

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

FORMULACIÓN, DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.), EN LA FINCA ESLOVAQUIA DEL INGENIO MAGDALENA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA; DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EJECUTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

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

POR

JOSÉ SALVADOR FRANCO ROSALES

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO

DR. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	DR. LAURIANO FIGUEROA QUIÑÓNEZ
VOCAL I	DR. ARIEL ABDERRAMÁN ORTIZ LÓPEZ
VOCAL II	ING. AGR. MSC. MARINO BARRIENTOS GARCÍA
VOCAL III	ING. AGR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ
VOCAL IV	P. FTAL. SINDI BENITA SIMÓN MENDOZA
VOCAL V	BR. SERGIO ALEXANDER SOTO ESTRADA
SECRETARIO	ING. AGR. JOSÉ ROLANDO LARA ALECIO

GUATEMALA, MAYO DE 2014

Guatemala, mayo de 2014

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: **FORMULACIÓN, DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.), EN LA FINCA ESLOVAQUIA DEL INGENIO MAGDALENA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA; DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EJECUTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.** como requisito previo a optar al 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.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

JOSÉ SALVADOR FRANCO ROSALES

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Por ser fuente eterna de sabiduría, porque me ha dado la vida, paciencia y las herramientas para poder cumplir esta meta, por la inigualable familia que me ha permitido tener y por bendecirme diariamente.

MAMI LOLITA (†) Y TÍA MAYRA (†), ESPECIALMENTE

Aunque no se encuentren físicamente entre nosotros, sus recuerdos permanecen latentes en nuestros corazones. Los extraño y los admiraré por siempre. Hasta pronto.

MIS PADRES

MANUEL SALVADOR FRANCO TRUJILLO Y FLORIDALMA ROSALES URZÚA DE FRANCO

No tengo como agradecer el infinito e incondicional apoyo que me han brindado, por ser los amigos y compañeros que me han ayudado a crecer, gracias por estar conmigo en todo momento, por la paciencia que me han tenido, el amor que me han dado, y los merecidos regaños, este triunfo es de ustedes también. Gracias por su presencia, los amo.

MIS HERMANOS

JOSÉ MAURICIO, HUGO RENATO Y FLOR DE MARÍA

Por el apoyo incondicional a lo largo de este proyecto, ojalá estén tan felices como yo. Con especial cariño y amor fraternal para cada uno, los quiero mucho.

MIS TÍOS, TÍAS, PRIMOS Y PRIMAS

Con mucho cariño y respeto. Especialmente a las familias: Franco Trujillo, Rosales Urzúa, Franco Urzúa, Rosales de León, Morales Rosales y Ruano Rosales.

MIS SOBRINOS

Franco López, Franco Gutiérrez, Morales Ortega, Garrido Ruano y Rosales Franco.

MI NOVIA

KARINA DESIREÉ RABANALES BRAVO

Por ser una mujer maravillosa y fuente de inspiración para todo lo que hago, por el apoyo incondicional en los buenos momentos así como en los difíciles, y por ser parte de mi vida. Te amo.

FAMILIA RABANALES BRAVO

Los considero mi segunda familia. Gracias por todo su cariño, apoyo, por todos los alegres e inolvidables momentos que hemos vivido. Los quiero y los aprecio mucho.

MIS AMIGOS

Sería interminable nombrarlos, pero infinitos y sinceros agradecimientos por los momentos compartidos a lo largo de mi vida. Dios los bendiga.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

DIOS

MIS PADRES

MI FAMILIA

KARINA DESIREÉ RABANALES BRAVO

MIS AMIGOS

GUATEMALA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA, ESPECIALMENTE A LA PROMOCIÓN 2008

COLEGIO CIENTÍFICO INTEGRADO

LICEO GUATEMALA

INGENIO MAGDALENA

MIS ASESORES

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a las personas que colaboraron directa o indirectamente en el desarrollo de este proyecto.

A:

MI DOCENTE ASESOR

ING. AGR. JOSE LUIS ALVARADO ÁLVAREZ

Por el apoyo y paciencia en la realización del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

MI ASESOR PRINCIPAL

ING. AGR. DAVID JUÁREZ

Por el tiempo y su acertada asesoría en la ejecución de este documento.

INGA. AGRA. MIRNA AYALA

Por todo el tiempo y paciencia a lo largo de esta etapa.

