", azul 6" y amarillo 4". Las laterales de riego están representadas por color celeste....	106
Figura 22 Ejemplo del diseño hidráulico en autocad, del módulo 3; diferenciados los diámetros en colores: verde 8", azul 6" y amarillo 4". Las laterales de riego están representadas por color celeste.....	107
Figura 23 Toma de datos para evaluar la implantación del mismo.....	114
Figura 24 Trazo y elaboración de canales y cabeceras de riego para el proyecto	115
Figura 25 Elaboración del canal de llamada en el río Madre vieja.....	116
Figura 26 Instalando el tubo de PVC y accesorios del sistema.....	116
Figura 27 Instalando una tee de metal tipo dresser, para distribuir el agua en la caja dispersora.....	117
Figura 28 Construcción de una caja dispersora con la válvula de Grinell instalada.....	117
Figura 29 Estación de bombeo ya en operación.....	118
Figura 30 Caja de dispersión aplicando agua a los surcos	119
Figura 31 Sistema operando llevando agua hacia otros puntos.....	119
Figura 32 Canal a cielo abierto funcionando conduciendo agua hacia la parte este de la finca.....	120
Figura 33 Ejemplo de un canal conduciendo agua para riego	121

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PÁGINA
Cuadro 1 Recursos físicos de Ingeniería Agrícola.....	13
Cuadro 2 Déficit permitido de manejo del riego (DPM %) y profundidades de las raíces para algunos cultivos. (6).....	28
Cuadro 3 Clasificación de los sistemas de aspersión.....	32
Cuadro 4 Valores del coeficiente fricción (C) utilizado en la ecuación de Hazen-Williams.....	49
Cuadro 5 Factor (F) para calcular pérdidas por fricción en tubería con salidas múltiples.....	50
Cuadro 6 Valores de K para diferentes accesorios.....	51
Cuadro 7 Propiedades Físicas del Suelo Arcilloso.....	68
Cuadro 8 Análisis de inversión utilizando miniaspersión en San Nicolás.....	70
Cuadro 9 Análisis de inversión utilizando riego mecanizado en San Nicolás.....	71
Cuadro 10 Distribución del diseño agronómico en finca San Nicolás.....	77
Cuadro 11 Hoja electrónica utilizada para el cálculo de diámetros en tubería principal y secundaria, ejemplo del módulo 3.....	80
Cuadro 12 Resumen financiero del sistema de riego San Nicolás.....	96

RESUMEN GENERAL

En el presente documento se plasman las actividades realizadas durante el ejercicio profesional supervisado (EPS) realizado durante los meses de agosto 2010 a mayo 2011, en el departamento de ingeniería agrícola del Ingenio Magdalena S.A. siendo las siguientes:

La primera actividad fue elaborar un diagnóstico general sobre la situación actual del departamento de Ingeniería Agrícola, remarcando las actividades, responsabilidades individuales y todo lo que concierne a dicho departamento. Con la finalidad de conocer los problemas a los que se enfrentan los colaboradores del mismo, las posibles soluciones y recomendaciones.

Por otro lado se desarrolló la investigación denominada "Diseño del sistema de riego por miniaspersión para caña de azúcar (*Saccharum spp*), en la finca San Nicolás, del Ingenio Magdalena, en el parcelamiento La Máquina, Cuyotenango". El mismo refleja todas las actividades que conlleva el establecimiento de un proyecto de riego por miniaspersión, semifijo con ramales móviles, utilizando los parámetros técnicos necesarios para su buen funcionamiento y aplicación. Con la finalidad de organizar todas las actividades, fue necesario dividir el proceso en 5 fases de trabajo:

I Recopilación de datos

II Concepción del proyecto

III Evaluación de alternativas de riego

IV Diseño del sistema de riego

V Instalación y ejecución del proyecto.

La finca San Nicolás fue dividida en 6 módulos de riego, 2 de ellos abastecidos por el río Icán y los otros 4 por medio de 4 pozos de 500 pies de profundidad cada uno. La tubería principal fue de PVC quedando enterrada y para las laterales de riego se utilizó aluminio de 63 mm.

La tercera actividad fue el desarrollo del servicio prestado denominado, Diseño y ejecución de la instalación del proyecto de riego Bombeo-Gravedad de finca Acarigua del Ingenio Magdalena.

La finca Acarigua está ubicada a inmediaciones de la aldea de Cocales, departamento de Suchitepéquez, el proyecto fue abastecido por el río Madre Vieja, en este punto se colocó una estación de bombeo operando un caudal de 5,000 GPM, distribuyendo el mismo por medio de una tubería de PVC de 15" a 4 cajas dispersoras para ser suministrada a los canales de riego y posteriormente a los surcos, por medio de gravedad.

Para lograr establecer el sistema de riego fue necesario realizar las actividades siguientes:

- Diseño del sistema
- Trazo de canales
- Instalación de los materiales de conducción y distribución de agua
- Entrega del proyecto

GENERAL SUMMARY

This document embodies the activities undertaken during the supervised practice (EPS) performed during the months of August 2010 to May 2011, in the agricultural engineering department of Ingenio Magdalena S.A:

The first activity was to develop a general diagnosis of the current situation of Agricultural Engineering Department, highlighting the activities, individual responsibilities and all that relates to that department. In order to understand the problems faced by employees, possible solutions and recommendations.

On the other hand it was developed the research called : "Design of miniaspersión irrigation system for sugarcane (*Saccharum spp*) in San Nicolas ranch, property of Ingenio Magdalena's, in the parcelamiento La Máquina, Cuyotenango ". The research reflects all the activities involved in the system of an irrigation project miniaspersión, semi-fixed to mobile branches, using the technical parameters needed for smooth operation and implementation.

In order to organize all the activities, it was necessary to divide the process into 5 phases:

- I Data Collection
- II Project conception
- III Evaluation of alternative irrigation
- IV Irrigation System Design
- V Installing and running the project.

The San Nicolas was divided into 6 modules of irrigation, 2 of them supplied by the river Iacán and the other 4 by 4 wells, 500 feet deep.

The main pipeline was built in PVC, and buried. And for the laterals of irrigation it was used a 63mm aluminum tube.

The third activity was the development of the service that was given, named: Designs and execution of the installation of the irrigation project: Pump-Gravity in Ranch Acarigua of Ingenio Magdalena's.

The ranch Acarigua is located near Cocales village, Suchitepéquez. The project was supplied by the river Madre Vieja. At this point a pumping station was set to operate a flow of 5,000 GPM, distributing it through a PVC pipeline of 15" to a 4 dispersion boxes, and then to be supplied to the irrigation canals and then to the grooves, by gravity.

In order to establish the irrigation system was necessary to perform the following activities:

- System design
- Built of the canals
- Installation of the materials that are going to handle the water and distribution of it
- Delivery of project

CAPÍTULO I
DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA S.A.

1.1 PRESENTACIÓN

El Ingenio Magdalena S.A. se encuentra ubicado en la Fca. Buganvilia, en el municipio de La Democracia, Escuintla. Obtuvo una producción en la zafra 2009-2010 de 11,400,000 qq de azúcar, teniendo bajo su administración más 60,000 mil hectáreas, divididas en 4 zonas de producción para su manejo.

La organización administrativa y operativa del Ingenio Magdalena está conformada por varias áreas de trabajo, tales como: Campo, Magrisa, Magalcoholes, Fábrica, Agronomía, Investigación y Obra civil. Estas divisiones son responsables de todo el proceso desde la siembra de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) hasta la obtención de productos como: azúcar, alcohol y energía eléctrica.

En la división de Campo se encuentra el departamento de Ingeniería Agrícola, el cual tiene bajo su responsabilidad el desarrollo de todos los factores necesarios para la correcta aplicación de agua al cultivo.

El presente diagnóstico del departamento de Ingeniería Agrícola, identificará y describirá las actividades que se desarrollan en el mismo, así como los objetivos que se persiguen, tomando en cuenta los recursos y el análisis de la información obtenida en dicho departamento.

La actividad primordial del departamento es diseñar y ejecutar sistemas de riego y drenajes. Los sistemas de riego se dividen en dos formas: por gravedad y de forma presurizada. El riego por gravedad es aplicado en forma de aspersión y por canales. Por otra parte el riego presurizado es aplicado por medio de los sistemas de cañones, mini aspersión y por riegos mecanizados, tales como: pivotes fijos, móviles y de avance frontal. También son los responsables del manejo de vinaza y cachaza.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Ubicación geográfica

La planta procesadora del Ingenio Magdalena S.A. se encuentra ubicada en el km. 99.5 ruta a Sipacate, interior finca Bugarvilia, La Democracia, Escuintla, en las coordenadas geográficas latitud 14° 07'12" Norte y longitud 90° 55'48" Oeste, con una altura promedio de 57 m.s.n.m.

1.2.2 Vías de accesos

La vía de acceso es por la carretera al pacífico CA-2, luego se sigue la ruta hacia el puerto de Sipacate, pasando el municipio de La Democracia, se cruza a la izquierda tomando una carretera de terracería la cual conduce hacia la aldea El Pilar, el ingenio se encuentra ubicado a 6 km. de este cruce.

1.2.3 Condiciones climáticas

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Guatemala, realizado por de la Cruz basado en el sistema de Holdridge (Natareno, J. 2008.), la finca Bugarvilia donde se encuentra el Ingenio Magdalena se encuentra ubicada en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical cálido (bmh-S (c)), que se caracteriza por mantener una precipitación anual promedio de 1696 milímetros, con una temperatura promedio entre 15 y 38 grados Celsius.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Elaborar un análisis general del Departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena S.A. identificando la problemática existente y sugiriendo posibles soluciones.

1.3.2 Específicos

- Describir las funciones laborales de los principales puestos de la estructura organizacional dentro del departamento de Ingeniería Agrícola.

- Identificar los problemas técnicos y administrativos del departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena S.A.

1.4 METODOLOGÍA Y RECURSOS

1.4.1 Definición del estudio

Se realizó el diagnóstico del departamento de ingeniería agrícola, evaluando todos los factores que se relacionan directa o indirectamente con el proceso del riego y drenaje llevado a cabo en el Ingenio Magdalena, además del manejo de los residuos del proceso de obtención de azúcar.

1.4.2 Identificación de los problemas

La forma de obtener la información necesaria para conocer los problemas existentes en el departamento, fue realizando pláticas con el personal colaborador del mismo, conociendo de cerca dichos inconvenientes y utilizando también la observación para apreciar personalmente los mismos.

1.4.3 Recursos utilizados

Fue necesario contar con recursos para poder facilitarnos la obtención de la información, tales como: Recursos físicos; se utilizó un vehículo proveído por el departamento para la movilización entre fincas a evaluar y se contó con un equipo de cómputo para elaborar los escritos correspondientes. Otro recurso necesario es el humano; ya que es importante contar con la información proporcionada por el personal administrativo y operativo del departamento.

1.4.4 Sistematización de la información

El diagnóstico se realizó entre los meses de Agosto 2010 a Mayo 2011, obteniendo información para analizarla y se procedió a tabular los datos en las oficinas del departamento de Ingeniería Agrícola.

También fue necesario organizar toda la información, clasificándola para la buena utilización de los resultados. Se Investigó el área bajo riego actual del ingenio, la misión y las metas que tiene el departamento a corto y largo plazo, dentro del ingenio Magdalena S.A.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Reseña histórica del Ingenio Magdalena

1960

- La Familia Leal se inicia como agricultores de caña.

1968

- Inversión en una participación en ingenio nuevo
- Inversión fallida que demanda mucho más capital
- Grupo Leal, uno de los dos grupos que le hacen frente a la demanda de capital y a comprar otros accionistas.

1983

- Se vende la participación de acciones a cambio del 100% de acciones de otra empresa.
- El Ingenio había sido instalado anteriormente en a Finca Magdalena, en el Rodeo, Escuintla, inicialmente para la producción de mieles para producción de licor. Más tarde fue reubicado en la Finca Buganvilia (localización actual.)
- Con el cambio de administración se inicia una etapa de crecimiento continuo.
- La producción de la zafra 83/84 fue de 18,200 Ton. Métricas.

1990/91

- Se produjo 53,792 TM de azúcar (1,185.575.68 qq.) con una plantación de 5,550 hectáreas.

1994/95

- Se duplica la producción de la zafra 1990/91. 105,855. TM.

2005

- **Campo**
Adquiere 1,570 hectáreas. Actualmente tiene una cobertura de 36,000 hectáreas. Para garantizar mejor rendimiento se incrementó el riego cubriendo un 56% del área administrada.
- **Talleres y Transporte**
Para asistir técnicamente las operaciones móviles de la empresa, se adquirió nuevo equipo, entre ellos 100 camiones destinados para el acarreo de caña, 4 cosechadoras mecánicas y equipo agrícola. En enero del 2006 se adquirieron 5 cosechadoras mecánicas más
- **Fábrica**
Se amplía la fábrica con la instalación de un nuevo tándem de molinos. El tándem "C" con una capacidad nominal de 9,200 TM diarias, de caña. Es el primero en instalarse en los ingenios del área.

2008

- **Campo**
Inicia oficialmente las actividades de la biofábrica con una capacidad instalada de producción artificial de plantas a través de la técnica de multiplicación de tejidos vegetativos o micro propagación de 2, 500,000 plántulas; donde el 80% está dedicado a la caña de azúcar y el 20% a otros vegetales.
- **Se inicia el programa de producción de entomopatógenos utilizadas para el control biológico de plagas específicas que afectan la caña de azúcar con una capacidad de 45,000 dosis por temporada (marzo a octubre).**
- **Alcohol**
Se consolida las operaciones la planta número dos de alcohol, ésta propia del grupo con una capacidad instalada de 300,000 litros diarios.

2010

- En la zafra 2009-2010 se rompió record histórico de producción de azúcar, llegando a una cantidad de 11,400,000 qq de azúcar, posicionando al Ingenio Magdalena en la cima de la producción nacional.



Figura 1: Fotografía aérea del Ingenio Magdalena en el año 2010.

1.5.2 Departamento de Ingeniería Agrícola

Este departamento es de suma importancia para la empresa, ya que tiene la gran responsabilidad de establecer los sistemas de riego en las distintas fincas para elevar la producción, además de mejorar las condiciones del cultivo por medio de elaboración de drenajes y evacuación de agua de zonas inundadas y darle manejo a los productos especiales, tales como la vinaza y la cachaza.

1.5.3 Funciones del departamento

- ⦿ Elaborar el estudio de factibilidad del proyecto a ejecutar
- ⦿ Diseño de finca, con módulos, calles e infraestructura
- ⦿ Instalación de sistemas de riego y red de drenajes
- ⦿ Gestión de calidad en operación de riego
- ⦿ Disponibilidad de los sistemas de riego y coordinación de mantenimiento
- ⦿ Investigación de modelos de riego
- ⦿ Administración de proyectos especiales

1.5.4 Estructura organizacional

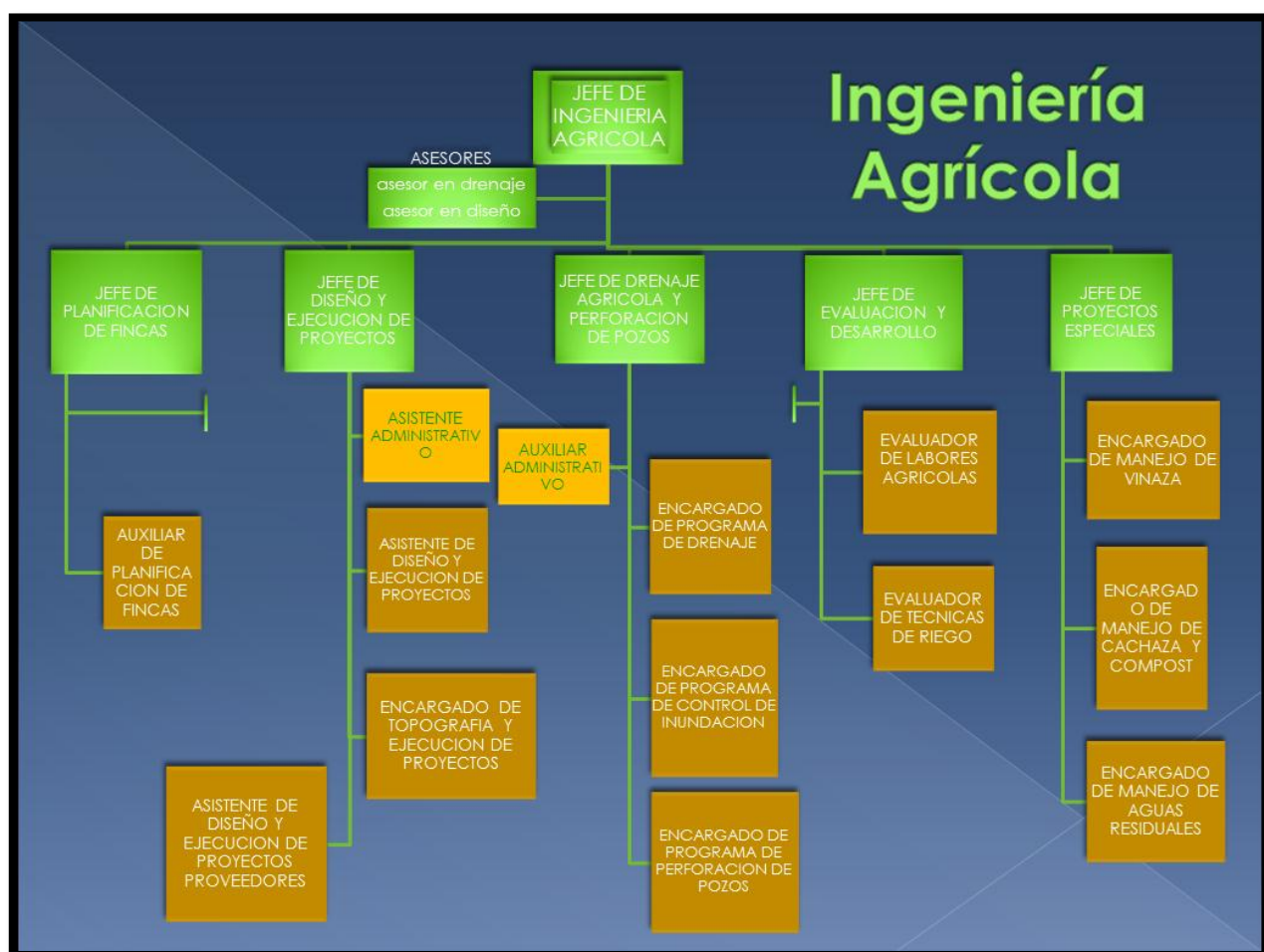


Figura 2. Organigrama del departamento de Ingeniería Agrícola.

Fuente: Instructivo de inducción institucional (2010)

1.5.5 Funciones y atribuciones de los principales puestos del Dpto. Ingeniería Agrícola

1.5.5.1 Jefe de Ingeniería Agrícola

Administrar los recursos humanos y materiales para asegurarse que las actividades de estudios de riego y drenaje se realicen con base en lo planificado.

Elaborar y considerar el plan maestro de riego, desarrollando proyectos de riego y determinando el método más aconsejable.

Velar porque lo planificado por el personal que integra el departamento de ingeniería se realice de acuerdo a los objetivos y metas trazadas.

1.5.5.2 Jefe de Planificación de Fincas

Diseñar los campos de cultivo para el establecimiento del sistema de riego adecuado y que permita la evacuación de los excesos de agua. Es el encargado de planificar, de acuerdo a las solicitudes de trabajo de diseño realizados por los gerentes de producción.

Las principales actividades son:

Diseño de campo en renovación, diseño de drenaje, medición de fincas nuevas, remediación de fincas, diseño de campo, trazo de obras civiles, elaboración y actualización de planos temáticos, medición de áreas agregadas a fincas y mediciones de fincas de los distintos proveedores.

Los colaboradores de este sub-departamento velan porque todas las actividades antes mencionadas se desarrollen adecuadamente siguiendo los objetivos planteados.

1.5.5.3 Jefe de Diseño y Ejecución de Proyectos

Coordinar las actividades que conllevan al establecimiento de proyectos de riego en las plantaciones de caña, para lograr la utilización eficiente de agua en los cultivos y el máximo aprovechamiento de los recursos naturales y del equipo.

Evaluar los diseños y presupuestos elaborados por los asistentes de cada zona de producción, para solicitar el equipo necesario a instalar en los distintos proyectos.

Están asignados uno o dos asistentes de este sub-departamento, para cada una de las cuatro zonas de producción donde el ingenio desarrolla el cultivo de caña. Logrando así una supervisión competente en la ejecución del establecimiento de los proyectos de riego.

1.5.5.4 Jefe de Drenaje Agrícola y Perforación de Pozos

Encargado de programar y requerir el personal necesario para las labores técnicas de elaboración de drenajes y el desarrollo de las perforaciones de pozos.

Organizar si fuera necesaria la contratación de empresas perforadoras de pozos para cubrir la demanda de agua para los distintos proyectos de riego.

1.5.5.5 Jefe de Evaluación y Desarrollo

Es el responsable de la funcionalidad y eficiencia de la operación de los sistemas de riego, de acuerdo al diseño establecido y evaluar la eficiencia del drenaje.

Evalúa los distintos métodos de riego aplicados, innovando en la tecnología actual. Desarrolla constantes evaluaciones para mejorar la eficiencia operativa de los sistemas de riego.

Los asistentes del mismo contribuyen de forma directa para el desarrollo de las actividades antes mencionadas.

1.5.5.6 Jefes de Proyectos Especiales

Se encarga de programar, coordinar, supervisar y ejecutar todos los trabajos relacionados con el manejo de las aguas residuales y la cachaza provenientes del proceso de industrialización de la caña de azúcar.

Los productos que deben manejar en este sub-departamento son los siguientes:

A. Vinaza

La vinaza es un residuo industrial que se genera durante la destilación del alcohol. Presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica, Potasio y Calcio, además cantidades moderadas de Nitrógeno y Fósforo.

En la actualidad es utilizada para fertirrigar plantaciones de caña de azúcar, este producto es disuelto con agua en una caja de captación, donde se mezclan y luego es aplicada por medio de aspersión.

Las materias primas utilizadas para la producción de vinaza, son las siguientes:

- A. Melaza de caña de azúcar
- B. Jugo de caña de azúcar
- C. Mieles de caña de azúcar
- D. Mezclas mixtas de jugo y mieles

La vinaza es aplicada a un área de 4,300 hectáreas por medio del sistema aspersión y gravedad; esta es trasladada de la fábrica al campo por medio de un vinaducto de 14 Km. de longitud.

La vinaza es aplicada principalmente como una fuente de potasio y de materia orgánica pero provee también cantidades menores de nitrógeno y fosforo. El contenido de potasio que aporta esta es de 420 kilogramos por hectárea.

El caudal de aguas residuales que maneja la fábrica del ingenio es de 20,000 a 25,000 GPM, ya que por cada lt. de alcohol producido se generan 13 lts. de vinaza, produciendo así 3,900 m³ diarios de vinaza.

B. Cachaza

Este material es un producto que resulta proveniente de la extracción del jugo de caña, utilizando molinos para dicha actividad. Actualmente el Ingenio Magdalena genera una producción de 1,200 toneladas diarias de cachaza, las cuales son llevadas a los campos de compost para disminuir el porcentaje de humedad de 70% a 30% con la finalidad de bajar los costos operativos de transporte y lograr una correcta fermentación para producir el compost deseado, el cual será aplicado a los distintos campos de producción de caña. En cada zafra se obtiene una producción promedio de 200,000 toneladas de cachaza.