ING. AGR. WALDEMAR NUFIO

Por el apoyo y la dedicación entregada en la elaboración de este trabajo.

INGENIO MAGDALENA

Por darme la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado en el departamento de Ingeniería Agrícola

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA

Por compartir conmigo los conocimientos que me sirvieron de mucho durante esta etapa de mi carrera. Especiales agradecimientos al Ing. Agr. José Fernando Cabrera Quezada, y al Ing. Agr. Juan Sebastián Pinto Grotewold, por la amistad, confianza y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VII
RESUMEN.....	IX
CAPÍTULO I DIAGNÓSTICO DE LA DIVISIÓN DE DISEÑO Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE RIEGO EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA, S.A., LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.....	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 GENERAL.....	4
1.2.2 ESPECÍFICOS.....	4
1.3 METODOLOGÍA.....	5
1.3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	5
1.3.2 INFORMACIÓN PRIMARIA.....	5
1.3.3 INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	5
1.3.4 RECURSOS UTILIZADOS.....	5
1.3.5 SISTEMATIZACIÓN DE ACTIVIDADES.....	6
1.4 RESULTADOS.....	6
1.4.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL ÁREA.....	6
1.4.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA.....	7
1.4.2.1 Ubicación geográfica.....	7
1.4.2.2 Vías de acceso.....	7
1.4.2.3 Clima.....	8
1.4.3 ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.....	8
1.4.3.1 Planificación de finca.....	9
1.4.3.2 Diseño y ejecución de proyectos de riego.....	9
1.4.3.3 Perforación de pozos e hidrometría.....	9
1.4.3.4 Drenaje agrícola y control de inundaciones.....	9
1.4.3.5 Proyectos especiales.....	10
1.4.4 ACTIVIDADES IDENTIFICADAS.....	10
1.5 CONCLUSIONES.....	13

	PÁGINA
1.6 RECOMENDACIONES.....	13
1.7 BIBLIOGRAFÍA.....	14
CAPÍTULO II FORMULACIÓN, DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum spp.</i>), EN LA FINCA ESLOVAQUIA DEL INGENIO MAGDALENA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.	15
2.1 PRESENTACIÓN	17
2.2 MARCO TEÓRICO	19
2.2.1 RIEGO.....	19
2.2.2 RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA.....	19
2.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO CON FINES DE RIEGO.....	20
2.2.3.1 Densidad aparente.....	20
2.2.3.2 Textura.....	20
2.2.3.3 Estructura.....	21
2.2.3.4 Velocidad de infiltración	21
2.2.3.5 Permeabilidad	22
2.2.3.6 Porosidad.....	22
2.2.4 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO.....	22
2.2.4.1 Punto de saturación	22
2.2.4.2 Capacidad de campo	23
2.2.4.3 Punto de marchitez permanente	23
2.2.4.4 Humedad aprovechable	23
2.2.4.5 Punto crítico	23
2.2.4.6 Déficit permitido de manejo.....	23
2.2.4.7 Nivel crítico de humedad.....	24
2.2.4.8 Lámina de riego rápidamente aprovechable (larA)	24
2.2.5 CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO	24
2.2.5.1 Características que determinan la calidad del agua de riego.....	24
2.2.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	26
2.2.6.1 Evaporación	26
2.2.6.2 Transpiración	26
2.2.6.3 Factores que causan la evapotranspiración.....	26
2.2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO	27
2.2.8 RIEGO POR GOTEO	27
2.2.8.1 Ventajas del riego por goteo	28

	PÁGINA
2.2.8.2 Desventajas del riego por goteo	28
2.2.8.3 Componentes	28
2.3 MARCO REFERENCIAL	31
2.3.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	31
2.3.1.1 Guazacapán	31
2.3.1.2 Finca Eslovaquia	31
2.3.2 CLIMA	32
2.3.3 ZONAS DE VIDA.....	32
2.3.4 SUELOS	32
2.4 OBJETIVOS.....	33
2.4.1 GENERAL	33
2.4.2 ESPECÍFICOS.....	33
2.5 METODOLOGÍA	34
2.5.1 ACTIVIDADES PRE-DISEÑO	34
2.5.1.1 Topografía	34
2.5.1.2 Fuente de agua	35
2.5.1.3 Suelo	35
2.5.2 RECOPIACIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS Y DISEÑO FINAL	35
2.5.2.1 Concepción del proyecto	35
2.5.2.2 Diseño del sistema de riego	35
2.5.3 EJECUCIÓN E INSTALACIÓN DEL PROYECTO	42
2.5.4 ANÁLISIS FINANCIERO	43
2.6 RESULTADOS.....	45
2.6.1 ACTIVIDADES PRE-DISEÑO	45
2.6.1.1 Topografía	45
2.6.1.2 Fuente de agua	47
2.6.1.3 Suelo	47
2.6.2 RECOPIACIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS Y DISEÑO FINAL	48
2.6.2.1 Concepción del proyecto	48
2.6.2.2 Diseño del sistema de riego	49
2.6.2.2.1 <i>Diseño agronómico.....</i>	<i>49</i>
2.6.2.2.2 <i>Diseño de campo.....</i>	<i>50</i>
2.6.2.2.3 <i>Diseño parcelario.....</i>	<i>51</i>
2.6.2.2.4 <i>Diseño hidráulico</i>	<i>54</i>

	PÁGINA
2.6.3 EJECUCIÓN E INSTALACIÓN DEL PROYECTO	61
2.6.3.1 Perforación de pozos	61
2.6.3.2 Instalación del sistema de bombeo	67
2.6.3.3 Instalación del sistema de filtrado	69
2.6.3.4 Instalación del equipo de fertiriego.....	74
2.6.3.5 Instalación de la tubería pvc y pe.....	76
2.6.3.6 Realización de la prueba hidráulica	87
2.6.4 DESARROLLO DE ANÁLISIS FINANCIERO	88
2.7 CONCLUSIONES.....	90
2.8 RECOMENDACIONES.....	91
2.9 BIBLIOGRAFÍA.....	92
2.10 ANEXOS.....	94
CAPÍTULO III SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA, S.A.	99
3.1 PRESENTACIÓN	101
3.2 ÁREA DE INFLUENCIA	101
3.2.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN.....	101
3.2.2 CLIMA.....	102
3.2.3 ZONAS DE VIDA	102
3.2.4 SUELOS.....	102
3.3 OBJETIVO GENERAL	103
3.4 SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA, S.A., GUATEMALA, C.A.	104
3.4.1 MUESTREO DE SUELOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS CON FINES DE RIEGO, EN LA FINCA ESLOVAQUIA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.....	104
3.4.1.1 Introducción	104
3.4.1.2 Objetivo específico.....	104
3.4.1.3 Metodología	104
3.4.1.4 Resultados	108
3.4.1.5 Conclusiones	108
3.4.1.6 Bibliografía	108
3.4.2 DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA DE RIEGO PROMEDIO CON BASE EN LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN POR EL MÉTODO DE DOBLE CILINDRO, EN LA FINCA ESLOVAQUIA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.	109
3.4.2.1 Introducción	109

	PÁGINA
3.4.2.2 Objetivo específico	110
3.4.2.3 Metodología	110
3.4.2.4 Resultados.....	112
3.4.2.5 Conclusiones	123
3.4.2.6 Bibliografía.....	123
3.4.3 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE LA SOLUCIÓN DE CLORO AL 10% NECESARIA PARA CORREGIR LA PRESENCIA DE HIERRO EN EL MÓDULO NORTE DE LA FINCA ESLOVAQUIA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.	124
3.4.3.1 Introducción	124
3.4.3.2 Objetivo específico	124
3.4.3.3 Metodología	124
3.4.3.4 Resultados.....	128
3.4.3.5 Conclusiones	130
3.4.3.6 Recomendaciones	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea del Ingenio Magdalena para el año 2011.....	7
Figura 2. Triángulo textural según la clasificación del USDA.....	21
Figura 3. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiaikov-Lewis.	22
Figura 4. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.	25
Figura 5. Vista interna del Diafragma de gotero y membrana.....	29
Figura 6. Emisor en corte longitudinal de manguera para goteo.	30
Figura 7. División Política del Departamento de Santa Rosa, Guatemala.	31
Figura 8. Foto aérea de la finca Eslovaquia N 14° 00' 29.79", W 90° 25' 33.41".	32
Figura 9. Mapa de la finca Eslovaquia.	34
Figura 10. Coeficiente "Kc" del cultivo de caña de azúcar.....	36
Figura 11. Mapa de curvas a nivel de la finca Eslovaquia.	46
Figura 12. División de la finca Eslovaquia por módulos.....	47
Figura 13. Partes internas de un gotero DripNet PC 16125.	49
Figura 14. Diseño de campo de la finca Eslovaquia.	50
Figura 15. Ejemplo del diseño parcelario para el turno No. 4 del módulo sur.....	51
Figura 16. Línea piezométrica para el turno No. 4 del módulo sur.	53
Figura 17. Ejemplo del diseño hidráulico para el turno No. 4 del módulo sur.	54
Figura 18. Tramo del diseño hidráulico en una hoja de cálculo.	55
Figura 19. Distribución de la tubería principal para la finca Eslovaquia.....	57
Figura 20. Diseño de riego definitivo para la finca Eslovaquia.....	59
Figura 21. Prospección geofísica para perforación de pozo.....	61