1.5.5.7 Área cubierta por el departamento de Ingeniería Agrícola

El departamento de Ingeniería Agrícola tiene a su cargo 46,900 hectáreas, de las cuales el área bajo riego es de 36,200 y sin riego son 10,700 hectáreas.

Hasta la fecha esta empresa tiene dividido el riego de la siguiente forma:

- Riego por gravedad 6,700 ha
- Riego mecanizado 3,300 ha
- Riego por cañones 11,800 ha
- Riego por miniaspersión 14,400 ha

1.5.6 Recursos utilizados en el departamento de Ingeniería Agrícola

1.5.6.1 Recursos físicos

Los recursos físicos con los que se cuentan en el departamento son los que se detallan en el cuadro 1.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Computadoras	15
GPS	4
Barrenos	2
Cilindros Dobles para Infiltración Básica	2

Vehículos Pick-Up 4x4	12
Camioncitos Palangana Larga	2
Camiones Grúas Para Perforación Pozos	3
Motocicletas	6
Cintas Métricas	8
Manómetros de Glicerina 100 PSI	8
Medidores de Humedad	2
Radios de Frecuencia Alta	17
Teléfonos Celulares	17
Escritorios de Oficina	17
Sillas de Oficina	22
Equipo Soldadura Eléctrica	1
Tacómetros	5

Cuadro 1: Recursos físicos de Ingeniería Agrícola

1.5.6.2 Recursos Humanos

Los recursos humanos que conforman el departamento, los cuales son vitales para el buen funcionamiento del mismo, están conformados de la siguiente forma: 1 Jefe del departamento de Ingeniería Agrícola, 5 Coordinadores con asistentes distribuidos en las 4 zonas de producción del ingenio, supervisores de riegos, de la aplicación de vinaza, dos asistentes administrativos y otros supervisores y peones.

1.5.6.3 Horarios

A. Temporada de reparación durante junio a noviembre

Lunes a viernes de 7: 00 am a 5:00 pm, con una hora de almuerzo

B. Temporada de zafra (noviembre – mayo)

Lunes a viernes de 7: 00 am a 5:00 pm, con una hora de almuerzo de 12:00 am a 2:00 pm y sábados de 7:00am a 12:00 pm

1.5.6.4 Prestaciones Laborales

Las prestaciones laborales que la corporación les otorga a los trabajadores del departamento de Ingeniería Agrícola, son las siguientes:

A. Servicio médico laboral: atiende a los trabajadores que sufren de alguna enfermedad o han tenido algún accidente, así mismo se les proporciona un botiquín portátil, para que se utilice en casos de emergencia, además al personal se le instruye en como prestar primeros auxilios.

B. Servicio médico familiar: atiende a toda la familia del trabajador por enfermedad común.

C. Servicio odontológico: dirigido a todo el personal y su familia, afectado por problemas dentales.

D. Servicio de bus: Para transportar al personal a distintos lugares como: Santa Lucia Cotzumalguapa, Siquinalá y Escuintla, en horarios establecidos en relación a la jornada laboral.

E. Servicio de club social: Se cuenta con club para la recreación en el cual hay una piscina, canchas de futbol y servicio de restaurante.

F. Servicio de cajero automático: dirigido a todo el personal, siendo el Banco Agromercantil el que presta este servicio.

G. Educación: está dirigido a los trabajadores e hijos, cuenta con un centro educativo, en jornada matutina y vespertina en las cuales se imparten los niveles de primaria, básico y bachillerato.

H. Cooperativa: este servicio está dirigido a todo el personal de la empresa, aquí se vende alimentos, televisores y computadoras. Además se cuenta con la posibilidad de

ahorrar por medio de la cooperativa y obtener préstamos al tener cierta cantidad de dinero almacenado.

I. Otras prestaciones: todas según lo establecido en las leyes del país; vacaciones, aguinaldo, bono 14, IGSS y la indemnización.

1.5.7 Principales deficiencias encontradas

- ⊙ Falta de equipo necesario
- ⊙ Burocracia administrativa
- ⊙ Deficiente apoyo de otros departamentos
- ⊙ Falta de persona responsable del manejo de información y gestiones administrativas
- ⊙ Poca comunicación entre departamentos dentro de Ingeniería Agrícola y fuera de este

A. Falta de equipo necesario:

Según lo observado en el departamento de ingeniería Agrícola, determiné que un factor limitante es la falta de equipo técnico para un correcto desempeño de labores, lo cual repercute en el buen desempeño de las labores respectivas, tal es el caso que el departamento de riegos no cuenta con un equipo de medición, ya que las mediciones son manejadas por el departamento de obra civil, lastimosamente ellos no cuentan con equipo de medición de última generación, como estación total y GPS submétrico. De tal manera que, las mediciones tienen poco avance y se requiere de mucho tiempo para concretarlas. Lo cual genera poca tecnificación en el trabajo de campo.

B. Burocracia administrativa:

El fenómeno de la burocracia está presente en casi todos los ámbitos laborales, el Ingenio Magdalena no es excluyente de esta situación y encontramos frecuentemente obstáculos que solo retrasan las actividades requeridas, lo cual repercute en el establecimiento del sistema de riego.

C. Deficiente apoyo de otros departamentos:

El departamento de ingeniería agrícola es el equipo de trabajo que se relaciona con mas personal de distintos departamentos, por el tipo de coordinación que debe realizar, de tal manera que en muchos casos estos departamentos no apoyan de una manera entusiasta y proactiva, lo cual ocasiona problemas en las ejecuciones de los proyectos de riego.

D. Falta de persona responsable del manejo de información y gestiones administrativas:

Las actividades administrativas son desarrolladas por varias personas, sin que tengan actividades definidas cada una y que exista una persona que supervise las mismas.

E. Poca comunicación entre departamentos dentro y fuera de Ingeniería Agrícola:

Una virtud muy importante para trabajar en equipo es la comunicación, la cual la veo limitante dentro y fuera del departamento, esto genera pérdida de tiempo en el desarrollo de actividades y problemas de mala coordinación, ocasionando la mayoría de las veces atrasos significativos en los proyectos de riego.

1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El departamento de Ingeniería agrícola está estructurado por el jefe del departamento, quien está a la cabeza, asesores inmediatos, 5 sub-jefaturas con sus respectivos asistentes y personal diverso para desarrollar todas las actividades correspondientes, en el presente documento se plasmaron las actividades y responsabilidades que tienen los colaboradores del mismo. Las cuales deben ser informadas de la mejor forma para su correcta aplicación.
2. La información obtenida permitió establecer cuáles son las debilidades más frecuentes a las que se enfrentan los colaboradores del mismo, tales como: falta de comunicación y apoyo entre departamentos, burocracia administrativa, poco o nulo equipo técnico operativo, entre otros. Para los cuales se recomienda realizar una reestructuración de todo el departamento para definir estos problemas y darles las respectivas soluciones.
3. Es conveniente definir las actividades administrativas, así como el personal responsable de ejecutarlas y supervisarlas, para no ocasionar malos entendidos y desorden en la toma de decisiones.
4. Se recomienda establecer por lo menos una cuadrilla de trabajo con un equipo novedoso y preciso, que desarrolle todas las mediciones topográficas que el departamento requiera con fines de riego.
5. Es importante y necesario que todos los asistentes del sub-departamento de Cálculo y Diseño, cuenten con el equipo mínimo de trabajo, tales como: herramientas esenciales, navegadores (GPS), manómetros, cintas métricas, entre otros. Para poder realizar cualquier labor que sea requiera en campo, sin tener que esperar a una persona que lo realice.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, GT). 2008. Memoria: Presentación de resultados de investigación, zafra 2007-2008. Guatemala. 288 p.
2. Natareno, J. 2008. Diagnóstico del departamento de riego y drenaje, Ingenio Pantaleón Concepción, S.A., Escuintla. Diagnostico EPSA. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 46 p.
3. Pálala, M. 2007. Diagnóstico del departamento de riego y drenajes, Ingenio Pantaleón Concepción, S.A., Escuintla. EPSA Diagnóstico. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 56 p.
4. Rivera, M. 2010. Diagnóstico del departamento de ingeniería agrícola, Ingenio Pantaleón Concepción, S.A., Escuintla. EPSA Diagnóstico. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 36 p.

CAPÍTULO II

**DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR MINIASPERSIÓN
PARA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*), EN LA FINCA
SAN NICOLÁS, DEL INGENIO MAGDALENA, EN EL
PARCELAMIENTO LA MÁQUINA, CUYOTENANGO.**

CHAPTER II

**DESIGN OF MINIASPERSIÓN IRRIGATION SYSTEM FOR
SUGARCANE (*Saccharum spp.*) IN SAN NICOLAS RANCH,
PROPERTY OF INGENIO MAGDALENA'S IN THE
PARCELAMIENTO LA MAQUINA, CUYOTENANGO**

2.1 PRESENTACIÓN

A través de los últimos años el Ingenio Magdalena ha tenido un significativo aumento de producción. En el año 2005 se logró una expansión en el área agrícola de 1,570 nuevas hectáreas sumando una cobertura total de 36,000 hectáreas de plantación de caña, además se incrementó en riego cubriendo 56% del área del cultivo. Actualmente, esta empresa cuenta con 45,000 hectáreas aproximadamente de caña, para la producción de azúcar, etanol y electricidad, obteniendo en la zafra 2009-2010 una producción récord de 11.4 millones de quintales de azúcar, colocándolo en la cima de la producción de los 13 ingenios de Guatemala.

La irrigación específica es una actividad precisa que involucra la aplicación exacta de los volúmenes y requerimientos de agua en el momento justo. El objetivo de la irrigación con precisión es satisfacer las necesidades de agua del cultivo de la manera más exacta, eficiente y uniformemente posible; para lograrlo, es necesario encontrar la exactitud en la programación del riego, el método de aplicación y estimar cuánta agua aplicar, de esa manera contaremos con precisión y eficiencia para lograr una mayor producción en los cultivos.

La reciente introducción del uso del riego por miniaspersión, en los últimos años ha tenido un significativo crecimiento, es un riego muy eficiente que se aplica en cobertura total con gota muy fina que no tiene impacto en el suelo. No forma costras y permite una germinación perfecta, con activación de herbicidas preemergentes. La instalación consta de un tubo madre fijo o móvil con hidrantes distanciados a 54 m en los cuales se coloca el acople mecánico de cada lateral porta aspersores. Este tipo de riego brinda beneficios económicos y ambientales al mejorar la eficiencia volumétrica del riego, ya que puede existir un ahorro significativo de agua, y además se obtienen mejores rendimientos con el uso del recurso hídrico.

El presente estudio tuvo como finalidad formular y diseñar el sistema de riego por miniaspersión en la finca San Nicolás, del Ingenio Magdalena S.A. donde se utilizó el río Iacán para abastecer la mitad del sistema de riego y la otra mitad fue requerida la

perforación de 4 pozos de 500 pies de profundidad y poder así cubrir el requerimiento hídrico del cultivo. Esta finca tiene un área total de 721 ha.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El vertiginoso crecimiento de las actividades humanas, acompañado por el crecimiento poblacional, por el consumo para la producción de bienes y por la contaminación generada, ha comprometido la disponibilidad del recurso hídrico. El agua dulce es considerada un recurso renovable, su formación y renovación está regida por el ciclo hidrológico y las condiciones fisiográficas, que a su vez distribuye el agua de forma irregular en toda la superficie terrestre. La escasez de agua dulce es un factor limitante para el desarrollo regional, pudiendo ser de origen natural, donde las condiciones fisiográficas limitan la disponibilidad del recurso, o ser provocada por el hombre, por sus actividades y por la densidad poblacional. La escasez de agua dulce por actividades humanas es provocada por los índices de consumo (cantidad), fundamentalmente por la degradación de la calidad del agua dulce debido a la contaminación y el uso irracional del mismo.

Del tal manera que, utilizando este recurso en los cultivos extensivos con un sistema de poca eficiencia en la aplicación, contribuimos a la pérdida de tan valioso recurso, por tal motivo se desea implementar el sistema de mini aspersión, el cual opera a baja presión y su eficiencia de aplicación se encuentra arriba del 80%. (14)

Bajo las condiciones climáticas en cuales se encuentra la finca San Nicolás, tales como una precipitación media anual de 1860 mm distribuidos en los meses de mayo a octubre principalmente, una temperatura media de 27°C, una humedad relativa promedio del 80% y condiciones edáficas de un suelo con textura arcillosa, se determinó el problema que es imprescindible contar con un sistema de riego eficiente y de esta forma alcanzar los objetivos de rendimientos esperados por la empresa, ya que sin el sistema de riego establecido sería imposible cultivar en este lugar.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Los productos agrícolas son uno de los ejes más importantes de las economías globales y nacionales, un gran porcentaje de las divisas ingresadas al país provenientes de la agricultura, se deben a la producción de caña de azúcar, por lo que la agricultura guatemalteca enfrenta grandes desafíos y oportunidades, teniendo en cuenta que la producción de caña de azúcar bajo condiciones de riego es beneficiada grandemente, dando como resultado un mayor rendimiento por hectárea, ésta realidad obliga al sector productor a innovar en la tecnología y en la reconversión de su estructura para poder lograr el rendimiento deseado.

Es por esto que se hace necesario diseñar y programar un sistema de riego eficiente para las plantaciones de caña de azúcar, para tener un ahorro significativo de agua, y obteniendo mejores rendimientos con el uso del recurso hídrico, de esta forma se puede brindar beneficios económicos y ambientales.

En los últimos años hemos observado un crecimiento territorial significativo del cultivo de caña de azúcar en la región de Suchitepéquez y Retalhuleu, debido a que se han obtenido rendimientos en toneladas por hectárea del cultivo, mayores que en otras regiones, esto ha sido logrado gracias a que se han establecido condiciones bajo un sistema de riego eficiente y con todos los estándares de calidad.

De tal manera que, si no se establece previo a la siembra el sistema de riego sería imposible hacer uso de esta finca para el cultivo de caña de azúcar, ya que sin este recurso no habría ninguna producción de azúcar en este sector del país.

2.4 MARCO CONCEPTUAL

2.4.1 Propiedades físicas del suelo que condicionan la retención de agua

2.4.1.1 Textura

La textura hace referencia a la proporción relativa de arena, limo y arcilla que contiene el suelo y determina la geometría de los poros del suelo, espacios en donde se almacena el agua.

Los suelos arenosos son propensos a la pérdida de agua, debido a la alta filtración en espacios porosos grandes, de esa manera, en este tipo de suelos se recomienda la irrigación a frecuencias cortas con pequeñas aplicaciones de agua, lo cual aumenta la eficiencia de agua disponible, por otro lado en suelos con texturas finas, donde los poros son más pequeños, el agua es conducida más lentamente a través de los conductos capilares, reteniendo por más tiempo la humedad en el suelo. (13)

2.4.1.2 Densidad aparente

La densidad aparente del suelo es la relación de la masa de suelo seco y el volumen que ocupa, incluyéndose los espacios que existen entre las partículas del suelo. La compactación del suelo puede modificar la densidad aparente del mismo. (13)

La relación entre la disponibilidad del agua y la densidad del suelo está fuertemente influenciada por la textura y el contenido de materia orgánica. De forma generalizada, la disponibilidad de agua decrece cuando se incrementa la densidad aparente.

La densidad aparente es un parámetro importante que determina la lámina de aplicación de agua en el diseño y operación de los sistemas de riego.

2.4.1.3 Agua en el suelo

La textura del suelo determina la cantidad de agua que el suelo puede almacenar y la disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo. Al aplicar agua al suelo ésta llena los poros y rodea las partículas que lo componen -arena, limo y arcilla-

2.4.1.4 Mecanismos de retención de humedad en el suelo

El agua contenida en el suelo es retenida en principio por fuerzas generadas en la interface sólido-agua, debido a la energía electrostática de las partículas que interaccionan con los iones absorbidos. En el proceso de hidratación, la partícula sólida del suelo entra en contacto con moléculas de agua, las cuales interactúan con la superficie de la partícula, completándose la capa de agua superficial sobre ésta, posteriormente se asocian más capas de agua en la superficie de la micela coloidal. El mecanismo que retiene mayor humedad en el suelo, es el que procede de las superficies de contacto o meniscos que se forman en la interface agua-aire.

2.4.2 Contenido de humedad del suelo

2.4.2.1 Saturación

El estado de saturación del suelo se da cuando los poros están llenos de agua, observándose agua aún en la superficie. El contenido de agua gravitacional en el estado de saturación es alto, pero poco de esta clase de agua está disponible para las plantas, debido principalmente al estado de anegamiento del suelo y a la alta velocidad de infiltración. (13)

2.4.2.2 Capacidad de Campo

El suelo se encuentra a capacidad de campo cuando la mayoría del agua gravitacional se ha perdido, normalmente esto ocurre de dos a tres días después de la aplicación del riego o de la ocurrencia de un evento de precipitación pluvial. En este estado, las plantas pueden extraer agua del suelo fácilmente, de esa manera cada aplicación de riego debe hacerse para recargar el suelo a capacidad de campo, tomando en cuenta una lámina extra que pueda perderse por infiltración. (13)

2.4.2.3 Punto de Marchitez Permanente

A medida que el suelo se seca, las plantas pueden remover menos cantidad de agua, de esa manera el crecimiento va disminuyendo progresivamente; en el momento en que las plantas no pueden extraer mayor humedad del suelo es cuando éste se encuentra en punto de marchitez permanente. (13)

2.4.2.4 Agua disponible para las plantas -agua aprovechable-

El agua disponible para las plantas es el contenido de agua -expresada en lámina- que corresponde a la cantidad de agua retenida por el suelo entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. (13)

El contenido de agua del suelo es un criterio que permite determinar la disponibilidad de humedad para las plantas, definiendo los requerimientos de agua y manejo del riego a escala comercial. (4)

2.4.2.5 Déficit permitido de manejo

Es el contenido de agua en el suelo al cual no se debe permitir bajar o llegar al punto de marchitez permanente para evitar el estrés de la planta por falta de agua, y por lo tanto, evitar la reducción en la producción.

La diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el DPM debe ser la lámina de riego por aplicar. El contenido de agua que queda debajo de este límite es la cantidad de agua que queda en el suelo. El déficit permitido (DPM) dependerá de las especies de plantas y variará de acuerdo a las temporadas de cultivo. Generalmente, el déficit permitido se expresa en porcentajes. El nivel de déficit permitido recomendado para muchos cultivos de campo es de alrededor del 50 por ciento. Para cultivos sensibles a la sequía (incluyendo muchas verduras), el déficit permitido puede ser tan bajo como de un 25 por ciento. (6)

Cultivo	Déficit permitido de manejo del riego (%)	Profundidad de la raíz (pies)
Cultivos de fibra		
Algodón	65	3.3–5.6
Cereales		
Cebada y avena	55	3.3–4.5
Maíz	50–55	2.6–6.0
Sorgo	50–55	3.3–6.6
Arroz	20	1.6–3.3
Legumbres		
Frijoles	45	1.6–4.3
Soya	50	2.0–4.1
Forrajes		
Alfalfa	50–60	3.3–9.9
Bermuda	55–60	3.3–4.5
Pasto para pastizales	60	1.6–3.3
Césped		
Temporada fría	40	1.6–2.2
Temporada caliente	50	1.6–2.2
Caña de azúcar	65	4.0–6.5
Árboles		
Duraznos	50	3.3–6.6
Cítricos		
70% bajo sombra	50	4.0–5.0
50% bajo sombra	50	3.6–5.0
20% bajo sombra	50	2.6–3.6
Árboles coníferos	70	3.3–4.5
Huerto de nogales	50	5.6–8.0
Verduras		
Zanahorias	35	1.5–3.3
Melones y sandías	40–45	2.6–5.0
Lechuga	30	1.0–1.6
Cebollas	30	2.0–3.0
Papas	65	1.0–2.0
Pimientos dulces	30	1.6–3.2
Calabacines y pepinos	50	2.0–4.0

*Nota: Las profundidades de la raíz pueden ser afectadas por el suelo y por otras condiciones. Con frecuencia, las profundidades efectivas de la zona de la raíz son más superficiales.
Fuente: Allen et al., 1996.

Cuadro 2. Déficit permitido de manejo del riego (DPM %) y profundidades de las raíces para algunos cultivos. (6)

2.4.2.6 Lámina de agua rápidamente aprovechable -LARA-

Dentro del rango de disponibilidad de humedad para la planta, existe un punto crítico a partir del cual se afecta la tasa de crecimiento de los tallos, este punto se conoce como nivel crítico de humedad. Generalmente, el punto de referencia que identifica el nivel crítico de humedad se toma cuando se consume el 60% del agua aprovechable o agua útil. (4)

El agua rápidamente aprovechable es el contenido de humedad existente entre la capacidad de campo y el nivel crítico de humedad, ésta puede expresarse en valores de lámina. (4)

2.4.3 Evapotranspiración

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde en un agrosistema, esto sucede por evaporación y por transpiración del cultivo. (7)

La evaporación es la conversión de agua en estado líquido al estado gaseoso, proceso que ocurre debido principalmente a la radiación solar, y en menor escala a la temperatura del aire. El vapor de agua es retirado de cualquier superficie por la fuerza ejercida entre la presión de vapor de la superficie y la presión de vapor de agua en la atmósfera, en donde el aire que circula sobre la superficie va saturándose, cargándose de humedad para luego transferirlo a la atmósfera; la continuidad del proceso puede interferirse cuando el aire circundante está completamente saturado, el reemplazo de este aire saturado depende en gran medida de la velocidad del viento. (7)

La transpiración es la evaporación de agua contenida en los tejidos vegetales, este proceso ocurre principalmente en los estomas. La vaporización ocurre en los espacios intercelulares, y el intercambio de vapor con la atmósfera está regulado por las aberturas estomáticas. Al igual que la evaporación, la transpiración está influenciada por factores climáticos -radiación, humedad relativa, temperatura y viento- Cada cultivo posee determinada tasa de transpiración, la cual está influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas aplicadas al

mismo.

(6)

2.4.3.1 Conceptos de evapotranspiración

Existen dos conceptos principales que definen la evapotranspiración: a) la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}), el cual es un parámetro que expresa el poder de evaporación de la atmósfera, y b) la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (E_{Tc}). La E_{Tc} se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas, donde existe un excelente manejo en campo, y se logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas.

(7)

El valor de E_{Tc} se estima a través del enfoque del coeficiente del cultivo, el cual incorpora los efectos de las condiciones del tiempo y las características del cultivo, dado por la evapotranspiración de un cultivo de referencia - E_{To} - y el coeficiente único del cultivo - K_c - respectivamente. El coeficiente único del cultivo - K_c - puede variar según las etapas de crecimiento del cultivo.

(7)

2.4.4 Riego por aspersión

El riego por aspersión se caracteriza por aplicar el agua en forma de lluvia, para obtener este resultado se hace pasar el agua de riego a través de pequeños orificios, necesitando para ello de considerables presiones, obtenidas por equipos de bombeo o por grandes desniveles.

(8)

El objetivo principal de este riego es aportar a los cultivos el agua necesaria para cubrir sus necesidades, de la forma más uniforme y eficiente posible.

(8)

Las unidades básicas que componen el sistema son: el grupo de bombeo, las tuberías principales con sus hidrantes, los ramales o laterales de riego y los propios emisores. Estos últimos pueden ser: tuberías perforadas, difusores fijos o toberas y aspersores. De todos ellos, los más utilizados son los aspersores, que pueden llevar una o dos boquillas cuyos chorros forman ángulos de 25° a 28° con la horizontal para tener un buen alcance y que no sean demasiado distorsionados por el viento.