Figura 22. Broca tricono para perforación de pozos.	62
Figura 23. Antepozo relleno con concreto.	62
Figura 24. Maquinaria perforando un pozo.	63
Figura 25. Muestras del sondeo vertical de un pozo.	63
Figura 26. Ejemplo de perfil del registro eléctrico.	64
Figura 27. Grava para filtración de pozo.	65
Figura 28. Limpieza de pozo con aire comprimido.	65
Figura 29. Sello sanitario de un pozo.	66
Figura 30. Base cementada para colocación de motor.	67
Figura 31. Cabezal de engrane y de descarga instalados.	68
Figura 32. Válvula de cheque del sistema de bombeo.	68
Figura 33. Flujo metro instalado en la finca Eslovaquia.	69
Figura 34. Hidrociclones del sistema de filtrado.	70
Figura 35. Funcionamiento interno de un hidrociclón.	70
Figura 36. Vista lateral del filtro de maya.	71
Figura 37. Vista interna del filtro de maya.	71
Figura 38. Instalación de los filtros de grava y el medio filtrante.	72
Figura 39. Abrazaderas tipo "Victaulic".	72
Figura 40. Instalación y configuración del sistema de retrolavado.	73
Figura 41. Apertura de la válvula hidráulica del retrolavado.	73
Figura 42. Depósitos y bomba del sistema de fertiriego.	74
Figura 43. Sistema completo de fertiriego.	75
Figura 44. Vista aérea y frontal de las galerías de los módulos.	76
Figura 45. Zanqueo de una línea principal.	77
Figura 46. Instalación de tubería principal de junta rápida.	77
Figura 47. Implemento para inyección de manguera.	78
Figura 48. Ejemplo del trazo de mangueras para un pante en AutoCAD.	79
Figura 49. Instalación de acoples para las mangueras.	79
Figura 50. Panel del sistema RTK del tractor.	80
Figura 51. Zanqueo de línea secundaria.	80
Figura 52. Instalación de línea secundaria.	81
Figura 53. Instalación de los elevadores y sus empaques.	81
Figura 54. Llaves de bola para limpiar la tubería colectora.	82
Figura 55. Instalación de válvula sectorial.	83
Figura 56. Instalación de caballete para válvula hidráulica de 3 pulgadas.	83
Figura 57. Válvulas de presión y aire para aliviar presiones.	84
Figura 58. Construcción de cajas protectoras para válvulas hidráulicas.	85
Figura 59. Caja prefabricada para protección de las válvulas de bola.	85
Figura 60. Resumen general de la instalación de la red de tubería.	86
Figura 61. Instalación de accesorio epóxico.	87
Figura 62A. Resultado de muestreo de suelo para el punto No. 1.	94
Figura 63A. Especificaciones para motor diesel línea 6081H.	95
Figura 64A. Curva de rendimiento para la bomba M14XXHC.	96
Figura 65A. Conexión de los componentes de un sistema de bombeo.	97
Figura 66. Foto aérea de la Finca Eslovaquia N 14° 00' 29.79" W 90° 25' 33.41".	102
Figura 67. Foto aérea de la finca Eslovaquia N 14° 00' 29.79", W 90° 25' 33.41".	105

PÁGINA

Figura 68. Ejemplo del recorrido en zig-zag utilizado en la finca Eslovaquia.	105
Figura 69. Pasos para realizar un corte en “V”	106
Figura 70. Llenado de cubeta con submuestras.	106
Figura 71. Homogenización de la muestra con dos cubetas.	107
Figura 72. Preparación de muestras para enviar al laboratorio.	107
Figura 73. Ingreso del cilindro interno en el perfil del suelo.	110
Figura 74. Ingreso del cilindro externo en el perfil del suelo.	111
Figura 75. Llenado del cilindro los cilindros con ayuda de un recipiente.	111
Figura 76. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis para el punto No. 1	114
Figura 77. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis para el punto No. 2	117
Figura 78. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis para el punto No. 3	120
Figura 79. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis para el punto No. 4	122
Figura 80. Bomba independiente para inyectar cloro al sistema.	125
Figura 81. Equipo de filtrado de grava.	125
Figura 82. Medidor portátil de partes por millón para hierro y cloro libre.	125
Figura 83. Vista interna del medidor portátil para cloro libre.	126
Figura 84. Muestra de agua antes de pasar por el sistema de filtrado.	127
Figura 85. Ubicación de la inyección del cloro en la tubería.	128

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución del área en base a los sistemas de riego.	6
Cuadro 2. Organigrama del área de Diseño y ejecución de proyectos del departamento de Ingeniería Agrícola.	8
Cuadro 3. Principales actividades identificadas en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego.	11
Cuadro 4. Priorización de actividades identificadas en la división de diseño ejecución de proyectos de riego.	12
Cuadro 5. Resumen de la frecuencia del análisis comparativo de las actividades identificadas en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego.	12
Cuadro 6. Clasificación de las partículas del suelo según su tamaño.	20
Cuadro 7. Clasificación de los sistemas de riego.	27
Cuadro 8. Distribución del área de la finca Eslovaquia.	45
Cuadro 9. Resultados del muestreo de suelos con fines de riego.	48
Cuadro 10. Resumen del diseño agronómico.	49
Cuadro 11. Resumen del diseño hidráulico.	56
Cuadro 12. Distribución de las válvulas por cada turno.	58
Cuadro 13. Detalle de las válvulas hidráulicas utilizadas.	60
Cuadro 14. Estimaciones de producción de azúcar por hectárea.	88

Cuadro 15. Resumen de inversión por hectárea del sistema de riego por goteo.....	88
Cuadro 16. Detalle del costo por hectárea por concepto de manejo de cultivo.....	89
Cuadro 17. Estimación de los indicadores financieros.....	89
Cuadro 18A. Coeficientes de fricción de Hazem-Williams para algunos materiales para calcular pérdidas de carga.....	98
Cuadro 19A. Valor adimensional “F” para pérdidas de carga por concepto de salidas múltiples.....	98
Cuadro 20A. Valores de K para pérdidas de carga por accesorios.....	98
Cuadro 21. Resultados del muestreo de suelos con fines de riego.....	108
Cuadro 22. Resultados de la prueba de infiltración obtenidos del punto No. 1.....	112
Cuadro 23. Obtención del modelo de Kostiakov-Lewis a partir de los datos obtenidos del punto No. 1.....	113
Cuadro 24. Resultados de la prueba de infiltración obtenidos del punto No. 2.....	115
Cuadro 25. Obtención del modelo de Kostiakov-Lewis a partir de los datos del punto No. 2.....	115
Cuadro 26. Resultados de la prueba de infiltración obtenidos del punto No. 3.....	118
Cuadro 27. Obtención del modelo de Kostiakov-Lewis a partir de los datos del punto No. 3.....	118
Cuadro 28. Resultados de la prueba de infiltración obtenidos del punto No. 4.....	120
Cuadro 29. Obtención del modelo de Kostiakov-Lewis a partir de los datos del punto No. 4.....	121
Cuadro 30. Resultados del aforo de la bomba en sus diferentes escalas de descarga.....	126
Cuadro 31. Resultados del tratamiento de inyección de cloro.....	129

RESUMEN

El presente documento contiene el trabajo desarrollado durante el ejercicio profesional supervisado (EPS) de la Facultad de Agronomía, realizado durante los meses de febrero a noviembre de 2013, en el departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena, S.A.