(14)

El riego por aspersión presenta las siguientes ventajas y desventajas.

VENTAJAS

- Adaptables a terrenos donde no es económica la nivelación para el riego por gravedad.
- Economía de agua
- Adaptable a suelos con alta velocidad de infiltración, donde el riego por gravedad es poco práctico por las grandes pérdidas de agua.
- Controla la erosión
- Elimina canales de conducción
- Permite la aplicación de fertilizantes solubles en agua.

DESVENTAJAS

- Altos costos iniciales y gran inversión de capital
- El costo de la energía para el bombeo es continuo.
- El sistema carece de flexibilidad, ya que se diseña para una capacidad fija.

(8)

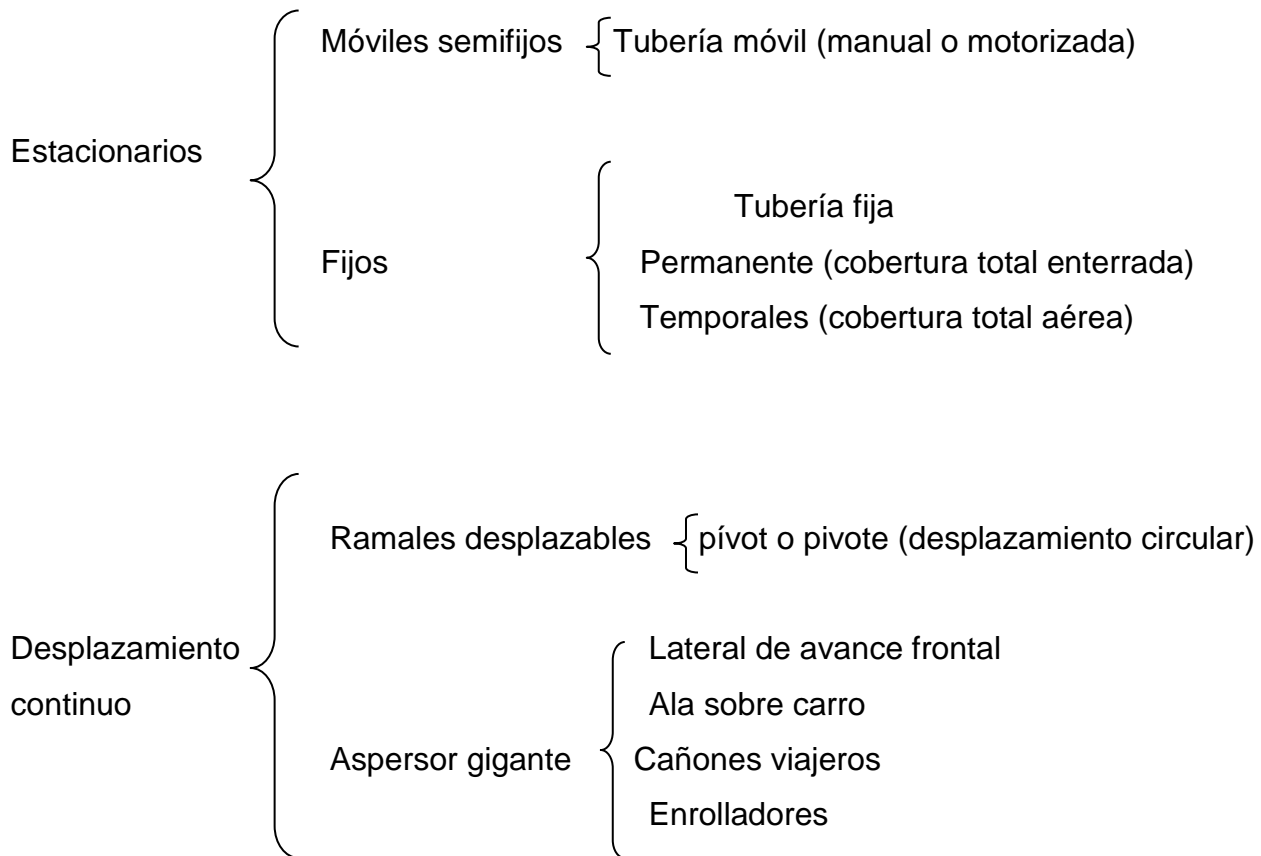
2.4.4.1 Clasificaciones de los sistemas de riego por aspersión

Los sistemas de riego por aspersión pueden agruparse en dos grandes familias: los estacionarios, que permanecen fijos mientras riegan, y los de desplazamiento continuo mientras realizan la aplicación del agua. (14)

Dentro de la primera familia están los sistemas móviles, donde todos los elementos de la instalación son móviles, incluso puede serlo la bomba.

Los sistemas semifijos suelen tener fija la red de tuberías principales, que normalmente va enterrada, y las tomas o hidrantes, donde se conectan los ramales de riego, que son móviles. Estos ramales de riego pueden llevar directamente acoplados los aspersores o bien ir dotados de mangueras, que desplazan los aspersores sobre patines a una determinada distancia del lateral (30 a 45m), pudiéndose realizar varias posturas de

riego sin necesidad de cambiar la tubería. Existe otra variante en la que todas las tuberías son finas, desplazándose únicamente los tubos portaaspersores y los aspersores. (14)



Cuadro 3. Clasificación de los sistemas de aspersión.

Los sistemas más eficientes de riego por aspersión en la zona cañera son los de ramales desplazables, se utilizan dos tipos principalmente: sistemas de pivote central y sistemas de movimiento lateral -desplazamiento frontal-.

El sistema de riego por aspersión de pivote central, funciona de forma automatizada, el desplazamiento se hace en forma circular, estos sistemas son capaces de regar áreas extensas hasta 1.6 Km de diámetro, este tipo de sistemas utilizan baja presión de operación -< 20 PSI- y requieren poca labor; existen sistemas fijos y móviles, los

móviles pueden llevarse a diferentes sitios de riego y pueden regar hasta 80 ha, los fijos riegan áreas más extensas. (14)

Los tubos de conducción tienen una envergadura de 40 – 80 m de longitud cada uno, las tuberías de conducción de menor envergadura son recomendadas para utilizarse en áreas donde el relieve del terreno es ondulado. Cada tubería de conducción está montada sobre una torre y llantas de gran diámetro, las cuales son conducidas por motores eléctricos que mueven las torres. En cada torre hay sensores que mantienen la irrigación constante. La velocidad de avance es determinada en la torre que funciona como pivote. (14)

El sistema de irrigación de movimiento lateral, lineal o frontal, obtiene agua, ya sea de canales abiertos, o bien de mangueras flexibles, estos sistemas al igual que los sistemas de pivote central operan a bajas presiones. El sistema consiste de un número determinado de tubos horizontales de conducción con aspersores adheridos. Los tubos de conducción en este sistema varían de 30 a 60 m de longitud, la envergadura de riego puede incrementarse al adicionar más tubos de conducción, existen sistemas de hasta 1.5 Km. (14)

Cada tubo de conducción está montado sobre un par de ruedas, las cuales son conducidas, al igual que las torres en el sistema de pivote central, por motores eléctricos. Este método de riego es considerado uno de los más precisos para la aplicación de agua al suelo, de esa manera, áreas extensas pueden regarse con altas eficiencias de aplicación; el sistema permite variar los rangos de aplicación con una simple variación de la velocidad de desplazamiento. (14)

2.4.4.2 Diferencias operativas y financieras entre los sistemas de aspersión tipo cañones y miniaspersión.

El sistema de miniaspersión mejora la eficiencia de horas/día trabajados (menos horas perdidas). Aumenta el área regada por día en 54.28 %; aplica un 17 % más de lámina de riego por evento; mejora la relación hectáreas regadas por hora de operación; es 8.1% más uniforme; opera con baja intensidad de riego; mejora la distribución de la lámina de riego en el perfil del suelo, demanda menos potencia, por lo tanto el consumo de combustible por hora disminuye en un 46 por ciento. Facilita la logística de la operación del riego. (2)

En cuanto a costos la miniaspersión disminuye el costo de la hectárea regada en un 29.44 por ciento. El costo de inversión por hectárea regada es un 6.37 por ciento menor; el costo de mano de obra disminuye en 41.86 por ciento y, el costo de maquinaria también disminuye en un 9 por ciento. La reducción en costo de estos rubros trae como consecuencia que el costo del milímetro aplicado de riego disminuya al final en un 39.77 por ciento. (2)

2.4.4.3 Sistemas semifijos con ramales móviles, miniaspersión.

Constan en general de una tubería principal enterrada trazada por el centro de la parcela, que dispone de un conjunto de hidrantes o tomas donde se conectan los ramales portaaspersores móviles (laterales o alas de aspersores). Desde un mismo hidrante pueden realizarse varias posiciones de ramal a cada lado de la tubería principal.

La conducción principal suele ser de PVC o fibrocemento, tomando el que salga más barato, y los ramales móviles suelen ser de aluminio, acero galvanizado o de PVC especial para uso a la intemperie. (14)

La separación entre hidrantes depende del número de posiciones de ramal a realizar desde el mismo. Este número suele variar entre 3 y 7 según sea la forma y dimensiones de la parcela y el número de ramales disponibles, buscando un manejo sencillo y el mínimo coste económico. Hay que indicar que a mayor separación de hidrantes se necesita menor número de éstos pero es mayor la longitud de tubería secundaria (tubería de alimentación del ramal) y la mano de obra necesaria para moverla. (14)

El uso de este sistema de riego está en incremento y Magdalena utiliza bajo una mediana presión de operación entre 65 y 100 psi. En este caso, la tubería de las laterales son de aluminio de 63 mm de diámetro (2 ½") y de 6 m de largo.

Estas laterales son distribuidas a lo largo del módulo de riego, con la finalidad de hacer una correcta distribución de la presión de operación y que todo el sistema funcione correctamente. Desde un mismo hidrante serán colocadas tres posiciones, las cuales serán movilizadas por tres personas a cargo del módulo de riego, los cuales hacen el cambio en un tiempo promedio de 30 minutos por lateral.

A. Descripción de un lateral de riego

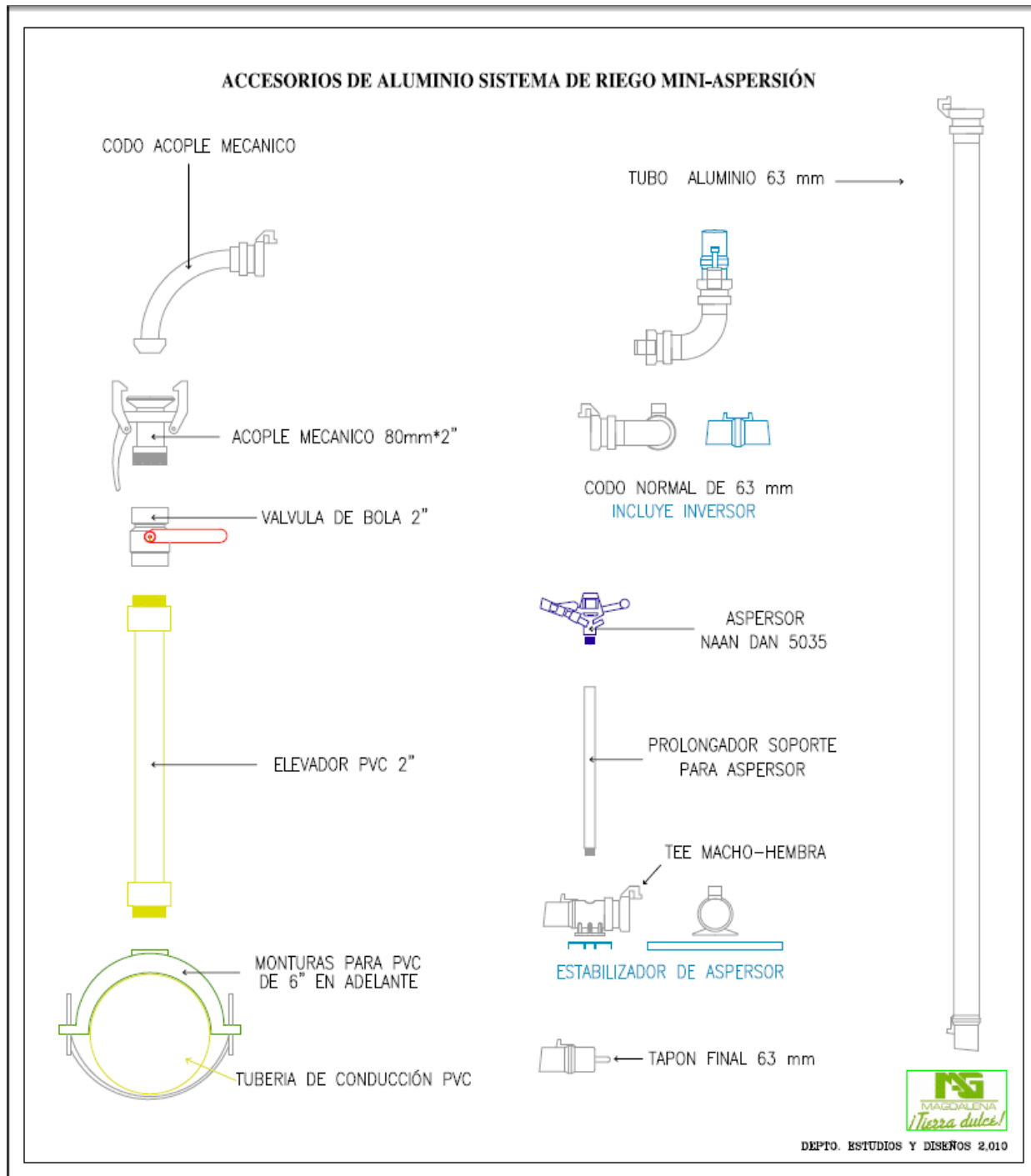


Figura 3: Accesorios utilizados por lateral de aluminio para miniaspersión.

Los accesorios utilizados por lateral son los siguientes:

- **Montura:** Pieza de metal, la cual abraza al tubo de pvc y se enrosca el elevador, es colocada desde diámetros de 6", para diámetros menores se utilizan reductores de pvc.
- **Elevador:** Es un segmento de tubo de pvc de 2" el cual tiene un adaptador macho en cada extremo, para enroscar la montura o reductor y la válvula de bola. Es usado para
- **Válvula de bola:** Es en esta pieza donde se inicia el aluminio, encargada de abrir y cerrar el flujo del agua. Tiene en ambos extremos rosca hembra, en uno de ellos es colocado el acople mecánico.
- **Acople mecánico:** Es el accesorio encargado de acoplar por medio de presión y de manera fácil la siguiente pieza. Es la última pieza que permanece en los hidrantes todo el tiempo.
- **Codo acople mecánico:** Accesorio que en un extremo tiene una forma pequeña con un empaque, la cual es introducida en el acople mecánico y presionado con la palanca de presión la que ayuda a que su desmontaje sea rápido.
- **Tubo de 63 mm:** Pieza de aluminio que en un extremo tiene un adaptador hembra y en el otro un macho. Son de 2.5" de diámetro y una longitud de 6 m.
- **Codo normal de 90°:** Es utilizado en la posición 1 y 2 del hidrante después de los 3 tubos colocados. Sirve para cambiar la dirección del agua y necesita un inversor para poder colocar los demás tubos ya que tiene adaptador hembra en ambos extremos.
- **Tee macho-hembra:** Accesorio encargado de recibir el prolongador con el aspersor, debajo se le coloca un estabilizador para que realice lo que su nombre indica y no se quiebre o caiga el prolongador con el aspersor.
- **Prolongador:** Es un segmento de tubo de aluminio de ¾" de diámetro y 1 m de longitud con rosca hembra en un extremo y macho en el otro, donde se coloca el aspersor. En lugares donde crece bastante el cultivo, como en San Nicolás se utilizan hasta 3 prolongadores.

- **Aspersor:** son los encargados de esparcir el agua sobre el terreno en forma de lluvia. Se utilizan en Magdalena la marca NaanDan, serie 5035 con una boquilla de 4 mm.

2.4.4.4 Sistema de Pivote central

Los sistemas de pivote central riegan superficies de grandes dimensiones de forma circular. Se emplean en sitios donde el agua es un factor fuertemente limitante. También en campos donde se desea aumentar la eficiencia del riego, aprovechando mejor el agua y aumentando fuertemente los rendimientos de los cultivos. La eficiencia en el riego por pivote es de un 85% a 90%.

Es un sistema que se adapta a las ondulaciones del terreno (este no necesita ser plano). Dependiendo del fabricante y del diseño del equipo se pueden utilizar en terrenos con hasta un 30% de pendiente. (15)

La distribución del agua a lo largo de la estructura la realiza el fabricante seleccionando el tamaño y la separación de los aspersores. Los aspersores ubicados cerca del centro del pivote necesitan entregar menor cantidad de agua que aquellos ubicados hacia el final. Con las nuevas tecnologías en aspersores para pivotes, los fabricantes han logrado bajar aún más la presión de operación de los aspersores (hasta 6-10psi =0.42-0.7 bar); y con ello, la presión de operación de los pivotes (y el consumo de energía).

La mayor proporción del mercado mundial de riego por pivote son de accionamiento eléctrico, ya que existen diversos fabricantes (Irrifrance, Chamsa, Valley, Pierce, Rokking, Reinke, Bauer). El saldo es de accionamiento hidráulico fabricado por T-L Irrigation Co (Hastings, Nebraska USA). (15)

Los pivotes de accionamiento eléctrico detienen cientos de veces cada día sus motores. La velocidad de los motores eléctricos es fija y cada una de las torres del pivote describe una circunferencia distinta. Para que el pivote, se desplace como un todo, deben detenerse las torres que van más avanzadas y esperar a que sean alcanzadas por las otras torres, y luego se ponen nuevamente en funcionamiento.

Los pivotes de accionamiento hidráulico regulan automáticamente la velocidad para cada una de sus torres, por lo cual, todas se encuentran en movimiento en forma simultánea, y a la velocidad requerida. Como todas las torres se mueven constantemente, la uniformidad en el riego es mayor.

Los pivotes pueden ser operados por simples tableros o hasta por complejos sistemas computarizados con comunicación vía telefónica o radio. En este caso, el pivote puede por ejemplo ponerse en funcionamiento dependiendo de la humedad del suelo o de las condiciones meteorológicas. (15)

En el ingenio Magdalena, son requeridas una persona para operar el pivote y un guardia de seguridad. En la finca San Nicolás, según el prediseño establecido, se tenía contemplado la instalación de 3 pivotes centrales de 500 m de radio y 3 de 450 m ya que el ancho de la finca al inicio (oeste) es de 1,000 m y al final (este) de 900 m.

2.4.5 Unidades que componen el sistema

El método de aspersión implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae. (14)

2.4.5.1 Grupo de bombeo

Un equipo de bombeo es un transformador de energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc. y la convierte en energía hidráulica, que un fluido adquiere en forma de presión, de posición y de velocidad.

Formado por una bomba y un motor que la hace trabajar.

- a) Motor:** Pueden ser de explosión, a gasolina o diesel, y eléctricos.
- b) Bombas:** Esencialmente, cada bomba consiste de dos partes: una parte rotativa llamada rotor o impulsor, y una parte estacionaria llamada cubierta, caja o carcasa. Cuando una fuerza es aplicada a la flecha del rotor, el agua puede ser desplazada (como un tornillo de Arquímedes), o ser forzada a un movimiento rotatorio y salir bajo presión (como una bomba impulsora). Las

bombas impulsoras rotativas son clasificadas por la dirección en la cual fluye el agua a través de rotor o impulsor. Los tres tipos posibles son: de flujo radial (centrífuga), flujo mixto y de flujo axial. (3)

- Bombas Centrífugas, como su nombre lo indica, emplean la fuerza centrífuga para aumentar la presión del agua y elevarla hacia lugares más altos, lo cual permite la operación de aspersores, goteros, etc. El agua entra a través del ojo del impulsor y es guiada por los alabes que aceleran el agua como consecuencia de la alta velocidad de rotación del impulsor; la fuerza centrífuga provoca que el agua fluya hacia la voluta en donde la energía de velocidad es convertida en presión.
- Bombas de turbina, están son colocadas en los pozos profundos. Algunas veces se les denomina “bombas periféricas”. Una turbina en esencia es una bomba centrífuga que está diseñada para ser usada con una o más etapas, lo cual permite multiplicar la presión desarrollada de acuerdo con el número de etapas o tazones. Las turbinas generalmente son de etapas múltiples, para lo cual se colocan varios tazones, uno encima de otro. Cada turbina recibe el flujo de agua y le aumenta la presión permitiendo llevar el agua hacia grandes elevaciones. Las bombas de turbina pueden ser diseñadas para caudales que varían entre 0.5 y 600 l/s. (3)

c) Tuberías: Una red de tuberías principales son las que llevan el agua hasta los hidrantes, que son la toma de agua en la parcela.

Una red de ramales de riego son las que conducen el agua hasta los emisores instalados en la parcela que se pretende regar. En el caso de tratarse de una máquina automotriz, esta red se sustituye por un ramal móvil que recorre la parcela. (3)

2.4.5.2 Red tuberías de transporte

Las tuberías usualmente empleadas en conducciones de agua pueden ser de los siguientes materiales: PVC (policloruro de vinilo), PE (polietileno), fibrocemento, hormigón, fundición, aluminio y acero.

El tipo de tubería más usada en los sistemas de riego tecnificados son las de PVC y PE, teniendo características de mayor resistencia mecánica las de PVC con relación a las de PE. Otra tubería muy usadas es la de aluminio, debido a su poco peso y su fácil sistema de acople. El aluminio es un material relativamente caro, existiendo en tubería de PVC sistemas de acople rápido idénticos al de las tuberías de aluminio siendo estas de un costo más bajo.

Las tuberías de hormigón, fibrocemento, fundición y acero se emplean para conducir grandes caudales y elevadas presiones. (8)

2.4.5.3 Emisores

- a) **Aspersores:** Son conductos abastecidos de un mecanismo que les permite rotar sobre su eje utilizando para esto la fuerza del agua. Para su funcionamiento necesitan de ciertas presiones que se hacen mayores a medida que sea necesario que aumente su caudal y alcance o área de mojado. Tanto el caudal como el alcance dependen del diámetro de la boquilla de salida del aspersor. (8)

Los aspersores se fabrican en dos tipos: fijos y rotatorios, estos últimos pueden ser de círculo completo o sectorizado. La rotación del aspersor se produce por el impacto de un martillo desplazado por el chorro de agua que golpea rítmicamente un soporte previsto para ello. El giro se consigue también por un mecanismo de turbina, o simplemente por efecto de reacción. (8)

Los aspersores se clasifican de acuerdo a su presión de trabajo en los siguientes tipos:

- **Aspersor de baja presión:** Los más usuales son los de impacto con una boquilla de diámetro inferior a 4 mm. Presión de trabajo menor de 2.5 kg/cm². Suministran caudales menores a 1,000 L/h. Utilizados en jardinería, hortalizas y frutales.

- Aspersor de presión intermedia: Presión de trabajo entre 2.5 y 4 kg/cm². Suelen llevar una o dos boquillas con diámetro entre 4 y 7 mm. Suministran caudales entre 1,000 y 6,000 L/h.
- Aspersor de alta presión: Son aspersores de gran tamaño, llamados también “cañones”, con una, dos o tres boquillas. Presión de trabajo superior a 4 kg/cm².