Se basó en tres etapas, siendo la primera la elaboración de un diagnóstico en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego, en el departamento de Ingeniería Agrícola, en el que se conoció la infraestructura y condiciones en las que se realizan los proyectos de riego del Ingenio Magdalena. Para esto fue necesario hacer entrevistas al personal de dicha área para identificar actividades prioritarias dentro de la mencionada división. Estas actividades fueron las siguientes: documentar la formulación, el diseño e instalación de un sistema de riego por goteo, realizar un muestreo para análisis físico-químico, ejecución de pruebas de velocidad de infiltración y corregir la presencia de hierro en el pozo del módulo norte a través de solución de cloro.

La segunda etapa consistió en la realización de una investigación titulada: Formulación, diseño e instalación del sistema de riego por goteo en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la finca Eslovaquia del Ingenio Magdalena, Guazacapán, Santa Rosa, Guatemala, C.A., la cual documenta toda la información de los procesos que se llevaron a cabo en dicho proyecto con el propósito de crear un manual para futuros proyectos similares. En dicha investigación se formularon, diseñaron, definieron y verificaron los criterios técnicos de instalación y operación de un sistema de riego por goteo, además de desarrollar un análisis financiero para la implementación del sistema de riego en mención. Con ayuda de indicadores financieros se determinó que este proyecto puede calificarse de económicamente viable ya que la inversión podrá generar ganancias por encima de la inversión inicial.

Con el propósito de colaborar con la división de diseño y ejecución de proyectos de riego, del departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena, se realizó la tercera etapa que consistió en realizar tres servicios que fueron titulados de la siguiente manera: Muestreo de suelos para determinar las propiedades físicas con fines de riego, Determinación de la lámina de riego promedio con base en la velocidad de infiltración por el método de doble cilindro, y

Determinación de la cantidad de la solución de cloro al 10% necesaria para corregir la presencia de hierro en el pozo del módulo norte. Los tres se llevaron a cabo en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa, Guatemala, C.A.

Estos servicios fueron de mucha utilidad ya que sirvieron como complemento para la investigación descrita en el capítulo segundo de este documento, aportando útiles parámetros de la finca como la textura del suelo, variables de interés respecto al contenido de humedad en el suelo, la lámina de riego promedio necesaria, y alternativas para el control de la concentración de hierro presente en el agua extraída de pozos.



CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DE LA DIVISIÓN DE DISEÑO Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE RIEGO EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA, S.A., LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

1.1 PRESENTACIÓN

En los últimos años el Ingenio Magdalena ha reportado incrementos de área para producción de caña de azúcar, en el año 2013 logró aumentar a 53,000 hectáreas su extensión, distribuida en cuatro regiones: Región Central Norte (La Democracia), Región Central Sur (La Gomera), Región Occidente (Retalhuleu, Nueva Concepción) y Región Oriente (Chiquimulilla, Taxisco, Puerto San José).

La alta producción de caña, conlleva a la elaboración de algunos derivados como alcohol, vinaza, electricidad, etc. El Ingenio está organizado por cinco áreas que trabajan en conjunto para llevar a cabo todo el proceso del azúcar, desde la siembra hasta la obtención del producto final y sus derivados, estas áreas son:

- a. Obra Civil.
- b. Magrisa.
- c. Campo.
- d. Fábrica.
- e. Área Administrativa.

Dentro del área de Campo se encuentra el departamento de Ingeniería Agrícola, ubicado en el casco de la finca Buganvilía, que tiene la función principal de velar por los diseños de los sistemas de riego y drenaje de las fincas del Ingenio, para optimizar la producción y utilizar la menor cantidad de recursos. El departamento está organizado en 5 divisiones:

- a. Planificación de finca.
- b. Diseño y ejecución de proyectos de riego.
- c. Perforación de pozos e hidrometría.
- d. Drenaje agrícola y control de inundaciones.
- e. Proyectos especiales.

La principal actividad que realiza la división de diseño y ejecución de proyectos de riego, es diseñar e implementar sistemas de riego y drenaje, para ello se auxilia de la información recopilada previamente por las otras divisiones.

El diagnóstico analiza la división de diseño y ejecución de proyectos de riego; para este fin se utilizó la información previamente recabada durante los procesos llevados a cabo, con el

propósito de encontrar debilidades que puedan fortalecerse mediante determinadas estrategias en la división.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

Diagnosticar la división de Diseño y ejecución de proyectos de riego en el departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- a. Describir las actividades realizadas del departamento de Ingeniería Agrícola y sus divisiones.
- b. Identificar actividades prioritarias dentro de la división de diseño y ejecución de proyectos de riego del departamento de Ingeniería Agrícola.