Los aspersores se clasifican según el mecanismo de giro en los siguientes tipos:

- Aspersor de impacto: Son los más utilizados en agricultura, son aspersores de giro lento.
- Aspersor de turbina o engranaje: Son aspersores de giro continuo, se utilizan principalmente en jardinería. En general son de gran tamaño, trabajan con altas presiones y suministran caudales elevados.
- Aspersor rotativo o de reacción: Tienen una o varias boquillas. La rotación del aspersor se produce por la propia salida de los chorros de agua. Su uso es frecuente en jardinería, horticultura, viveros, etc. (8)

También se clasifican según el área mojada, son los siguientes:

- Aspersores Circulares: Mojan una superficie de terreno circular, van colocados en el interior de la parcela a regar.
- Aspersores Sectoriales: Tienen la opción de girar solo formando un sector circular, suelen situarse en los bordes de las parcelas para regar esquinas y laterales. (8)

2.4.5.4 Accesorios

Son los accesorios usados para unir tuberías en virtud de la geometría de la instalación, estos se fabrican en diversos materiales tales como, PVC, PE, bronce, aluminio, acero, fundición, hormigón, etc.

2.4.5.5 Equipo de Control y Medida

- a) Válvulas:** Son dispositivos de cierre que permiten regular el paso de agua por las tuberías, construyéndose de materiales variados. Existen dos grupos de válvulas: las manuales y las automáticas, estas dos últimas se dividen en dos subgrupos: válvulas hidráulicas y electroválvulas.
- Las válvulas manuales son accionadas en forma manual, regulando el caudal de acuerdo a la abertura de la misma. Entre ellas se distinguen las válvulas de bola, de compuerta, etc.

 - Las válvulas automáticas funcionan en abierto o cerrado, previa regulación de la abertura de la válvula en forma manual. El accionamiento es mediante una válvula piloto que libera la presión hacia la atmósfera, acumulada dentro de la válvula, haciendo que esta se abra o se cierre. La respuesta de la válvula piloto ocurre por diferencia de presiones dentro de la válvula en el caso hidráulico y por impulsos eléctricos enviados desde un centro de control en la electroválvula.

 - Válvula de pie: Es indispensable en toda instalación de bombeo, se coloca al comienzo de la línea de succión y se abre en el momento en que la bomba comienza a aspirar el líquido en forma automática, ya que posee una compuerta flotante en forma de disco que sube y abre el sistema al ser arrastrada por el flujo de agua producto del bombeo, una vez detenida la bomba su cierre es inmediato debido a que la compuerta es empujada por el peso del agua acumulada en la tubería impidiendo que la línea y la bomba se descebe.

 - Válvula de retención: Es usada como dispositivo de seguridad, al detenerse una bomba en forma instantánea, producto de fallo del motor o del suministro de energía.
- b) Medidor:** Es un aparato destinado a medir las cantidad de agua circulante.

- c) Rotámetro: Son los aparatos destinados a medir el caudal o valor instantáneo del flujo de agua, dado normalmente en metros cúbicos por hora.
- d) Manómetro: Es un aparato destinado a medir la presión en un punto del circuito.

2.4.5.6 Filtros: Es normal que el agua proveniente de pozos, ríos, canales, etc., lleve consigo partículas minerales en suspensión además de bacterias y pequeñas algas al entrar en la red de riego; para evitar el paso de estos materiales y evitar las obturaciones, es necesario filtrar el agua.

a) Filtros para pre filtrado

- Filtros de Grava
- Decantadores

b) Tipos de Filtros

- Hidrociclón
- Filtros de Arena
- Filtros de Malla
- Filtros de Anillas

(8)

2.4.6 Diseño del Sistema de Riego

Este tiene dos partes bien diferenciadas, el diseño agronómico y el diseño hidráulico. Con el primero se aborda la adecuación del sistema a todos aquellos aspectos relacionados con los condicionantes del medio (suelo, cultivo, clima, parcelación, etc.) y con el segundo se realiza el dimensionamiento más económico de la red de tuberías con el objetivo de conseguir un reparto uniforme del agua de riego. (14)

2.4.6.1 Información de partida

La información de partida necesaria se refiere a:

- Plano de la parcela a transformar (con curvas de nivel) reflejando los límites, puntos de captación de agua, redes de caminos, cursos de agua, condicionantes del relieve, área total a regar, etc.

- Caudal disponible y calidad del agua. Con el caudal puede hacerse una estimación de la superficie regable.
- Datos del suelo. Interviene como almacén regulador de humedad y como factor limitante de la pluviometría del sistema. Habrá que conocer su capacidad de campo, punto de marchitamiento, velocidad de infiltración estabilizada, densidad aparente, profundidad, etc. para poder determinar la dosis de riego.
Ante la imposibilidad de encontrar áreas de riego homogéneas, normalmente se asociarán varios tipos de suelo para regarlos con análogos criterios en cuanto a dosis de riego e intensidad de lluvia.
- Datos de cultivo. Deberá tenerse en cuenta la alternativa de cultivos, la profundidad radicular máxima, las necesidades hídricas punta durante el ciclo de cultivo, el marco de plantación, las labores a realizar, etc.
- Datos de clima. Deberán conocerse todos aquellos datos climáticos que intervienen en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, y de manera especial interesa conocer los datos sobre las condiciones de viento por ser este el principal distorsionador del reparto de agua en riego por aspersión.
- Datos de riego. Generalmente se fijará de antemano la eficiencia de riego que se pretende con el diseño, el tiempo disponible de riego al día y los días libres de riego durante un ciclo de riego.

Otros aspectos a considerar incluyen las condiciones estructurales del suelo, su salinidad y la del agua de riego, etc., así como el tipo de cobertura vegetal, al estar relacionado con el peligro de erosión y con la frecuencia en suelos parcialmente desnudos origina más pérdidas por evaporación. (14)

2.4.6.2 Diseño agronómico

Como se sabe, el objetivo del riego es suministrar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua adicional a la precipitación que necesitan para su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de sales de forma que evite su acumulación en el perfil del suelo, asegurando la sostenibilidad del riego.

El diseño agronómico es una parte fundamental del proyecto de riego, presentando ciertas dificultades, tanto de tipo conceptual como de cuantificación de ciertos parámetros, por el gran número de condicionantes que ha de tener en cuenta (suelo, clima, cultivos, parcelación, etc.).

Podemos decir que se desarrolla en dos fases:

- a) Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos: Los métodos de cálculo de las necesidades de agua pueden ser: en base a experimentación local o mediante fórmulas empíricas. Para el primer procedimiento suelen utilizarse lisímetros, gravimétricos o de capa freática, con cuya extrapolación de resultados para aplicarlos a casos concretos hay que tener mucho cuidado por la gran variedad de factores que intervienen en el proceso. Los métodos empíricos evalúan la evapotranspiración en base a datos climáticos medidos y a otros factores.
- b) Determinación de los parámetros de riego: dosis, frecuencia o intervalo entre riegos, duración del riego, número de emisores por postura, caudal necesario, etc.

Datos que se necesitan para realizar el diseño agronómico:

A. Lámina Neta (LN)

Se refiere a la cantidad de agua a aplicar por unidad de superficie durante un período de riego. Se le denomina la lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA). Se calcula de la siguiente manera:

$$LHA = \frac{(CC - PMP) * Da * ZR}{100}$$

Donde:

LHA = Lámina de humedad aprovechable (cm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cc)

ZR = Zona radicular (cm)

$$\text{LHRA} = \text{DPM} * \text{LHA}$$

Donde:

LHRA = Lámina de humedad rápidamente aprovechable (cm)

DPM = Déficit permitido de manejo (en forma decimal)

LHA = Lámina de humedad aprovechable (cm)

B. Requerimiento Bruto de Agua (RB)

Se llama así a la cantidad de agua consumida por los cultivos o que se ha evaporado durante un intervalo de tiempo. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{RB} = \text{Uso consumo cultivo} / \eta$$

Donde:

RB = Requerimiento Bruto (mm/día)

Uso consumo cultivo = $K_c * E_{To}$

K_c = Coeficiente de cultivo, variable con el propio cultivo y con su periodo vegetativo.

E_{To} = Evapotranspiración del cultivo de referencia, expresado en (mm/día).

η = Rendimiento total del tipo de riego tecnificado a usar.

Frecuencia de riego (FR)

Es el intervalo de tiempo entre riegos y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{FR} = \text{LN} / \text{RB}$$

Donde:

FR = Frecuencia de riego (días)

LN = Lámina neta (mm)

RB = Requerimiento bruto (mm/día)

2.4.6.3 Diseño hidráulico

El diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de distribución y del óptimo trazado de la misma. Los ramales laterales, portaaspersores o alas de riego son los que distribuyen el agua al cultivo por medio de los aspersores acoplados a ellos. Las tuberías portlaterales o de alimentación son de donde derivan los laterales. Tanto en laterales como en portlaterales se da el caso de una conducción con salidas múltiples distribuidas a lo largo de ella, uniformemente espaciadas y por las que descarga el mismo caudal. (7)

$$Q = n * q$$

Donde:

Q = Caudal aplicado

N = Número de salidas

q = Caudal de cada salida

(7)

A. Pérdidas de Carga

Es la pérdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene.

(8)

A.1 Cálculo de pérdidas de Carga en Tuberías

La fricción se produce en el interior de las tuberías producto del paso de agua, a mayor velocidad del agua y menor diámetro de tubería mayor es la fricción, la que resta energía al agua, la que es entregada por la bomba; por lo que es necesario aplicar más energía a la bomba para que esto se revierta. (11)

Fórmula de Hazen-Williams

$$H_f = 1.131 * 10^9 (Q / C)^{1.852} * D^{-4.87} * L$$

Donde:

H_f = Pérdida por fricción en metros m.

Q = Caudal en m^3 / hora

D = Diámetro interior de tubería en mm.

L = Largo total de tubería en m.

C = Coeficiente de rugosidad que depende del material del tubo

(3)

Valores del coeficiente	
Material de la tubería	C
P.V.C.	150
Polietileno	140
Aluminio	130
Asbesto-Cemento	140
Aluminio con acoples	120
Hierro galvanizado	120
Acero nuevo	110
Hormigón	95
Acero, 5 años	90

Fuente: Cabrera

Cuadro 4. Valores del coeficiente fricción (C) utilizado en la ecuación de Hazen-Williams

En los sistemas de riego, la línea de impulsión se divide en línea principal, secundaria y ramal. El cálculo de la pérdida de carga total se puede hacer en forma individual para cada línea y sub-línea o en forma general dejándola expresada en función del caudal.

Luego la pérdida total en la línea es:

$$H_f (\text{total línea}) = H_f (\text{línea principal}) + H_f (\text{línea secundaria}) + H_f (\text{ramal})$$

Además se debe incluir en los cálculos las pérdidas producidas por accesorios, válvulas, etc., que se encuentren instalados en el tramo elegido. (11)

A.2 Pérdida de carga con salidas múltiples

Como la tubería lateral tiene salidas (en cada aspersor) entonces la H_f debe multiplicarse por un factor "F" obtenido en el cuadro número 3. La pérdida por fricción (h_f) en una tubería con salidas se calcula así:

$$H_f = h_f * F$$

No. de Salidas	Valor de F.	No. de Salidas	Valor de F.
1.....	1.000	20.....	0.372
2.....	0.634	25.....	0.365
3.....	0.528	30.....	0.362
4.....	0.480	35.....	0.359
5.....	0.451	40.....	0.357
10.....	0.396	50.....	0.355
15.....	0.379		

Fuente: Sandoval

Cuadro 5. Factor (F) para calcular pérdidas por fricción en tubería con salidas múltiples.

A.3 Pérdidas menores

Estas pérdidas son debidas a válvulas, uniones, codos, reductores de diámetro, etc. Aunque en algunas condiciones éstas suelen ser pérdidas grandes, son mal llamadas pérdidas menores. En el cuadro número 4 se observan diferentes valores de K, según el accesorio. Estas pérdidas se determinan experimentalmente, y se expresa en función de: $h_e = K (V^2 / 2g)$

Donde:

h_e = Pérdidas menores en mca

K = Factor utilizado para perdidas en accesorios

V^2 = Velocidad al cuadrado en m/s

$2g$ = 2 veces la gravedad (9.81m/s²)

ELEMENTO	K
Válvula de globo (abierta completamente)	10
Válvula de ángulo (abierta totalmente)	5
Válvula de seguridad (abierta completamente)	2,5
Válvula compuerta (abierta completamente)	0,19
Codo con U	2.2
Empalme con T normal	1,8
Codo 90°	0,9
Codo 45°	0,42

Fuente: Gaete

Cuadro 6. Valores de K para diferentes accesorios

Para el cálculo de reducciones o ensanches se debe tomar el valor del diámetro menor. Para efectos de cálculo, se procede a efectuar la suma de pérdidas secundarias individuales, encontradas en los tramos donde se efectuó el cálculo de pérdidas de carga para tubería, tanto en la succión como en la impulsión. (8)

B Elección del diámetro adecuado en tuberías y accesorios

La pérdida secundaria total del sistema, es la suma de todas las pérdidas secundarias que se encuentran en la línea de tubería. (8)

En el caso que se utilicen tuberías de pequeño diámetro para un caudal elevado y una longitud de impulsión considerable, por un lado se tendrá un bajo costo en la adquisición de las cañerías, pero dicho diámetro provoca una gran pérdida de carga obligando al uso de equipos de bombeo de gran tamaño y alto costo, y viceversa. Se recomienda que el diámetro de las tuberías sea 1.5 a 2 veces el diámetro de salida de la bomba, dependiendo del largo de la línea. (1)

B.1 Elección de Emisores

Podemos decir que los parámetros de decisión dependen del tipo de cultivo, tipo de suelo, clima, etc., además del factor económico. Para un mismo caso se puede elegir entre emisores que entreguen un bajo caudal individual, siendo la suma de sus

caudales satisfactoria para el abastecimiento de agua, o un solo emisor que entregue el caudal de todos. (1)

Por lo tanto se recomienda:

- Elegir un tipo de emisor que cumpla con todos los requerimientos del cultivo, clima, tipo de suelo, etc.
- Si se da el caso que exista más de un emisor favorable, elegir el de menor costo conservando la calidad. (1)

B.1.1 Elección de aspersores

La elección de un tipo de aspersor depende del cultivo a regar:

- Para el caso de empastadas y cultivos de gran envergadura se recomienda de aspersores gigantes.
- Para cultivos de hortalizas aspersores de baja presión
- Para frutales aspersores de media presión y ángulo bajo de salida.

C. Elección de equipo de impulsión

Se necesita conocer el caudal total y la presión de operación del sistema. La potencia necesaria para hacer funcionar todo el sistema depende de estos dos factores, donde está implícito el tipo de energía a utilizar. (1)

Para conocer el caudal total del sistema es necesario conocer el caudal total absorbido por los emisores.

C.1 Caudal total absorbido por los emisores

Es el producto entre el caudal que entrega el emisor por el número de emisores sobre una línea y por el número de líneas operando a la vez. Se expresa en litros/hora, galones/minuto, etc. aunque en la fórmula de potencia debe ir expresado en m^3/seg . (1)

C.2 Presión requerida

La presión requerida para que funcione el sistema es equivalente a la suma de: la pérdida de carga primaria producida en líneas principales, líneas secundarias y

ramales, la pérdida de carga secundaria producida en fittings, la pérdida de carga según catálogo de filtros, aparatos de control, emisores, etc. y la diferencia de cotas entre la superficie del pozo o canal y el terreno a regar. (1)

C.3 Potencia requerida

La potencia requerida para que el sistema de riego opere eficientemente depende del caudal y presión total del sistema, calculándose como:

$$P.R = \frac{(Q_t * P_t * 1,000 * 9.8)}{(\eta * 746)}$$

Donde:

P. R = Potencia requerida (Hp)

Q_t = Caudal total (m³/seg)

P_t = Presión total (m.c.a)

η = Rendimiento por efectos de transmisión de potencia

Obtenida la potencia y conociendo la disponibilidad de energía, se elige el tipo de motor con que opere el sistema.

Para potencias de 0 a 2 HP, se recomienda el uso de motobombas eléctricas monofásicas; para potencias superiores se recomienda el uso de motobombas eléctricas trifásicas, bencineras o petroleras. (1)

C.4 Consumo de combustible y lubricante

El consumo en litros de combustible se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Consumo de Combustible} = (PR * TARE * 0.2) / 0.8 \text{ (litros)}$$

Donde:

PR = Potencia requerida por el sistema en HP

TARE= Tiempo de aplicación de riego para emisores en horas

Con los datos anteriores se puede calcular el Costo de combustible, de la siguiente forma:

Costo de combustible = Consumo * Valor combustible

Para el cálculo de consumo de lubricante, se recomienda que el recambio de este sea cada 50 horas de trabajo de motor. (1)

2.4.7 Caña de azúcar (*Saccharum spp. L.*)

2.4.7.1 Descripción de la especie

La caña de azúcar es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio se forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña con la energía tomada del sol durante la fotosíntesis, constituye el cultivo de mayor importancia desde el punto de vista de la producción azucarera, además representa una actividad productiva y posee varios subproductos, entre ellos la producción de energía eléctrica derivada de la combustión del bagazo, alcohol de diferentes grados como carburante o farmacéutico. (5)

2.4.7.2 Requerimiento de agua en la caña de azúcar

El requerimiento de agua para la caña de azúcar varía de 1.600 a 2.500 mm/año. Esta variación se debe principalmente a la zona en que se desarrolla el cultivo, aunque las necesidades de agua varían también según la etapa de crecimiento en que se encuentra la planta.

La precipitación anual adecuada para este cultivo es de 1.500 mm bien distribuida durante el período de crecimiento (nueve meses).

Las necesidades de agua en caña de azúcar varían dependiendo del estado de desarrollo del cultivo y de las condiciones climáticas imperantes en la zona. Así, la transpiración del cultivo aumenta durante el período de desarrollo y disminuye cuando llega a su fase culminativa de crecimiento.

La caña necesita la mayor disponibilidad de agua en la etapa de crecimiento y desarrollo, durante el período de maduración esta cantidad debe reducirse, para

restringir el crecimiento y lograr el acumulo de sacarosa. La eficiencia del uso del agua significa una alta producción con una mínima cantidad de agua aplicada. Esta relación sistemática se puede lograr aplicando la cantidad de agua requerida tan precisa como sea posible sobre el área de cultivo y aumentando los rendimientos con el mejor manejo posible de las prácticas de cultivo. (3)

El agua que se aplica a la caña de azúcar no es aprovechada en su totalidad por lo que hay que aplicar más de lo estrictamente necesario. La eficiencia media del agua aplicada por gravedad es del 40% y la de riego por aspersión del 70%.

La disponibilidad adecuada de humedad durante el período de crecimiento de caña de azúcar es importante para obtener rendimientos máximos, debido a que el crecimiento vegetativo es directamente proporcional al agua transpirada. (10)

En el país se usan tres métodos de riego: riego por surcos, goteo y riego por aspersión.

2.4.7.3. Requerimientos climáticos y edáficos de la caña de azúcar

La temperatura, la humedad y la luminosidad, son los principales factores del clima que controlan el desarrollo de la caña. La caña de azúcar es una planta tropical y se desarrolla mejor en lugares calientes y soleados. Cuando prevalecen temperaturas altas la caña de azúcar alcanza un gran crecimiento vegetativo y bajo estas condiciones la fotosíntesis se desplaza, hacia la producción de carbohidratos de alto peso molecular, como la celulosa y otras materias que constituyen el follaje y el soporte fibroso del tallo. Se tienen reportes que a bajas temperaturas todas las variedades de caña tienen una menor eficiencia y más baja proporción de desarrollo. La caña de azúcar se cultiva con éxito en la mayoría de suelos, estos deben contener materia orgánica y presentar buen drenaje tanto externo como interno, y que su pH oscile entre 5.5 a 7.8 para su óptimo desarrollo. (3)

2.4.7.4 Sistema radicular de la caña de azúcar

El sistema radicular del cultivo de caña de azúcar brinda anclaje, soporte mecánico y es el medio por el cual la planta absorbe agua y nutrientes del suelo. Durante el desarrollo

del cultivo se forman dos tipos de raíces; las raíces primordiales y las raíces permanentes; las primordiales se forman luego de haber cultivado la semilla de caña de azúcar, las raíces primordiales son delgadas y muy ramificadas, desaparecen cuando ya existen macollos; las raíces permanentes son las que brotan de los tejidos de las macollas. (12)

2.4.7.5 Zona radicular de diseño

Evaluaciones sobre el crecimiento y distribución de las raíces de caña han demostrado que en los primeros 40 centímetros (cm) de profundidad del perfil del suelo se concentra entre el 80 y 90 % de las raíces. En esta área es donde se absorbe aproximadamente el 85 % del agua, sin embargo la profundidad de raíces puede alcanzar hasta 120 cm. (12)

2.5 MARCO REFERENCIAL

2.5.1 Antecedentes del riego en el Ingenio Magdalena

En los últimos años el riego se ha convertido en parte fundamental del desarrollo fenológico de la caña de azúcar, por el incremento de producción que se ve reflejada gracias al mismo.

Actualmente el Ingenio Magdalena tiene un área bajo riego de 36,200 ha y 10,700 ha sin riego, formando un total de 46,900 ha cultivadas con caña de azúcar, sin embargo en los últimos tiempos ha enfocado sus esfuerzos en desarrollar el riego por miniaspersión, quedando atrás el riego por cañones, esta transición ha sido desde el año 2006 donde se inició con 1,495 ha y se ha dado gracias a los buenos resultados observados en campo.

Hasta la fecha esta empresa tiene dividido el riego de la siguiente forma:

- Riego por gravedad 6,700 ha
- Riego mecanizado 3,300 ha
- Riego por cañones 11,800 ha
- Riego por miniaspersión 14,400 ha

2.5.2 Finca San Nicolás

2.5.2.1 Ubicación

La finca San Nicolás está localizada en el sector ICAN del parcelamiento San José La Máquina, en el municipio de Cuyotenango del departamento de Suchitepéquez. Sus coordenadas geográficas son: Latitud Norte 14°42'40" y Longitud Oeste 89°57'26". Tiene una altitud promedio de 20 m.s.n.m.

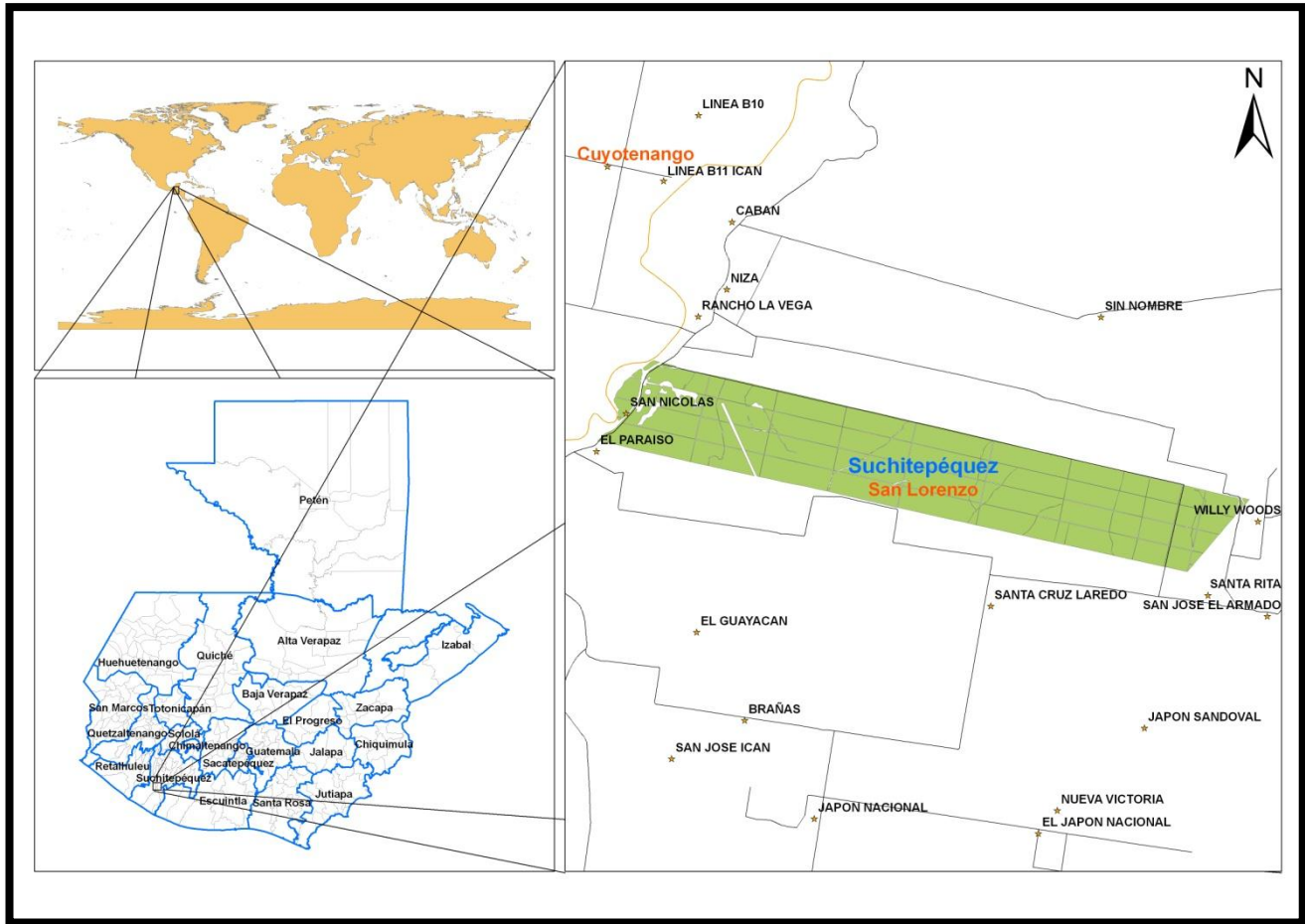


Figura 4. Macrolocalización de la finca San Nicolás

2.5.2.2 Colindancias

El terreno colinda al norte con la comunidad Las Vegas y otras parcelas, al sur con la comunidad el Paraíso y otras parcelas, al este con la comunidad Santa Rita y al oeste con el río Icán.

2.5.2.3 Área total

Cuenta con un área total de 721 hectáreas, de las cuales 646 hectáreas son cultivables.

2.5.2.4 Suelos

La serie de suelos predominantes, según Simmons, Tarano y Pinto, 1959 se clasifican en Ixtán Arcilla y en menor escala la Ixtán Franco-Limoso; aunque se encuentran suelos

de la serie Champerico en pequeñas áreas asociadas con las anteriores. La topografía es ondulada con una pendiente suave hacia la costa. (12)

2.5.2.5 Clima

Se encuentra ubicada a una altura que varía entre 20 y 36 metros sobre el nivel del mar. Ecológicamente, está clasificado como zona sub-tropical seca, en la mayor parte de su área (Holdrige, 1974) con una temperatura media de 27°C, una máxima media de 35°C y una mínima de 20°C sin mayor variación durante todo el año. La precipitación anual es de 1860 mm distribuidos en los meses de mayo a octubre principalmente. (12)

2.5.2.6 Topografía

La Topografía del lugar es en ciertas partes ondulada en otras planas con grandes extensiones dedicadas a la agricultura, cuenta con varios ríos los cuales sirven de riego para los diferentes cultivos. (12)

2.5.3 Parcelamiento La Máquina

Se encuentra situado en la jurisdicción de dos municipios, siendo Cuyotenango y San Andrés Villa Seca, en los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu, con una extensión de 34,478 ha, divididas en 1,200 parcelas aproximadamente, en su mayoría con tamaños de 20 hectáreas y excepcionalmente de 45 ha, además se tienen contempladas áreas forestales, fajas, y calles, lo que da un área agrícola de 24,000 ha, divididas en tres sectores A, B y C; de los cuales el sector C, es el mayor, ocupando el 50% del área del parcelamiento. Además hay dos centros urbanos, que se ubican el Sector A y C. (12)

El Parcelamiento San José la Máquina es considerado como el principal granero (por cultivar granos básicos como el maíz, ajonjolí, frijol, etc.) a nivel centroamericano. También se cultiva el hule en grandes proporciones y muchos frutos y últimamente se ha cultivado en fincas que eran ganaderas grandes extensiones de caña. (12)

2.5.4 Cuyotenango

Su nombre quiere decir tierra de coyotes, el municipio de Cuyotenango del departamento de Suchitepéquez, cuenta con una extensión territorial de 238 Km². Está situado en la región VI o región Sur Occidental a una altura de 371.13 metros sobre el nivel del mar y a una distancia de 165 kilómetros de la Ciudad Capital de Guatemala. La cabecera departamental de Suchitepéquez es Mazatenango y sus colindancias son:

Al Norte: Con el municipio de San Francisco Zapotitlán,

Al Sur: Con el municipio de Mazatenango.

Al Este: Con el municipio de Mazatenango y

Al Oeste: Con el municipio de san Andrés Villaseca del departamento de Retalhuleu.

Entre los ríos con que cuenta está El Icán, El Sís, El Sulá y El Nimá, ríos que cuentan con un fuerte caudal. Su altura en la parte alta es de 1650 pies sobre el nivel del mar y en la baja a 22 pies sobre el nivel del mar.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo General

Formular un sistema de riego por aspersión para caña de azúcar en la finca San Nicolás, Cuyotenango Suchitepéquez,

2.6.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un análisis de alternativas, evaluando los sistemas de riego por mini aspersión y pivote central para ser desarrollados en finca San Nicolás
- Realizar el diseño agronómico e hidráulico del sistema de riego a instalar.
- Determinar los parámetros técnicos de instalación y operación de un sistema de riego por aspersión, en finca San Nicolás.

2.7 METODOLOGÍA

I Fase: Recopilación de datos de información

a. **Descripción del área de estudio:** En esta fase se recopiló la información necesaria para desarrollar el sistema de riego, tales como:

- Plano de la parcela a transformar (con curvas de nivel) reflejando los límites, puntos de captación de agua, redes de caminos, cursos de agua, condicionantes del relieve, área total a regar, etc. (Ver anexo, Figura 3.)
- Caudal disponible y calidad del agua, con el caudal puede hacerse una estimación de la superficie regable.
- Datos del suelo. Interviene como almacén regulador de humedad y como factor limitante de la pluviosidad del sistema.

Habrá que conocer su capacidad de campo, punto de marchitamiento, velocidad de infiltración estabilizada, densidad aparente, profundidad, etc., para poder determinar la dosis de riego.

Ante la imposibilidad de encontrar áreas de riego homogéneas, normalmente se asociarán varios tipos de suelo para regarlos con análogos criterios en cuanto a dosis de riego e intensidad de lluvia.

- Datos de cultivo: Deberá tenerse en cuenta la alternativa de cultivos, la profundidad radicular máxima, las necesidades hídricas punta durante el ciclo de cultivo, el marco de plantación, las labores a realizar, etc.
- Datos de clima: Deberán conocerse todos aquellos datos climáticos que intervienen en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, y de manera especial interesa conocer los datos sobre las condiciones de viento por ser éste el principal distorsionador del reparto de agua en riego por aspersión.

Otros aspectos a considerar son: Las condiciones estructurales del suelo, su salinidad y la del agua de riego, etc., así como el tipo de cobertura vegetal. Esta última está relacionada con el peligro de erosión y con la frecuencia de riegos a adoptar, ya que la

alta frecuencia en suelos parcialmente desnudos origina más pérdidas por evaporación.

(14)

II Fase: Concepción del proyecto

Cada proyecto de riego es diferente en su totalidad y en particular la finca San Nicolás, fue sometida a un análisis de toda la información recabada para determinar la forma más eficiente de regar. Ya que la idea principal era abastecer todo el sistema por medio del río Icán, ubicado en el lindero oeste de la finca, lo cual es de gran beneficio para la empresa ya que según datos del INSIVUMEH, el río Icán se encuentra dentro de los 10 principales ríos de Guatemala, con una longitud de 52.80 km y un caudal en el punto de control Bracitos de 34 m³/s, ubicado a 12 km aguas arriba de la finca San Nicolás.

Se estableció a través de un prediseño realizado a groso modo, que era necesaria la instalación de 4 sistemas de bombeo, debido al caudal que se necesitaba de 8,000 gpm, tomando en cuenta un caudal de 12 gpm por hectárea, aplicando una lámina de riego diaria de 6mm.

Por tal motivo este proyecto estaba completamente abastecido; sin embargo se determinó que por la longitud de la finca de 7.3 km, la diferencia de nivel de 28 m y el caudal total requerido por más de 7,800 gpm, se vería encarecido en gran manera el proyecto de riego, por consiguiente se estableció que la mitad de la finca (320 ha) será abastecida por medio del río Icán y la otra mitad (321 ha) por medio de 4 pozos de 500 pies de profundidad, perforados a 18 " y entubados a 12", según resultados obtenidos en otras fincas, este aspecto será detallado en los resultados en la parte de perforación de pozos.

Otra de las razones por la cual se decidió regar de esta forma fue que de manera inmediata solo se contaban con 2 motores que aportaran estas condiciones, se tendría que esperar un tiempo prudencial para la importación de los mismos.

Por tal motivo y utilizando esta información se decidió regar de la siguiente forma:

- La mitad de la finca (parte oeste) 325 ha; utilizando el río Ican, del cual se utilizarían 3,900 gpm.
- La otra mitad (parte este) 320 ha; por medio de 4 pozos mecánicos, realizando 4 módulos de riego de 80 ha cada uno, para obtener de cada pozo 960 gpm.

Se decidió realizar módulos de riego de 80 ha, con la intención de no extraer más de 1000 gpm a cada pozo.

III Fase: Evaluación de alternativas de riego

Después de la toma de decisiones anteriores, en el proyecto fue requerido realizar un análisis económico de inversión, para determinar cuál sistema de riego por aspersión (pivote central o miniaspersión) era el más económico, ya que estos 2 sistemas se adaptaban bien a la finca.

IV Fase: Diseño del sistema de riego

a. Cálculo y elaboración del diseño agronómico: Se procedió a realizar el cálculo de las necesidades de agua del cultivo a desarrollar. La determinación de las necesidades de agua de los cultivos es el paso previo para establecer los volúmenes de agua que será necesario aportar con el riego.

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen (la que usan para crecimiento y fotosíntesis). La transpiración puede considerarse, por lo tanto, como el consumo de agua de la planta. Además debemos de considerar que hay pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del suelo.

Los pasos para determinar el diseño agronómico son:

1. Determinar láminas de riego (LHA, LHRA y Lbd)
2. Seleccionar el tipo de aspersor a usar (descarga, boquilla, diámetro de mojado, presión de operación, modelo).
3. Calcular el número de aspersores que van a funcionar simultáneamente (7)
4. Determinar intervalo de riego de diseño (Ird)
5. Definir la intensidad de riego (Ir)

6. Fijar el espaciamiento entre laterales (E_l) y aspersores (E_a)

La mano de obra para mover laterales es una variable que depende del tipo de sistema que se use. Para sistemas que se mueven a mano sobre cultivos de poca altura y hortalizas, el desplazamiento de la lateral requiere aproximadamente 1.25 a 1.5 horas-hombre por hectárea. Para cultivos altos tales como el maíz o la caña de azúcar bien pudiera requerirse el doble de horas-hombre. (14).

En el ingenio Magdalena para una lateral de 20 aspersores (240 m) utilizando a 3 personas, el tiempo promedio necesario para trasladar una lateral a otra posición es de 30 minutos.

Debe considerarse que la tubería de aluminio se vende en longitudes de 20 pies para 63 y 75 mm y 30 pies para diámetros mayores (6.1 y 9.1 m) y la de PVC en 20 pies, por lo que es conveniente que el E_l sea múltiplo de 20 o 30 pies y el E_a múltiplo de 20 pies.

Para los aspersores de presión intermedia, los espaciamientos más comunes son: 40 x 40, 60 x 80 pies (12 x 12, 12 x 18 y 18 x 24 metros). Cuando el viento es fuerte es preferible usar los espaciamientos menores.

Calculando las condiciones de operación:

- Área regada por lateral
- Área de riego por turno

b. Elaboración del Diseño Hidráulico

1. Cálculo de tuberías; principal y secundarias
2. Cálculo del ramal crítico de aspersores
3. Estudio de secciones de presión máxima y mínima
4. Cálculo del equipo de bombeo

V Fase: Instalación y ejecución del proyecto

- a. Perforación de pozos
- b. Instalación de la tubería de PVC
- c. Instalación del sistema de bombeo
- d. Elaboración de prueba hidráulica
- e. Entrega del proyecto

2.8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.8.1 Recopilación de datos

2.8.1.1 Determinación de la infiltración básica

Se realizó una prueba de infiltración utilizando el método del doble cilindro, determinando que el suelo de la finca San Nicolás tiene una infiltración básica promedio de 5.10 mm/hr (Ver Figura 5).

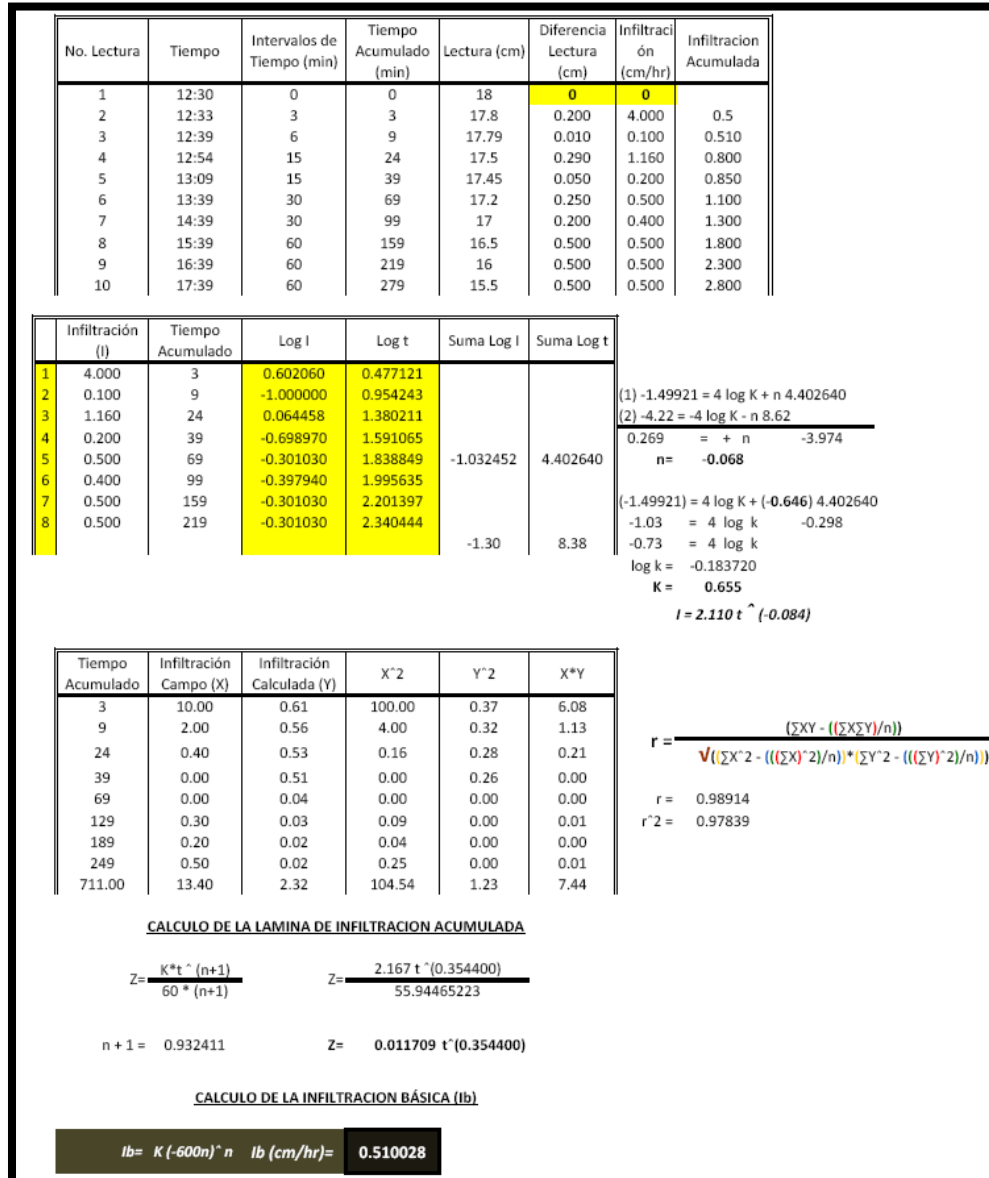


Figura 5. Cálculo de la infiltración básica

Como se puede observar en la Figura 3, la velocidad de infiltración básica promedio fue de 5.10 mm/hr, debido a la estructura y textura del suelo de esa finca, los cuales pertenecen al triángulo estructural de suelos arcillosos.

La velocidad de infiltración básica es una de las características del suelo más importante, para la determinación del sistema de riego, así como la operación y evaluación del mismo.

2.8.1.2 Propiedades de retención de humedad

Los suelos que se encuentran en la finca San Nicolás, pertenecen a la clase textural arcillosa, por lo tanto las propiedades físicas de retención de humedad que presentan estos suelos en promedio y que se utilizaron para los cálculos respectivos de requerimiento de agua son los siguientes:

D. Aparente (gr/ cm³)	CC (%)	PMP (%)
1.30	36	17

Fuente: Sandoval

Cuadro 7. Propiedades físicas del suelo arcilloso

2.8.1.3 Cultivo

Se desarrolló el cultivo de caña de azúcar, *Saccharum spp.*, el cual tiene una profundidad promedio del sistema radicular de 0.50 m y un requerimiento hídrico de 1,800 mm anuales.

2.8.2 Elaboración del pre-diseño con fines de caudal

Con la intención de realizar los cálculos necesarios para la concepción del proyecto, previamente determinamos ciertos parámetros, tales como el caudal mínimo de operación para aplicar la lámina requerida por el cultivo, una forma sencilla y rápida de obtener este valor el cual ya está establecido, que para aplicar una lámina de 6 mm

diarios de agua, es necesario contar con un caudal de 12 galones por minuto (gpm), este dato se obtiene mediante el siguiente cálculo:

Datos:

$$1 \text{ Ha} = 10,000\text{m}^2$$

$$1 \text{ mm de agua} = 0.001 \text{ m}$$

$$1 \text{ Ha} = 10 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo Riego} = 22 \text{ hrs}$$

$$\text{Factor para gpm} = 4.4$$

Entonces:

$$\frac{10 \text{ m}^3}{22 \text{ r TR}} = 0.45 \text{ m}^3 / \text{hr} * 4.4 = 2 \text{ gpm/ Ha}$$

$$22 \text{ r TR}$$

$$6 \text{ mm de agua} = 12 \text{ GPM/ Ha}$$

2.8.2.1 Evaluación de alternativas

Como se mencionó en el capítulo anterior, se estableció que el proyecto sería abastecido (fuente de agua) por medio del río Icán (325 ha) y mediante la perforación de 4 pozos, (321 ha).

Después de tomar en cuenta estos parámetros, fue necesario a través del departamento de ingeniería agrícola, realizar un análisis de inversión del presente proyecto, para determinar cuál de los sistemas entre miniaspersión y mecanizado por pivotes, era el sistema más económico, desde el punto de vista inversión del proyecto de riego.

Debido a que cada proyecto es diferente en todo tipo de condiciones, esta evaluación fue realizada tomando como base los valores económicos que se han tenido en otros proyectos y cotizaciones hechas a diferentes empresas como Tecún S.A., Agrológico S.A., Raesa S.A., entre otras.

2.8.2.2 Análisis de inversión

En los siguientes cuadros se detallan los costos de inversión aproximados, de acuerdo a un pre-diseño elaborado y resultados obtenidos en otros sistemas de riego, establecidos en la empresa, mediante un análisis que se llevó a cabo para establecer las condiciones antes mencionadas a desarrollar en la finca San Nicolás, bajo los parámetros más económicos.

COSTO DE INVERSION MINI BOMBEO DIRECTO 6 mm (MODULOS I, II)				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNI. \$	TOTAL (\$)
Motor 6081 H 267HP	2	uni	27,000.00	54,000
Bomba Cornell 6 HH	2	uni	7,500.00	15,000
Accesorios Succión - Descarga 15" y Valvulas	2	global	10,250.00	20,500
Tubería 04" PVC 100PSI	78	uni	17.90	1,396
Tubería 06" PVC 100PSI	74	uni	41.70	3,086
Tubería 08" PVC 100PSI	74	uni	70.40	5,210
Tubería 10" PVC 100PSI	185	uni	105.60	19,536
Tubería 12" PVC 100PSI	240	uni	148.70	35,688
Tubería 15" PVC 100PSI	474	uni	219.00	103,806
Tubería 15" PVC 125PSI	237	uni	274.30	65,009
Hidrantes Completos y Accesorios Conduccion PVC	2	global	11,900.00	23,800
Ramales de Aluminio	48	uni	2,000.00	96,000
Instalación Tubería PVC	7961	mts	5.00	39,805
Obra Civil	2	global	1,500.00	3,000
Imprevistos 5%	1	uni		24,292
TOTAL				\$ 510,127
COSTO DE INVERSION POR HECTAREA (320 HAS.)				\$ 1,594

BOMBEO	89,500
PVC	257,531
ALUMINIO	96,000
SERVICIOS	42,805
IMPREVISTOS	24,292

\$ 510,127

COSTO DE INVERSION MINI POZO MECANICO 6 mm (MODULOS III, IV, V, VI)				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNI. \$	TOTAL (\$)
Pozo Mecanico (300 pies)	2000	pies	100.00	200,000
Motor 6081 H 211HP	4	uni	25,000.00	100,000
Turbina N.P. J11-HC08	4	uni	38,000.00	152,000
Accesorios Pozo - Descarga 08" y Valvulas	4	global	4,200.00	16,800
Tubería 04" PVC 100PSI	997	uni	17.90	17,846
Tubería 06" PVC 125PSI	445	uni	50.30	22,384
Tubería 08" PVC 125PSI	13	uni	85.10	1,106
Hidrantes Completos y Accesorios Conduccion PVC	5	global	7,600.00	38,000
Ramales de Aluminio	48	uni	2,000.00	96,000
Instalación Tubería PVC	8509	mts	5.00	42,545
Obra Civil	4	global	1,000.00	4,000
Imprevistos 5%	1	uni		34,534
TOTAL				\$ 725,215
COSTO DE INVERSION POR HECTAREA (321 HAS.)				\$ 2,259

BOMBEO	268,800
PVC	79,336
ALUMINIO	96,000
SERVICIOS	46,545
IMPREVISTOS	34,534
POZO	200,000
TOTAL	\$ 725,215

Cuadro 8. Análisis de inversión utilizando miniaspersión en San Nicolás

En función del análisis de inversión que se desarrolló (Cuadro 6), el sistema aspersión tipo semifijo con ramales móviles (miniaspersión) estima un costo del proyecto de \$1.235,342.00 y \$3,853.00 por hectárea.

Utilizando este sistema de riego en la finca San Nicolás, tendríamos un área aprovechable o cultivable de 641 ha bajo riego.

COSTO DE INVERSION MECANIZADO BOMBEO DIRECTO 6 mm (MODULOS I, II, III)				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNI. \$	TOTAL (\$)
Motor 6081H 267HP	1	uni	27,000.00	27,000
Bomba Cornell 8 H	1	uni	9,000.00	9,000
Accesorios Succión - Descarga 15" y Valvulas	1	global	10,250.00	10,250
Tubería 12" PVC 100PSI	175	uni	148.70	26,023
Tubería 15" PVC 100PSI	175	uni	219.00	38,325
Tubería 15" PVC 125PSI (Linea Doble)	588	uni	274.30	161,288
Hidrantes Completos y Accesorios Conduccion PVC	1	global	3,200.00	3,200
Equipos Mecanizados "A"	3	uni	110,880.00	332,640
Instalación Tubería PVC	5482	mts	5.00	27,410
Obra Civil	4	global	1,500.00	6,000
Imprevistos 5%	1	uni		32,057
TOTAL				\$ 673,193
COSTO DE INVERSION POR HECTAREA (246 HAS.)				\$ 2,737

BOMBEO	46,250
PVC	228,836
Equipos Mec	332,640
SERVICIOS	33,410
IMPREVISTOS	32,057
TOTAL	\$ 673,193

COSTO DE INVERSION MECANIZADO POZO MECANICO 6 mm (MODULOS IV, V, VI)				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNI. \$	TOTAL (\$)
Pozo mecanico (300 pies)	900	pies	100.00	90,000
Motor 6081T 166HP	3	uni	22,000.00	66,000
Turbina N.P. K 12 HC 6	3	uni	38,000.00	114,000
Accesorios Descarga 8" y Valvulas	3	global	4,200.00	12,600
Tubería 08" PVC 100PSI	15	uni	70.40	1,056
Equipos Mecanizados "B"	3	uni	103,040.00	309,120
Instalación Tubería PVC	90	mts	5.00	450
Obra Civil Pozo	3	global	1,000.00	3,000
Obra Civil Pivote	3	global	1,500.00	4,500
Imprevistos 5%	1	uni		30,036
TOTAL				\$ 630,762
COSTO DE INVERSION POR HECTAREA (225 HAS.)				\$ 2,803

BOMBEO	192,600
PVC	1,056
Equipos Mec	309,120
SERVICIOS	7,950
IMPREVISTOS	30,036
Pozo	90,000
TOTAL	\$ 630,762

Cuadro 9. Análisis de inversión utilizando riego mecanizado en San Nicolás.

Según el análisis de inversión que se desarrolló, como podemos apreciar en el Cuadro 7, si se desarrolla el sistema de aspersión mecanizado tipo pivote central, tendríamos un costo total del proyecto de \$ 1.303,955.00 y \$ 5,540.00 por hectárea.

Ya que utilizando este sistema de riego en la finca San Nicolás, tendríamos un área aprovechable o cultivable de 471 Ha, como podemos observar el área bajo riego disminuye. Por esta razón se incrementa de manera significativa el costo por hectárea,

dado al área que quedaría sin cultivo, conocida comúnmente como área de diamantes. Esto se debe principalmente a que no es posible combinar dos tipos de riego con diferentes presiones de operación en un solo sistema de bombeo.

El aspecto económico fue sustancial para la toma de decisiones en cuanto a que sistema utilizar y fue esta la razón por la cual se decidió utilizar el sistema de riego por aspersión semifijo con ramales móviles (miniaspersión) para toda la finca San Nicolás. El criterio económico fue el costo de cada alternativa de riego/ha.

2.8.3 Descripción del proyecto a instalar

A diferencia del riego por cañones, en la miniaspersión se realiza la distribución de laterales independiente en cada módulo de riego, se hace esta distribución de acuerdo al caudal disponible y tratando de distribuir la presión por todo el sistema, para su correcto funcionamiento. De tal manera que, cada proyecto de riego es diferente en cuanto a su distribución y operación. Sin embargo se tienen parámetros establecidos para todos los proyectos, mencionados a continuación.

2.8.3.1 Módulo de riego

En el ingenio Magdalena se le denomina módulo de riego al área bajo riego cubierta por un equipo de riego, dependiendo del caudal disponible, en la finca San Nicolás se decidió regar de la siguiente forma:

- 2 módulos de riego, uno con 175 ha y el otro 150 ha, abastecidos por medio del río Icán.
- 4 módulos de riego, 3 con 80 ha y 1 con 81 ha, abastecidos por medio de 4 pozos de 500 pies de profundidad.

Con la intención de aumentar la vida útil de los pozos usados para abastecer el sistema, se estableció como parámetro de perforación no extraer más de 1100 gpm a cada pozo, por tal motivo se decidió perforar cuatro pozos, utilizando un caudal promedio de 960 gpm para un módulo de riego de 80 ha.

Por lo general se utiliza tubería de aluminio de 63 mm de diámetro con un total de 20 aspersores, esto significa que la longitud de los surcos es de 240 m, trazando calles al final de estos. La dirección de los surcos fue de norte a sur. De esta manera las calles están distribuidas a cada 240 m y recorren toda la finca de este a oeste.

2.8.3.2 Trazo de la finca

Utilizando el plano de la finca, en el cual se desarrolló un levantamiento de curvas a nivel, se realizó el trazo de rondas (5 m.), calles (6 m.) una calle central (10m) y la ruta cañera (12 m.) al norte de la finca, por la cual se trasladará la caña proveniente de otras fincas de la región sur-occidente del ingenio y otros ingenios. Con la intención de tener módulos de riego equidistantes, para lograr un mejor desarrollo de las labores varias del cultivo. (Figura 17).

2.8.3.3 Lamina de riego

Este aspecto es fundamental para la toma de decisiones de cualquier proyecto de riego, en el caso del Ingenio Magdalena, se ha establecido por medio de pruebas de campo a lo largo del tiempo, que la lámina diaria más eficiente es de 6mm, a pesar que la Eto establecida a lo largo de la costa sur es más baja, debido a esto es que anteriormente se utilizaban 4mm pero debido a bajos rendimientos de producción se estableció utilizar solamente 6mm como lamina básica de riego, por otro lado se ha seleccionado un aspersor que aporte una lámina por riego de 55.5 mm.

2.8.4 Componentes del sistema de riego utilizados

2.8.4.1 Aspersor

Es el componente más importante del sistema, ya que dé el parte todo el funcionamiento del mismo, en el ingenio Magdalena se ha utilizado hace varios años el aspersor NaanDan 5035, (ver anexos) con rosca macho de $\frac{3}{4}$ ", una boquilla de 4mm, la cual permite distribuir un caudal de 4.4 gpm, a una presión de operación de 45 psi, un diámetro de mojado de 28 m, con un espaciamiento de 12m x 18m, lo cual permite una pluviometría de 4.62 mm/hr.

2.8.4.2 Laterales porta aspersores

Estas son conformadas por una serie de tubos de aluminio de 63 mm de diámetro y una longitud de 6 m, además de diferentes accesorios, los cuales serán descritos a continuación. Se toma en cuenta que para 20 aspersores se necesita un total de 43 tubos. Colocando el primer aspersor a 6 m y después del último aspersor es necesario colocar un tubo denominado colero, el cual ayuda al sistema a mantenerlo limpio y libre de basura y arena, ya que por la presión es en el donde se depositan todas las impurezas que puedan tapar la boquilla del mismo.

2.8.4.3 Tubería principal

Esta es de material PVC unida por medio de junta rápida, enterada a diferentes profundidades según su diámetro. La célula del tubo fue requerida según la presión que debía soportar en la salida del sistema. Todos los accesorios como tees, codos, entre otros fueron de material epóxicos.

2.8.4.4 Tubería secundaria

Al igual que la principal es de material pvc, es toda la tubería en cual se instalaron los hidrantes de riego a una distancia de 54 m, válvulas de aire y de doble propósito.

2.8.4.5 Sistema de bombeo

Como se mencionó anteriormente, cada módulo de riego fue establecido por un sistema de bombeo, necesitando 6 equipos para todo el proyecto, en los cuales fue calculada su potencia según los parámetros de diseño requeridos.

- a) **Motores:** Se utilizaron 2 motores diesel para los módulos del río Icán, marca John Deere, serie 6081TF01, con una potencia de 175 Hp y 4 motores diesel, para los módulos de los pozos, marca John Deere, serie 6068TF-150, con una potencia de 125 Hp, con la intención de lograr la estabilidad y seguridad de los mismos, fueron anclados sobre bases de concreto.

- b) Bombas:** En el sistema de riego de la finca San Nicolás se utilizaron 2 bombas centrífugas marca Cornell, serie 5HH para el modulo I y II abastecidos por el canal de llamada del Río Ican, y 4 bombas verticales marca National Pump, serie J11HC de 6 Etapas, con cabezales de descarga marca National Pump serie HIPRO-16X8” y cabezales de engranajes marca Johnson, serie H150 (150 Hp), utilizadas en los 4 pozos.
- c) Válvula Cheque:** Estas Válvulas fueron colocadas en los 6 módulos pegados al cabezal de descarga en los pozos y en el concéntrico de las centrífugas, las cuales fueron de 8” de diámetro, cumpliendo con la función de evitar el golpe de ariete en la bomba vertical y centrífuga.
- d) Flujómetro:** Implemento de mucha importancia debido a que contabiliza el flujo de agua (caudal) del sistema, estos se colocaron 10 veces su diámetro aguas abajo y cinco veces su diámetro aguas arriba, partiendo del cabezal de descarga.
- e) Válvula Triple Acción:** Válvula hidráulica, la cual tiene la función de permitir la entrada y salida de aire, y salida del agua, las cuales fueron colocadas en cada estación de bombeo a 1 metro de longitud, partiendo del cabezal de descarga

2.8.5 Cálculo y elaboración del diseño agronómico para un módulo de 80 Ha:

$$2.8.5.1 \text{ LHA} = \frac{(\text{CC} - \text{PMP}) * \text{Da} * \text{ZR}}{100}$$

$$\text{LHA} = \frac{(36\% - 17\%)}{100} * 1.3 \text{ gr/cc} * 60 \text{ cm} = 14.82 \text{ cm}$$

2.8.5.2 LHRA = DPM * LHA

$$\text{LHRA} = 0.30 * 14.82 = 4.446 \text{ cm} = 44.46 \text{ mm}$$

2.8.5.3 Lbd = $\frac{\text{LHRA}}$

$$\text{Eap}$$

$$\text{Lbd} = \frac{4.446 \text{ cm}}{0.80} = 5.55 \text{ cm} = 55.5 \text{ mm}$$

2.8.5.4 Ird = $\frac{\text{Lbd}}$

$$\text{Et max}$$

$$\text{Ird} = \frac{5.55 \text{ cm}}{0.6 \text{ cm}} = 9.25 \text{ días} \quad 9 \text{ días frecuencia de riego}$$

2.8.5.5 Intensidad de riego

$$Q_{\text{asp}} = 4.4 \text{ gpm} = 1 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$A_{\text{asp}} = 12 \times 18 \text{ m} = 216 \text{ m}^2 = 0.0216 \text{ Ha}$$

$$\text{Intensidad de Riego (Ir)} = Q / A = 1 \text{ m}^3/\text{hr} / 216 \text{ m}^2 = 4.63 \text{ mm/hr}$$

$$\text{Como son 12 horas / turno} * 4.63 \text{ mm/hr} = 55.6 \text{ mm/turno.}$$

2.8.5.6 Área regada por lateral (Apl) = El * longitud del terreno a un lado de la principal

$$\text{Apl} = 18 \text{ m} * 240 \text{ m} = 4,320 \text{ m}^2$$

2.8.5.7 Área de riego por turno (Art) = $\frac{\text{A Total}}{\text{\# turnos}}$

$$\text{Art} = \frac{800,000 \text{ m}^2}{18 \text{ turnos}} = 44,444.44 \text{ m}^2/\text{turno}$$

2.8.5.8 Número de laterales (NI) = $\frac{Arpt}{Apl}$

Apl

$$NI = \frac{44,444.44 \text{ m}^2}{4,320 \text{ m}^2} = 10.28 \text{ laterales} = 11 \text{ laterales}$$

2.8.5.9 No. aspersores / lateral = $\frac{\text{longitud del terreno a un lado de la principal}}{Ea}$

Ea

$$\text{No. asp / lat} = \frac{240 \text{ m}}{12 \text{ m}} = 20 \text{ aspersores / lateral}$$

Cada lateral tendrá entonces 20 aspersores, en las cuales se debe colocar el primer aspersor a 6 m y el ultimo no se coloca al final (limite) del terreno ya que mojaría afuera del mismo sin necesidad, pero es conveniente dejar un tubo extra después del último aspersor (colero) para permitir que se deposite allí cualquier material que pueda obstruir la boquilla del aspersor.

(13)

San Nicolás 6 mm	RIO		POZO			
	63 mm	63 mm	63 mm	63 mm	63 mm	63 mm
	1	2	3	4	5	
Area de riego (has)	150	175	80	80	80	81
Lamina diaria de aplicación (mm)	6	6	6	6	6	6
Lamina por riego (mm)	55.6	55.6	55.6	55.6	55.6	55.6
frecuencia de riego (días)	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27
Area de riego/día (has)	17.11	19.96	9.13	9.13	9.13	9.24
Area de riego/asp (m ²)	216	216	216	217	216	217
# de aspersores calculado	396	462	211	210	211	213
# de ramales	19.80	23.10	10.56	10.51	10.56	10.64
# de ramales aproximado	20	24	11	11	11	11
# de aspersores real	400	480	220	220	220	220
diferencia	4	18	9	10	9	7
Caudal de bombeo (gpm)	1,760	2,112	968	968	968	968

Cuadro 10: Distribución del diseño agronómico en finca San Nicolás

2.8.6 Cálculo y elaboración del diseño hidráulico para un módulo de 80 Ha:

2.8.6.1 Caudal en la tubería lateral y principal

El caudal por lateral será:

$$\text{No de aspersores / lateral} * q_a = 20 * 4.4 \text{ gpm} = 88 \text{ gpm}$$

El caudal en la tubería principal será:

$$\text{No de laterales} * \text{caudal por lateral} = 11 * 88 \text{ gpm} = 968 \text{ gpm}$$

2.8.6.2 Diámetro de la tubería lateral

El diámetro de la tubería lateral a utilizar ya está dado, debido a que en este momento solamente se está utilizando tubería de aluminio de 63 mm de diámetro. Esto se debe a que por un lado es más económica y por otro que facilita las labores del cultivo de la finca, desarrollándolas de mejor manera utilizando este largo de surcos (240 m).

2.8.6.3 Pérdidas de carga por fricción (Hf)

Existen diferentes fórmulas para calcular las pérdidas de carga por fricción en tuberías, una de las más usadas en riego por aspersión es la de Hazen-Williams:

$$H_f = 1.131 * 10^9 (Q / C)^{1.852} * D^{-4.87} * L$$

$$H_f = 1.131 * 10^9 (20 / 130)^{1.852} * 63^{-4.87} * 240$$

$$H_f = 14.63 \text{ m}$$

$$h_f \text{ para salidas múltiples} = 14.63 * F = 14.63 * 0.370 = 5.41 \text{ m}$$

2.8.6.4 Carga requerida en la entrada del lateral

$$h_e = h_o + \frac{3}{4} h_f + \Delta z + H_e + h_m$$

Donde:

h_e = Carga requerida a la entrada del lateral (m)

h_o = Presión de operación del aspersor seleccionado (m)

h_f = Pérdida de carga por fricción en la tubería lateral (m)

Δz = Diferencia de altura entre la entrada del lateral y el final del lateral (m)

H_e = Altura del elevador (m)

h_m = Pérdidas de carga menores (10 % de h_f) (m)

$h_e = 31.50 + 0.75 (5.41) + 1 + 2 + 0.1 (5.41)$

$h_e = 39.09 \text{ m}$

2.8.6.5 Diámetro de la tubería principal

La tubería principal es de PVC (fija) y fue enterrada a una profundidad promedio de 1.10 m y evitar que sea dañada por las labores del cultivo.

Diseñar el diámetro de la tubería principal consiste en elegir el diámetro o diámetros con los cuales la operación resulte más económica. Se tiene que tomar en cuenta no sobrepasar la velocidad de 2.10 m/seg. En el departamento de ingeniería agrícola se utiliza una hoja electrónica (cuadro 10) para determinar cuáles son los diámetros más económicos a utilizar, en función de la buena operación del sistema de riego.

CALCULO DE LATERAL NO UNIFORME									
CAUDAL POR ASPERSOR				4.4	gpm.	PVC	150		
PRESION ULTIMO ASPERSOR				45	psi.	ALUM	130		
MARGEN DE SEGURIDAD				1		HG	110		
DATOS VARIABLES									
NO MODIFICAR									
TRAMO numero	LONG. m.	ASPER un.	CAUDAL gpm	CAUDAL total	DIAM. mm.	FRICCION psi	PRESION psi	VELOCID m/s	COEF C de friccion
1	12	1	4.40	4.40	63.00	0.00	45.00	0.09	130.00
2	12	1	4.40	8.80	63.00	0.01	45.02	0.18	130.00
3	12	1	4.40	13.20	63.00	0.03	45.05	0.27	130.00
4	12	1	4.40	17.60	63.00	0.05	45.10	0.36	130.00
5	12	1	4.40	22.00	63.00	0.08	45.18	0.45	130.00
6	12	1	4.40	26.40	63.00	0.11	45.29	0.53	130.00
7	12	1	4.40	30.80	63.00	0.15	45.44	0.62	130.00
8	12	1	4.40	35.20	63.00	0.19	45.63	0.71	130.00
9	12	1	4.40	39.60	63.00	0.23	45.86	0.80	130.00
10	12	1	4.40	44.00	63.00	0.28	46.14	0.89	130.00
11	12	1	4.40	48.40	63.00	0.34	46.48	0.98	130.00
12	12	1	4.40	52.80	63.00	0.40	46.88	1.07	130.00
13	12	1	4.40	57.20	63.00	0.46	47.34	1.16	130.00
14	12	1	4.40	61.60	63.00	0.53	47.87	1.25	130.00
15	12	1	4.40	66.00	63.00	0.60	48.48	1.34	130.00
16	12	1	4.40	70.40	63.00	0.68	49.16	1.42	130.00
17	12	1	4.40	74.80	63.00	0.76	49.92	1.51	130.00
18	12	1	4.40	79.20	63.00	0.84	50.76	1.60	130.00
19	12	1	4.40	83.60	63.00	0.93	51.69	1.69	130.00
20	12	1	4.40	88.00	63.00	1.03	52.72	1.78	130.00
21	162	0	0.00	88.00	108.00	0.77	53.49	0.61	150.00
22	162	20	88.00	176.00	108.00	2.78	56.27	1.21	150.00
23	216	20	88.00	264.00	160.00	1.16	57.43	0.83	150.00
24	260	60	264.00	528.00	160.00	5.03	62.45	1.66	150.00
25	15	100	440.00	968.00	208.00	2.68	65.13	1.80	150.00

Cuadro 11: Hoja electrónica utilizada para el cálculo de diámetros en tubería principal y secundaria, ejemplo del módulo 3.

A. Descripción de la hoja electrónica

Como se puede observar, los primeros 20 tramos corresponden a la última lateral portaspersores (lateral crítica), donde se debe tener una presión de salida de 45 psi, luego se establecieron dos tramos de 162 m, de 4" de diámetro con 20 aspersores, uno de 216 y 260 m con tubería de 6", hasta este punto la presión de operación es de 62.45 psi y una velocidad de 1.66 m/s, por último fue necesario colocar un tramo de 15 m con tubería de 8" para terminar con una presión de operación de 65 psi y una velocidad de 1.80 m/s.

Se observa también que el total de aspersores evaluados son 220, distribuyendo un caudal total de 968 gpm.

2.8.6.6 Carga dinámica total (CDT)

Es la sumatoria de todas las pérdidas por fricción que tendrá el sistema en operación.

$$CDT = h_e + h_{fp} + 0.1 h_{fp} + C_e$$

Donde:

CDT = Carga dinámica total (m)

h_e = Carga requerida a la entrada del lateral (m)

h_{fp} = Pérdidas de cara de la principal (m)

$h_{fp} 0.1$ = Estimación de pérdidas menores en principal

C_e = Carga estática, diferencia de altura entre el nivel del agua en la fuente y el nivel del terreno en la entrada del lateral más alto (m)

$$CDT = 40.23 + 9 + 0.1 (9) + 75$$

$$CDT = 125 \text{ m}$$

2.8.6.7 Potencia requerida

La potencia (H_p) requerida para operar la bomba es:

$$H_p = \frac{Q * CDT}{76 * E_b}$$

Donde:

$H_p B$ = Caballos de fuerza requeridos para operar la bomba (H_p)

Q = Caudal del sistema (lts/seg)

CDT = Carga dinámica total (m)

E_b = Eficiencia de la bomba (decimal)

$$H_p B = \frac{61 \text{ lt/seg} * 125 \text{ m}}{76 * 0.80} = 125 \text{ Hp}$$

Para determinar los caballos de fuerza del motor se debe dividir por la eficiencia del motor, en este caso es de 80% este valor, ya que existe una pérdida de energía en la transmisión de la misma del motor a la bomba.

H_pM = Caballos de fuerza requeridos para operar el motor (Hp)

$$H_pM = H_pB / 0.80 = 156 \text{ Hp}$$

2.8.7 Ejecución del Proyecto

2.8.7.1 Perforación de pozos

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente:

1.- Marcar punto: Es necesario marcar y georeferenciar el punto estratégico para la perforación.

2.- Sondeo eléctrico vertical: (SEV) se realizó para determinar los distintos estratos litológicos del punto seleccionado. Para minimizar el rango de error de un punto erróneo.

3.- Perforación del pozo: Ya con la información anterior, se toma la decisión de que tipo maquina podrá efectuar el trabajo, de esta forma el proyecto se podrá terminar en corto tiempo. Se recolectó muestreo del pozo cada 10 pies con la intención de identificar la geología del terreno para ir preparando el mejor diseño del entubado y sobre todo poder analizar en el futuro el pozo. En la finca San Nicolás se perforó los 4 pozos a 500 pies de profundidad y un diámetro de 17.5 “.

4.- Registro eléctrico: Tiene la finalidad de medir la máxima permeabilidad de las capas con la intención siempre de ofrecer el mejor diseño del encamisado y disminuir los problemas de la falta de agua, con una mayor exactitud el diseño del entubado y

determinar en donde podemos aprovechar mejor el acuífero colocando las rejillas en esos sectores.

5.- Entubado: Teniendo identificado el muestreo obtenido del pozo, diseño preliminar del entubado y el registro eléctrico, se procedió a introducir la tubería de acero dentro del pozo perforado, en este caso fue tubería de 12" de diámetro

6.- Instalación del filtro de grava: Este es un punto muy importante, ya que este es el encargado de hacer que un pozo esté libre de impurezas y filtraciones de materiales no deseados en el momento de bombear el agua. Este se instala entre el espacio anular del pozo perforado y el pozo entubado.

7.- Desarrollo y limpieza: Estos trabajos son necesarios para evacuar los materiales resultantes de la perforación, así como mantener la porosidad y permeabilidad del empaque y de las formaciones acuíferas circunvecinas al pozo, desalojando los materiales granulares muy finos que obstruyen los intersticios de las formaciones del acuífero. Para realizar la limpieza deberá producirse agitación dentro del pozo para provocar el desarrollo en las formaciones acuíferas, esto se hará por medio de un pistón ajustado al diámetro interno del tubo ademe, por aire comprimido.

8.- Prueba de bombeo: Es la medida del rendimiento del mismo expresado en volumen por unidades de tiempo, es decir, medir el caudal obtenido correspondiente a un abatimiento máximo recomendable del nivel freático. Deberá efectuarse con un equipo de bombeo adecuado con una duración mínima de 24 horas a caudal constante, tomando lecturas por cada hora al gasto que se está bombeando y del nivel dinámico respectivo. El caudal obtenido fue de 1,190 gpm, ya que era esta la capacidad máxima que tenía la bomba que se utilizó. El nivel dinámico de los mismos fue pozo 1= 42 pies, pozo 2= 48 pies pozo 3= 68 pies y pozo 4= 59 pies, estos resultaron satisfactorios para la demanda de agua que se tenía en cada módulo. El detalle de la información del pozo 1 (módulo 6) antes mencionada la podemos observar en las figuras 7 y 8.

9.- Sello sanitario: Se realiza a base de cemento y su fin es impedir la introducción de medios contaminantes en la zona de rejilla y posteriormente en el pozo.

10.- Calidad de agua: Esta debe ser sometida a una prueba de laboratorio para determinar su estado físico-químico, al igual que su dureza.



Figura 6: Empresa DAHO perforando un pozo

Aqua Corp El Poder del Agua		DAHO POZOS		
PERFIL LITOLOGICO DEL POZO				
EQUIPO:	SPEED STAR 4			
PROPIETARIO:	INGENIO MAGDALENA		FECHA: 22/11/2010	
UBICACIÓN:	Finca San Nicolas (pozo #1), Suchitepequez		ODT: 10486	
Prf.	Estrato	Prf.	Estrato	
10	Estrato Arcilloso.	410	Sedimento	
20	Relleno Volcánico.	420	Fluvial	
30		430	Sedimento	
40		440	Aluvial	
50		450	Arcilloso	
60		460	Sedimento Aluvial.	
70		470		
80		480		
90		490	810	
100			820	
110			830	
120		840		
130		850		
140	Sedimento Aluvial	860		
150	Sedimento Aluvial Arcilloso	870		
160		880		
170		890		
180		900		
190		910		
200		920		
210		930		
220		940		
230		950		
240		960		
250	Sedimento Aluvial	970		
260	Sedimento Aluvial	980		
270		990		
280		1000		
290	Sedimento Fluvial	1010		
300	Sedimento Aluvial	1020		
310		1030		
320		1040		
330		1050		
340	Sedimento Aluvial Arcilloso	1060		
350	Sedimento Aluvial	1070		
360		1080		
370	Sedimento Aluvial	1090		
380	Sedimento Aluvial	1100		
390	Sedimento Fluvial	1110		
400		1120		
		1130		
		1140		
		1150		
		1160		
		1170		
		1180		
		1190		
		1200		
		1210		
		1220		
		1230		
		1240		
		1250		
		1260		
		1270		
		1280		
		1290		
		1300		
		1310		
		1320		
		1330		
		1340		
		1350		
		1360		
		1370		
		1380		
		1390		
		1400		
		1410		
		1420		
		1430		
		1440		
		1450		
		1460		
		1470		
		1480		
		1490		
		1500		
		1510		
		1520		
		1530		
		1540		
		1550		
		1560		
		1570		
		1580		
		1590		
		1600		
Vo.Bo. Supervisor		Vo.Bo. Operaciones		
Nivel Estático:	31 pies			
Nivel Dinámico:	59 pies			
Producción:	1190 g.p.m.			

Figura 7: Perfil litológico del pozo 1 de finca San Nicolás.

Fuente: DAHO pozos

2.8.7.2 Instalación de la tubería de PVC

Con respecto a la instalación PVC, la empresa Durman Esquivel fue la responsable directa de proveer el material e instalar los 6 módulos de riego. "llave en mano" (Venta, distribución e instalación del producto).

El primer paso fue delimitar las líneas de conducción, utilizando un plano topográfico ya establecido, del cual se procedió a medir y orientar con teodolito para mantener la líneas rectas de conducción, ya delimitadas la líneas, con una máquina excavadora de cucharón trapezoidal, con capacidad de 1 m³, se inició el zanjeo tomando en cuenta la profundidad que variaba entre 0.90 m para 4" y 1.2 m para 15", teniendo un rendimiento promedio de 75 m/hr y ya instalada la tubería PVC se procedió a tapar dicha zanja.

Dos módulos en donde la fuente de abastecimiento de agua es el Río Icán les tomo aproximadamente 19 días en instalar la tubería, en estos módulos se utilizó tubería PVC de 4" hasta 15" (según diseño) tomando en cuenta que toda tubería de igual o mayor diámetro de 6" se prefirió utilizar tubería junta rápida ya que con diámetros grandes es mejor la manipulación en la instalación, debido a que al aplicar el solvente los instaladores deben tener mucha práctica para evitar fugas y posteriores reparaciones, y el criterio para toda tubería de 4" sería de junta cementada. En estos módulos toda la tubería es considerada como secundaria debido a que tiene instalados los hidrantes. En total fueron instalados 6,720 metros de tubería secundaria.

Para los 4 módulos en donde la fuente de abastecimiento de agua fueron los pozos, se utilizaron diámetros desde 4" hasta 8", siempre con los mismos criterios de instalación. En estos módulos se instalaron un total de 2,144 metros de tubería principal y 7,008 metros de tubería secundaria. Con una eficiencia de instalación de 30m/hr.

En tuberías mayores de 4" se colocaron monturas para instalar el tubo elevador que tendría el hidrante respectivo. El compromiso de la empresa Durman Esquivel S.A. finalizaba hasta llegar la tubería de pvc al concéntrico cercano al motor.



Figura 9: Procedimiento de la excavación de la zanja para la tubería de pvc



Figura 10: Instalación de la tubería de pvc, en finca San Nicolás



Figura 11: Instalando PVC en San Nicolás



Figura 12: Perforación del agujero para la montura del hidrante



Figura 13: Instalación de una montura para la colocación del hidrante de riego

2.8.7.3 Instalación del sistema de bombeo (motores, turbinas y centrifugas)

En esta actividad participan varios departamentos del Ingenio Magdalena, ya que la construcción de las bases de concreto está a cargo de Obra Civil, y la instalación de motores, bombas centrífugas y turbinas es a cargo del departamento de Maquinaria Agrícola S.A. Magrisa. Estas actividades las desarrollaron en promedio en 3 días por módulo de riego. Los motores John Deere se compraron en la empresa LUBISA y las bombas (Turbinas y Centrifugas) de marca Nathional en la empresa EYMSA, para Guatemala estas son las empresas distribuidoras de estas marcas.



Figura 14: Instalación del equipo de bombeo de un pozo a cargo de Magrisa.

2.8.7.4 Prueba hidráulica

Esta actividad se realiza previo a la operación formal del sistema de riego, y a la entrega del proyecto al administrador de la finca, el objetivo principal es evaluar si el proyecto instalado cumple con los parámetros técnicos establecidos para la operación, para lo cual conlleva varios procedimientos como: lavado de tubería durante dos horas, donde se utilizan las purgas de lavado, quitando el tapón de 4", chequeo de la instalación de pvc para visualizar fugas; en caso que lo hubieran se enmiendan,

chequeo de presiones del sistema de bombeo (70 PSI) y del primer y último aspersor del ramal crítico (45 PSI), chequeo de caudal (968 gpm), entre otras, si evaluamos todos estos parámetros y coinciden con los establecidos, se procede a la entrega del proyecto al administrador.

2.8.7.5 Entrega del proyecto

Por último se procedió a realizar un finiquito de entrega del proyecto con todas las firmas de las personas responsables de cada uno de los módulos de riego. Al administrador de la finca en mención. Los criterios para recibir satisfactoriamente el proyecto fueron: que no existieran fugas en el sistema, la presión de operación fuera la requerida y que el caudal fuera el necesitado. Tomando en cuenta las mismas variables de la prueba hidráulica.



Figura 15: Hidrante de riego con una purga de lavado y aspersores en funcionamiento.



Figura 16: Ejemplo del módulo I de riego abastecido por el río Icán, entregado y en funcionamiento. Donde se aprecia: canal de llamada, succión y descarga, motor y bomba centrífuga, tanque de combustible y caudalímetro.



Figura 17: Módulo III de riego abastecido por pozo, entregado y en funcionamiento. Donde se aprecia de derecha a izquierda: base de concreto, motor, tanque de combustible, eje de cardan, cabezal de engrane, cabezal de descarga, válvula cheque, tubo de descarga y caudalímetro.

2.8.7.6 Costos generales del proyecto

De manera general se presenta el siguiente cuadro resumen de los costos del proyecto de riego de San Nicolás, en el cual se observa que la instalación del sistema de riego tuvo un costo total de Q. 9.269,345.16, lo cual equivale a un costo por hectárea de Q. 14,135 o \$. 1,812.18. Como podemos apreciar, el rubro más elevado es el equipo de bombeo lo cual equivale a la compra de motores, bombas y turbinas con un costo de Q. 3,470,312.00 seguido por la instalación de PVC, el cual asciende a Q. 2,261,000.00.

Ingenio Magdalena S.A.			
Depto. Estudios y Diseños, Ingeniería Agrícola			
INVERSION PROYECTO FINCA SAN NICOLAS			
I Datos Generales			
Descripción del proyecto:	Instalación de 6 Módulos de Riego Mini-Aspersión, Fca. San Nicolás		
Hectáreas beneficiadas con el proyecto:	646		
II Resúmen Presupuesto			
DESCRIPCION	Total Q	Total US \$	Us \$/Has.
Instalación de PVC	Q 2,261,000.00	\$ 282,625.00	\$ 437.50
Obras Civiles	Q 30,239.90	\$ 3,779.99	\$ 5.85
Mano de Obra	Q 110,921.36	\$ 13,865.17	\$ 21.46
Maquinaria	Q 29,528.40	\$ 3,691.05	\$ 5.71
Fabricación de chasis para motores	Q 19,000.00	\$ 2,375.00	\$ 3.68
Accesorios Conducción	Q 74,556.86	\$ 9,319.61	\$ 14.43
TOTAL	Q 2,525,246.52	\$ 315,655.82	\$ 488.63
III Resúmen Estación Bombeo			
DESCRIPCION	Total Q	Total US \$	Us \$/Has.
*Equipo de Aluminio	Q 1,833,786.64	\$ 229,223.33	\$ 354.83
*Equipo de Bombeo, Descarga	Q 3,470,312.00	\$ 433,789.00	\$ 671.50
*Perforación de Pozo	Q 1,440,000.00	\$ 180,000.00	\$ 278.64
*Instalación Equipo sistema Bombeo	Q 96,000.00	\$ 12,000.00	\$ 18.58
TOTAL	Q 6,744,098.64	\$ 843,012.33	\$ 1,323.55
TOTAL INVERSION DEL PROYECTO	Q 9,269,345.16	\$ 1,158,668.15	\$ 1,812.18

Cuadro 12: Resumen financiero del sistema de riego San Nicolás

2.9 CONCLUSIONES

1. En el presente estudio se realizó el diseño de riego por miniaspersión, tipo semifijo con ramales móviles. El sistema fue complementado por seis módulos, dos de ellos con un área de 150 y 175 Ha, abastecidos por el río Icán y los otros 4 restantes de 80 ha abastecidos por pozos de 500 pies. En ambos la tubería principal y secundaria fue de pvc, enterrada en zanjas, en la misma fueron instalados hidrantes a cada 54 metros, para colocar las laterales de riego, las cuales son de aluminio con un diámetro de 63 mm. Estas laterales tienen una longitud de 240 m, por consiguiente fueron establecidas para operar 20 aspersores de la marca NaanDan 5035 con boquilla de 4mm, con una operación de salida de 45 psi, los módulos del río operaron a 100 PSI y los de pozo a 70 PSI.
2. Previo a la toma de decisiones se desarrolló una evaluación de alternativas para determinar cuál sistema de aspersión (pivote central o miniaspersión) era el más económico en cuanto a la inversión. En función del análisis de inversión que se desarrolló tomando en cuenta un prediseño (Cuadro 6), el sistema aspersión tipo semifijo con ramales móviles (miniaspersión) estima un costo del proyecto de \$1.235,342.00 y \$3,853.00 por hectárea.
3. Según el análisis de inversión que se determinó, como podemos apreciar en el Cuadro 7, si se establece el sistema de aspersión mecanizado tipo pivote central, con un costo total del proyecto de \$ 1.303,955.00 y \$ 5,540.00 por hectárea. Ya que utilizando este sistema de riego en la finca San Nicolás, tendríamos un área aprovechable o cultivable de 471 Ha, como podemos observar el área bajo riego disminuye. Por esta razón se incrementa de manera significativa el costo por hectárea, dado al área que quedaría sin cultivo, conocida comúnmente como área de diamantes, esto se debe principalmente a que no es posible combinar dos tipos de riego con diferentes presiones de operación en un solo sistema de

bombeo. Por tal motivo se decidió establecer en toda la finca el sistema de riego por miniaspersión tipo semifijo con ramales móviles.

4. Se determinó que los sistemas abastecidos por pozos tendrían una carga dinámica total de 120 mca, un caudal requerido de 968 gpm, por consiguiente una presión de operación de 70 psi, bajo estos parámetros fue necesario un motor marca John Deere serie 6068 TF-150 y una turbina marca National Pump serie HIPRO-16X8”.
5. De igual forma se estableció que los sistemas abastecidos por el río tendrían una carga dinámica total de 75 mca, un caudal requerido de 2112 gpm, por consiguiente una presión de operación de 100 psi, bajo estos parámetros fue necesario un motor marca John Deere serie 6081 T-001 y una bomba centrífuga marca Cornell serie 5-HH.

2.10 RECOMENDACIONES

1. Por medio de la experiencia adquirida en la instalación del sistema de riego por miniaspersión, se determinaron parámetros de instalación de PVC, necesarios para un correcto establecimiento del riego, tales como usar junta rápida en tuberías de más de 6", en cuanto a aplicar el solvente en juntas cementadas, es necesario no aplicar en exceso y limpiar rápidamente los sobrantes, evitando futuras perforaciones en la tubería. Otro aspecto importante es no dejar caer bruscamente la tierra sobre la tubería al momento de tapar la zanja, ya que por el peso hay posibilidades de hundimiento de la misma.
2. En la instalación de los motores debemos dejar el eje de cardan con dos pulgadas de desnivel en relación al motor y el cabezal de engrane. Es importante colocar a lo largo de la tubería del pozo un tubo de ½ pulgada con la finalidad de utilizarlo para introducir la sonda de observación.
3. Es importante colocar siempre válvulas cheque y válvulas sectorizadoras, para evitar detener todo el sistema para resolver cualquier problema que pueda darse durante la operación del riego.
4. Todos los proyectos de riego del ingenio se deberían analizar según sus requerimientos hídricos, capacidad del suelo para retener la humedad, etc. y lograr tener mejores eficiencias al operar los sistemas de riego.

2.11 BIBLIOGRAFÍA

1. Agüera, J. 1987. Mecánica de fluidos incomprensibles y turbomáquinas hidráulicas (en línea). España, Universidad de Córdoba, Departamento de Química Física, y Termodinámica Aplicada, Área de Máquinas y Motores Térmicos. Consultado el 06 jul 2011. Disponible en: <http://www.caballano.com/hidraulica.htm>
2. Barnéond Azurdia, JF. 2011. Análisis de la operación del riego por aspersión en caña de azúcar (*Sacharum spp.*), con fines de mejoras técnicas y económicas; ingenio Magdalena, S.A., La Democracia, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 132 p.
3. Cabrera, V. 2005. Hidráulica aplicada. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 291 p.
4. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2004. Informe anual 2002–2003. Guatemala. 62 p.
5. Díaz, L; Portocarrero, L. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.), (en línea). Honduras. Consultado 12 nov 2010. Disponible en: [http://zamooti02.zamorano.edu/asp/getFicha.asp?glx=53554.glx&skin=&recnum=129&maxrecnum=187&searchString=\(@buscable%20S\)%20and%20\(@encabezamiento%20SISTEMA\)&orderBy=&pg=6&biblioteca=](http://zamooti02.zamorano.edu/asp/getFicha.asp?glx=53554.glx&skin=&recnum=129&maxrecnum=187&searchString=(@buscable%20S)%20and%20(@encabezamiento%20SISTEMA)&orderBy=&pg=6&biblioteca=)
6. Enciso, J; Porter, D; Périès, X. 2007. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. 1 ed. Texas, Estados Unidos Americanos, (en línea). Sistema Universitario Texas A&M. Consultado 6 jul 2011. Disponible en: http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87470/pdf_2437.pdf?sequence

7. Fuentes, Y. 2003. Técnicas de riego. 4 ed. España, Editorial Mundi-prensa. 483 p.
8. Gaete, L. 2001. Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado. Tesis Ing. Mec. Chile, Universidad de Talca. 220 p.
9. INTESCAM (Instituto Tecnológico Superior de Calkini en el Estado de Campeche, MX). 2004. Pérdidas de carga (en línea). México. Consultado 5 jul 2011. Disponible en: www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r67034.DOC
10. Juárez, D. 1994. Requerimiento de riego y evapotranspiración e la caña de azúcar. Guatemala, CENGICAÑA. 22 p.
11. Orozco Escobar, SA. 2009. Fundamentos del flujo en tuberías (en línea). Antioquía, Colombia, Escuela de Ingeniería de Antioquía. Consultado 6 jul 2011. Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoentuberias/confinado/confinado.htm>
12. Pérez, M. 1996. Requerimiento de riego de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) durante la fase de macollamiento en plantilla, bajo las condiciones del municipio de Tiquisate, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 83 p.
13. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
14. Tarjuelo, JM. 2005. El riego por aspersión y su tecnología. 3 ed. España, Editorial Mundi-prensa. 581 p.
15. T-L Irrigation Company. 2007. T-L Irrigation View (en línea). Estados Unidos Americanos. Consultado 8 jul 2011. Disponible en:

<http://www.tlirr.com/assets/uploads/IrrigationView07.pdf>

16. Velásquez, S. 1999. Determinación del efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento de caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) en la finca San Bonifacio, Pantaleón S.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 64 p.

Country	Guatemala			Station	Irlanda		
Altitude	20	m.	Latitude	14.15	°N	Longitude	°E
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	17.6	33.1	79	42	8.0	18.2	3.49
February	17.8	33.1	77	53	8.0	19.6	3.88
March	19.0	33.7	74	60	8.0	21.1	4.34
April	20.9	34.1	74	57	8.0	21.8	4.60
May	22.3	34.1	81	54	8.0	21.7	4.64
June	22.3	33.5	85	35	8.0	21.4	4.50
July	22.2	34.4	83	37	8.0	21.5	4.57
August	22.0	33.9	83	50	8.0	21.6	4.58
September	22.3	34.6	83	54	8.0	21.2	4.53
October	22.0	34.4	83	61	8.0	20.0	4.25
November	20.8	32.9	86	40	8.0	18.4	3.67
December	19.3	33.2	82	38	8.0	17.6	3.42
Average	20.7	33.8	81	48	8.0	20.4	4.21

Figura 18. Datos climáticos del año 2009, de la estación meteorológica Irlanda, ubicados a 15 km de Finca San Nicolás.

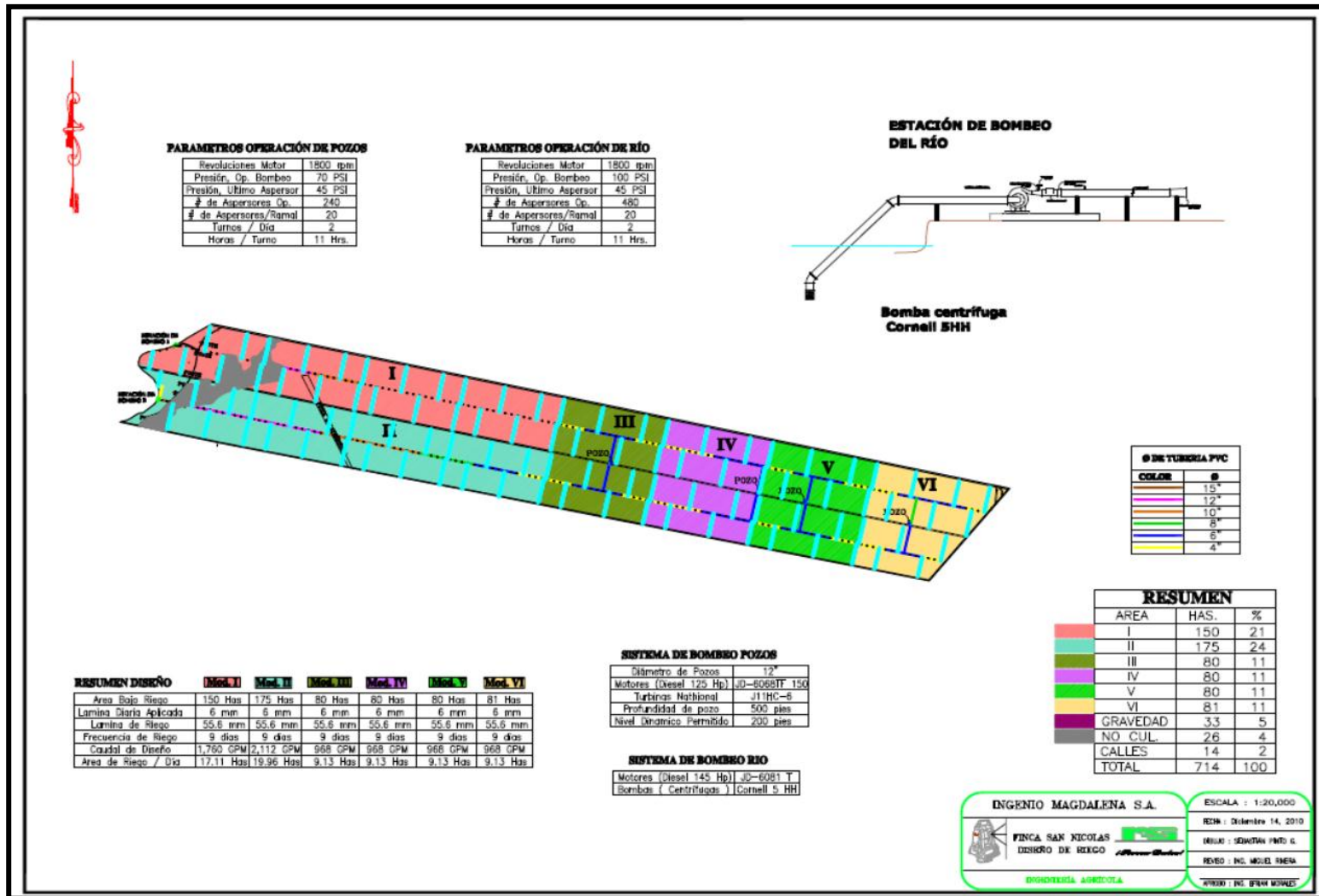



Figura 19. Plano de diseño de la finca San Nicolás

5035



5035

Aspersor plástico a impacto, 3/4" rosca macho (5035) y 1" (rosca hembra) (5035-G)

Principales aplicaciones: para el uso general de campo en sistemas de riego fijos o móviles

- Optima distribución del agua de riego con espaciamentos de hasta 22 m
- Boquillas a bayoneta codificadas a color para fácil mantenimiento
- Alineador del chorro de agua para máximo alcance
- Confeccionado en materiales plásticos de alto impacto para trabajo pesado, con gran resistencia a la corrosión, desgaste mecánico, productos químicos y radiación




Tabla de rendimiento - 5035

Boquilla color mm	P bar	Q m ³ /h	D m	Precipitación (mm/h) espaciamiento (m)			
				12x15	12x18	18x18	20x20
3.5 x 2.5 Azul	3.0	1.160	26.5	6.4	5.4	3.6	2.9
	4.0	1.330	27.5	7.4	6.2	4.1	3.3
	5.0	1.470	27.5	8.2	6.8	4.5	3.7
4.0 x 2.5 Negro	3.0	1.410	28.0	7.8	6.5	4.4	3.5
	4.0	1.620	29.0	9.0	7.5	5.0	4.1
	5.0	1.800	29.0	10.0	8.3	5.5	4.5
4.5 x 2.5 Marrón	3.0	1.640	28.5	9.1	7.6	5.1	4.1
	4.0	1.900	30.0	10.6	8.8	5.9	4.8
	5.0	2.100	32.0	11.7	9.7	6.5	5.3
5.0 x 2.5* Violeta	3.0	1.950	30.0	10.8	9.0	6.0	4.9
	4.0	2.250	33.5	12.5	10.4	6.9	5.6
	5.0	2.550	33.5	14.2	11.8	7.8	6.4
5.5 x 2.5 Naranja	3.0	2.300	32.0	12.8	10.6	7.1	5.8
	4.0	2.650	34.5	14.7	12.3	8.2	6.6
	5.0	2.950	36.0	16.4	13.7	9.1	7.4
6.0 x 2.5 Rojo	3.0	2.650	33.0	14.7	12.3	8.2	6.6
	4.0	3.100	35.5	17.2	14.4	9.6	7.8
	5.0	3.450	36.0	19.2	16.0	10.6	8.6

* Boquilla standard
Boquilla trancera gris - 2.5 mm

Tabla de rendimiento - 5035-G - 1"

Boquilla color mm	P bar	Q m ³ /h	D m	Precipitación (mm/h) espaciamiento (m)			
				12x18	18x18	20x20	22x22
6.5 x 2.5	3.0	3.000	34.0	13.9	9.3	7.5	6.2
	4.0	3.450	36.0	16.0	10.6	8.6	7.1
	5.0	3.850	38.0	17.8	11.9	9.6	8.0
6.5 x 3.2	3.0	3.200	33.5	14.8	9.9	8.0	6.6
	4.0	3.700	36.0	17.1	11.4	9.3	7.6
	5.0	4.150	37.5	19.2	12.8	10.4	8.6
7.0 x 2.5	3.0	3.400	34.0	15.7	10.5	8.5	7.0
	4.0	3.900	35.5	18.1	12.0	9.8	8.1
	5.0	4.350	36.0	20.1	13.4	10.9	9.0
7.0 x 3.2	3.0	3.550	34.0	16.4	11.0	8.9	7.3
	4.0	4.100	35.5	19.0	12.7	10.3	8.5
	5.0	4.600	36.0	21.3	14.2	11.5	9.5

Boquilla trancera naranja - 3.2 mm

Código de colores - Uniformidad de distribución

CU < 85%
 CU = 85-88%
 CU = 88-92%
 CU > 92%

Tabla de rendimiento - 5035

Boquilla color mm	P bar	Q m ³ /h	D m
3.5	3.0	0.810	26.5
Azul	4.0	0.930	27.5
	5.0	1.020	28.0
4.0	3.0	1.060	28.0
Negro	4.0	1.220	29.0
	5.0	1.350	29.5
4.5	3.0	1.290	28.5
Marrón	4.0	1.500	30.0
	5.0	1.650	33.0
5.0*	3.0	1.600	30.0
Violeta	4.0	1.850	33.5
	5.0	2.100	34.0
5.5	3.0	0.190	32.0
Naranja	4.0	2.250	34.5
	5.0	2.500	36.0
6.0	3.0	2.300	33.0
Rojo	4.0	2.700	35.5
	5.0	3.000	36.0

* Boquilla standard

Tabla de rendimiento - 5035-G-1"

Boquilla color mm	P bar	Q m ³ /h	D m
6.5	3.0	2.700	34.0
Gris	4.0	3.100	36.0
	5.0	3.500	38.0
7.0	3.0	3.300	34.0
Verde	4.0	3.500	36.0
	5.0	3.900	38.0

Figura 20: Catalogo del aspersor Naan-Daan, utilizado en Fca. San Nicolás.

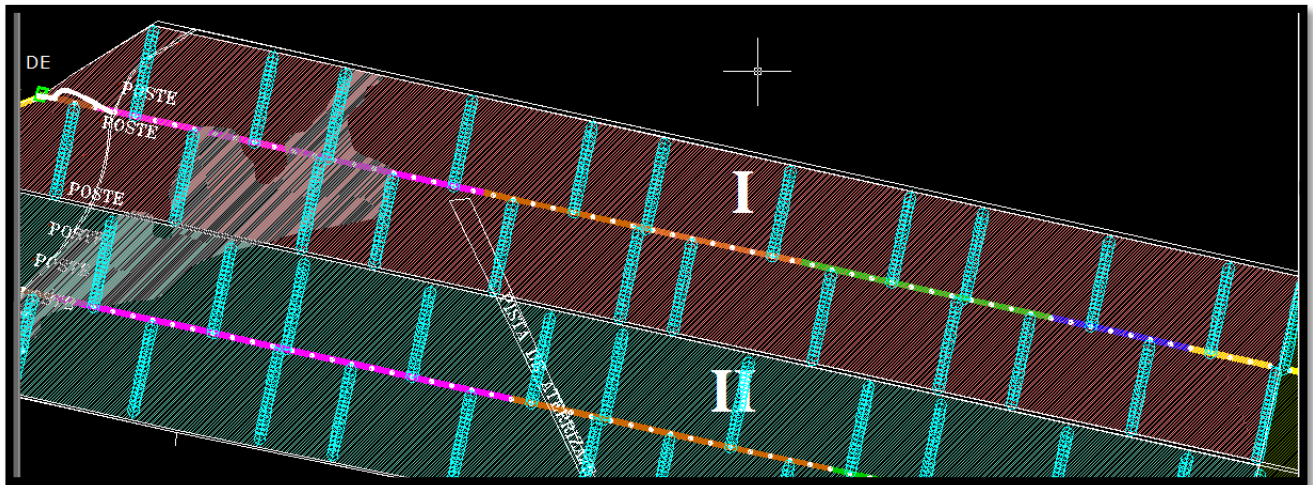


Figura 21: Ejemplo del diseño hidráulico en autocad, del módulo 1; diferenciados los diámetros en colores: café 15", rosado 12", naranja 10", verde 8", azul 6" y amarillo 4". Las laterales de riego están representadas por color celeste.

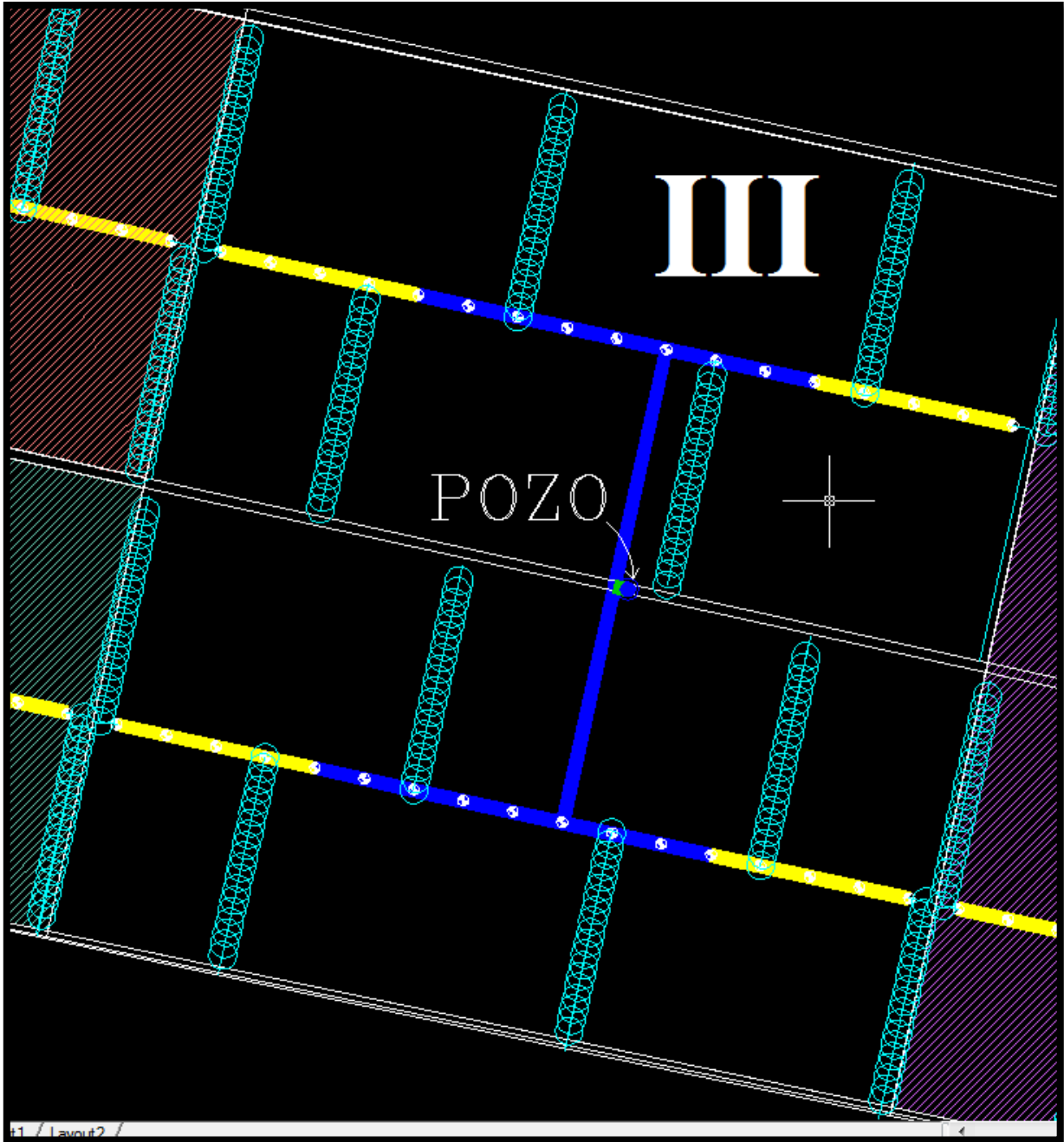


Figura 22: Ejemplo del diseño hidráulico en autocad, del módulo 3; diferenciados los diámetros en colores: verde 8", azul 6" y amarillo 4". Las laterales de riego están representadas por color celeste.

CAPÍTULO III

**Diseño y ejecución de la instalación del proyecto de riego
Bombeo-Gravedad de finca Acarigua del Ingenio Magdalena,
Cocales, Suchitepéquez, Guatemala, C.A.**

3.1 PRESENTACIÓN

El riego por gravedad es la técnica de riego más antigua y que más ampliamente ha aplicado el hombre a nivel mundial. Para superar las limitaciones que tradicionalmente ha tenido esta técnica de riego como son pérdidas de agua por percolación profunda y escurrimiento superficial y situarla al nivel de otras técnicas de riego de elevado desarrollo tecnológico (riego por aspersión y localizado), se debe comenzar por determinar los elementos fundamentales del diseño y la operación de los sistemas de riego por gravedad, con arreglo a las condiciones concretas de suelo y topografía, lo cual debe posibilitar la elevación de la eficiencia de dichos sistemas de riego.

Para lograr lo anterior es importante tener en cuenta la aplicación de criterios de manejo en el riego por gravedad como son:

1. Conformación de los surcos guías de riego.
2. Manejo adecuado de los residuos de cosecha (paja de caña).
3. Formas de entrega del agua.
4. Elementos de diseño de la técnica de riego.

Este servicio fue establecido en finca Acarigua, ubicada a inmediaciones de Cocales, departamento de Suchitepéquez, el proyecto fue abastecido por el río Madre Vieja, en este punto se colocó una estación de bombeo operando un caudal de 5,000 GPM, distribuyendo el mismo por medio de una tubería de PVC de 15" a 4 cajas dispersoras donde fue regulado el caudal entregado por medio de válvulas de grinel, para ser suministrada a los canales de riego y posteriormente a los surcos, por medio de gravedad.

Fue necesario realizar un canal de llamada, donde se construyó una base para la estación de bombeo, la cual elevó el agua a una altura de 3 mt para ser ubicada y entregada en 4 cajas dispersoras, colocadas en lugares estratégicos los cuales fueron los puntos más altos de la finca.

3.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.2.1 Descripción del método de riego por surcos (inundación parcial)

El método de riego por surcos es uno de los más usados universalmente en los cultivos que se plantan en hileras, los surcos son canales pequeños en los cuales el agua se infiltra en dirección vertical y lateral al mismo tiempo que se mueve en el sentido de la pendiente por la acción de la gravedad. Los surcos pueden ser con pendiente o sin pendiente. (1)

El método de riego por surcos está clasificado dentro de los métodos de riego superficiales de inundación parcial debido a que la superficie del suelo no se moja totalmente sino solamente se humedece por infiltración. Dado este parcial humedecimiento de la superficie del terreno, el método se presta para ser usado en suelos que tienen tendencia a formar costra al secarse dañando las plantas que recién germinan.

3.2.2 Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación que se logra al regar por surco puede calificársela de buena, cuando se le compara con otros métodos, teniendo en cuenta que es posible regar por surco en condiciones topográficas relativamente desfavorables. Si se proyecta y opera adecuadamente la eficiencia de aplicación puede ser alta, entre el 70% y el 80%; sin embargo, eficiencias del 50 al 65% son corrientes.

La mayoría de áreas bajo riego de Guatemala, utilizan el método de riego por surcos debido a las ventajas que este método brinda para nuestro medio. (1)

3.2.3 Adaptabilidad

El método se adapta a todos los cultivos sembrados en hileras (hortalizas, maíz, algodón, soya, caña de azúcar, sorgo, frutales y otros). En lo referente a suelos, el método se adapta a la mayoría excepto arenas de infiltración muy rápido con distribución de agua lateral muy deficiente.

Los surcos pueden ser trazados sin pendiente o con pendiente en dirección al riego, en este último caso de preferencia deben tener los surcos una pendiente de 0.4% o menor,

pendientes de 0.5% a 3% en el sentido del riego pueden aún ser usadas pero con mucha precaución. Terrenos con pendientes de 10 y hasta 15% pueden ser regados si los surcos se trazan siguiendo curvas a nivel o en contorno o con una leve pendiente de 0.2 a 0.3%.

3.2.4 Forma, dimensión y separación de los surcos

Las formas más comunes son la Parabólica y la Triangular, dependiendo del implemento usado, costumbre, cultivo y tipo de suelo. Así cuando el suelo es de baja permeabilidad se prefiere la forma parabólica para aumentar el perímetro mojado.

Las dimensiones del surco triangular son normalmente de 15 a 20cm de profundidad y 25 a 30cm de ancho en la parte superior. El surco parabólico tiene 10 a 30cm de profundidad y 10 a 40cm de ancho en la parte superior.

El espaciamiento o separación entre surcos está determinado por el cultivo y prácticas culturales. Sin embargo, este espaciamiento debe estar relacionado con la naturaleza física del suelo y la profundidad de enraizamiento. Así el espaciamiento debe ser menor en los suelos arenosos que en los de más fina textura. (1)

3.2.5 Caudal por surco

En la mayor parte de los suelos, el caudal inicial deberá ser mucho mayor que el correspondiente a la velocidad de infiltración, para lograr un avance rápido. Cuando el agua se acerca al extremo de los surcos debe reducirse el caudal o cortar el agua, para evitar pérdidas excesivas por escurrimiento al final del surco. El caudal está limitado por el peligro de erosión y por la sección de escurrimiento del surco para que éste no se desborde. Criddle et. Al.(1956) ha dado la siguiente ecuación para calcular el caudal máximo no erosivo.

$$Q \text{ max} = \frac{0.63}{S\%}$$

Donde:

Q max = caudal máximo no erosivo (lts/seg)

S% = pendiente del surco (%)

Los surcos de hortalizas tienen capacidades de 0.6 a 1.6lts/seg. Los surcos de tamaño medio como los de maíz son de 1.9 a 2.5lts/seg y los grandes como los del algodón suelen llevar hasta 3.21lts/seg.

3.2.6 Longitud del surco

La longitud del surco depende de factores como textura del suelo, pendiente, caudal a usar y dimensiones del terreno. Suelos con textura gruesa y pendiente del 5% pueden tener longitudes de 30m lo cual resulta demasiado corto causando excesiva división en el terreno, pudiendo existir surco de 500m y más para textura fina y pendiente de 0.25%.

El tiempo total de riego es la suma del tiempo necesario para que el agua avance del inicio al final del surco (tiempo de avance) y del tiempo necesario para que se infiltre la lámina neta de riego al final del surco (tiempo de infiltración). (1)

3.2.7 Ventajas

Normalmente requiere menos costo inicial que otros métodos. Utiliza menos energía que otros métodos. Tiene una eficiencia de aplicación y una uniformidad aceptable. Puede usarse en terrenos con pendientes naturales fuertes si se trazan en contorno. Puede usarse en diversidad de suelos siendo especialmente bueno para regar suelos que forman costra al secarse. Se pueden usar caudales grandes o pequeños, por lo que se adapta a diferentes sistemas de entrega de agua.

3.2.8 Desventajas

Requerimientos moderados a altos de mano de obra (más que melgas y pozas). Es difícil aplicar lámina de riego menores a 5cm.

3.2.9 Surcos especiales

En algunas ocasiones se utilizan surcos especiales como por ejemplo surcos en zigzag y corrugaciones. Los surcos en zigzag se utilizan para disminuir el efecto de la pendiente en sentido del riego en terrenos de fuerte pendiente y para aumentar la infiltración en suelos poco permeables (al disminuir la velocidad aumenta el tirante y el perímetro mojado y como consecuencia el área de infiltración).

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 General

Realizar el diseño y ejecución de la instalación del proyecto de riego Bombeo-Gravedad de finca Acarigua del Ingenio Magdalena, Cocalles, Suchitepéquez.

3.3.2 Específicos

1. Definir la metodología utilizada para establecer el sistema de riego bombeo-gravedad por surcos, desarrollado en finca Acarigua.
2. Determinar los accesorios requeridos para la instalación del sistema de riego a conducción cerrada.

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Información previa:

Fue requerido conocer las condiciones del terreno donde ejecutaríamos dicho sistema de riego, tales como: Suelo, topografía, cultivo, surcos y caudal.



Figura 23: Toma de datos para evaluar la implantación del mismo

3.4.2 Diseño del sistema

El primer paso fue obtener un levantamiento altimétrico para conocer la topografía del lugar y definir la viabilidad del mismo, así como el área de influencia de la pendiente para establecer el largo y la dirección de los surcos. Determinando el caudal necesario para cubrir las demandas del cultivo.



Figura 24: Trazo y elaboración de canales y cabeceras de riego para el proyecto

3.4.3 Instalación y ejecución del proyecto

Para el establecimiento del sistema de riego fue necesario realizar varias actividades tales como: construcción del canal de llamada para abastecer el sistema, se utilizó una excavadora para tal efecto. La estación de bombeo fue implementada con un motor marca Jonh Deere 4045 TF 250 y una bomba de caudal marca Hidromac 300-350E, para bombear un caudal de 5,000 GMP.

La conducción del agua fue cerrada por medio de tubería de PVC con diámetro 15" y un soporte de hasta 120 PSI. Para ser trasladada hacia los puntos altos y distribuirla por medio de unas cajas de dispersión elaboradas de concreto ciclópeo y con medidas 1 x 1 x 1.5 m. en donde fueron instaladas para cada caja una válvula de Grinell y de esta forma regular el caudal requerido. Por último se construyeron un canal a cielo abierto para trasladar el agua a los puntos más lejanos de la estación de bombeo.



Figura 25: Elaboración del canal de llamada en el río Madre vieja



Figura 26: Instalando el tubo de PVC y accesorios del sistema



Figura 27: Instalando una tee de metal tipo dresser, para distribuir el agua en la caja dispersora.



Figura 28: Construcción de una caja dispersora con la válvula de Grinell instalada.

3.4.4 Entrega del proyecto

Esta actividad consistió en arrancar el motor para dar inicio a las pruebas hidráulicas de trabajo para garantizar el buen funcionamiento del sistema. Se comprobó que todo el equipo funcionará eficientemente evaluando todos los aspectos relacionados al buen desempeño del equipo de bombeo.



Figura 29: Estación de bombeo ya en operación.



Figura 30: Caja de dispersión aplicando agua a los surcos



Figura 31: Sistema operando llevando agua hacia otros puntos



Figura 32: Canal a cielo abierto funcionando conduciendo agua hacia la parte este de la finca



Figura 33: Ejemplo de un canal conduciendo agua para riego

3.5 CONCLUSIONES

1. Se estableció el sistema de riego Bombeo-gravedad en finca Acarigua, la topografía del lugar permitió orientar los surcos con una pendiente de 1 por mil ubicando 4 cajas dispersoras en puntos elevados de la finca, en las cuales se les instaló una válvula de Grinell para regular el caudal requerido por punto de riego, el sistema fue abastecido por medio del río Madre vieja, en el cual se construyó un canal de llamada donde se instaló el sistema de bombeo siendo un motor John Deere 4045 TF-250 y una bomba centrífuga Hidromac 300-350E. El sistema fue abastecido con un caudal de salida de 5000 galones por minuto, distribuyendo 1250 GPM en cada caja dispersora, las cuales fueron construidas en puntos altos y de esta forma dispersar el agua por toda la finca.
2. La conducción del agua hasta las cajas fue cerrada por medio de PVC con un diámetro de 15", en cada caja dispersora se instaló una válvula de Grinell para poder regular el caudal y aplicar específicamente lo requerido, estas fueron aseguradas con tornillos, tuercas y roldanas, en estos puntos fueron colocadas tees de metal con unión dresser, la cual funciona presionando el tubo dentro del accesorio donde se coloca un empaque de hule, con un anillo perforado al cual se le colocan tornillos, roldanas y tuercas para sellar y evitar fugas.
Luego fue necesario conducir el agua hasta el último sector de la finca en la parte este, utilizando un canal abierto revestido de cemento para dicha operación, para ser distribuida en dos puntos distintos.

3.6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda construir los canales de llamada en forma casi perpendicular al flujo del cauce, debido a que de esta forma evitamos que el mismo introduzca grandes cantidades de arena y basura, la cual afecta el área de succión de la bomba.
- Es importante abastecer a los operadores del sistema con llaves adecuadas para abrir y cerrar las válvulas instaladas en un sistema de esta naturaleza, ya que en muchos casos los operadores no cuentan con las mismas lo cual repercute en atrasos y aplicaciones de agua inadecuadas.
- Es conveniente fundir con cemento los accesorios de metal colocados para evitar futuros robos que dañen y paralicen el sistema.

3.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.