1.3 METODOLOGÍA

Los pasos que se siguieron para realizar la metodología fueron los siguientes:

1.3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Fue necesario recabar información por medio de fuentes primarias como entrevistas con el personal encargado de las diferentes divisiones (planificación de finca, perforación de pozos e hidrometría, drenaje agrícola y control de inundaciones y proyectos especiales), y fuentes secundarias como consultas de textos, tanto para la región central norte, central sur, como para la occidental y oriental.

1.3.2 INFORMACIÓN PRIMARIA

Se realizó una capacitación a cargo del jefe de la división de diseño y ejecución de proyectos de riego, abarcando temas de relevancia como problemáticas, proyectos a futuro, etc., además de organizar jerárquicamente la división.

Luego se efectuaron visitas a las diferentes fincas del Ingenio Magdalena, con el fin de observar las actividades que se realizan. Como complemento, se hicieron entrevistas con personal de las otras divisiones del departamento de Ingeniería Agrícola, para entender el manejo de los residuos derivados del proceso de industrialización de la caña de azúcar, además de conocer los proyectos planificados para el año en curso.

1.3.3 INFORMACIÓN SECUNDARIA

Se recopiló información con ayuda de revisión literaria por medio de tesis, artículos, libros, revistas y archivos electrónicos.

Durante todo este proceso, fue importante velar que la información obtenida fuera triangulada, para tener la seguridad de que los datos fueran verídicos y congruentes.

1.3.4 RECURSOS UTILIZADOS

Se contó con el apoyo del departamento de Ingeniería agrícola que consistió en facilitar recursos como: un vehículo de doble tracción para recorrer las fincas, combustible, mapas de los sistemas de riegos para ubicar puntos como pozos, pasos aéreos, principales calles,

cascos, etc., además del recurso humano dentro de la finca para la orientación dentro de la misma.

1.3.5 SISTEMATIZACIÓN DE ACTIVIDADES

El diagnóstico fue realizado durante los meses de febrero y marzo del año 2013, recopilando y organizando información necesaria para su análisis. Luego se tabularon los datos y fueron sometidos a un análisis por medio de una matriz de priorización de actividades.

Para realizar la sistematización de actividades fue vital contar con ayuda de un sistema de cómputo brindado por el departamento de Ingeniería Agrícola.

1.4 RESULTADOS

1.4.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL ÁREA

El diagnóstico se efectuó en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego, que se encuentra dentro del departamento de Ingeniería Agrícola, tomando en cuenta los proyectos planificados para el año 2013, incluyendo los proyectos vigentes.

Durante el año en mención, el Ingenio Magdalena tuvo a cargo aproximadamente 53,000 hectáreas de producción de caña de las cuales 46,630 (88 %) estuvieron bajo riego mientras que el resto de área correspondiente a 6,370 hectáreas (12 %) no contaba con sistema de riego.

Los sistemas de riego a la fecha están distribuidos como se muestra a continuación, en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Distribución del área en base a los sistemas de riego.

Distribución del área bajo producción		
Riego por mini aspersión	25,730 ha	55.18 %
Riego por aspersión	9,130 ha	19.58 %
Riego por gravedad	6,370 ha	13.66 %
Riego por avance frontal	2,579 ha	5.53 %
Riego por pivote	1,127 ha	2.42 %
Riego por gravedad con bombeo	1,015 ha	2.18 %
Riego por goteo	679 ha	1.46 %

Fuente: Ingenio Magdalena, S.A. (IMSA)

1.4.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

1.4.2.1 Ubicación geográfica

La planta procesadora del Ingenio Magdalena se encuentra ubicada en el kilómetro 99.5 ruta a Sipacate, interior finca Buganvilia, La Democracia, Escuintla, en las coordenadas geográficas latitud Norte 14° 07' 12" y Longitud Oeste 90° 55' 48", con una altitud promedio de 57 metros sobre el nivel del mar (msnm). En el casco de la finca se encuentra el departamento de Ingeniero Agrícola, tal como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Vista aérea del Ingenio Magdalena para el año 2011.

1.4.2.2 Vías de acceso

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

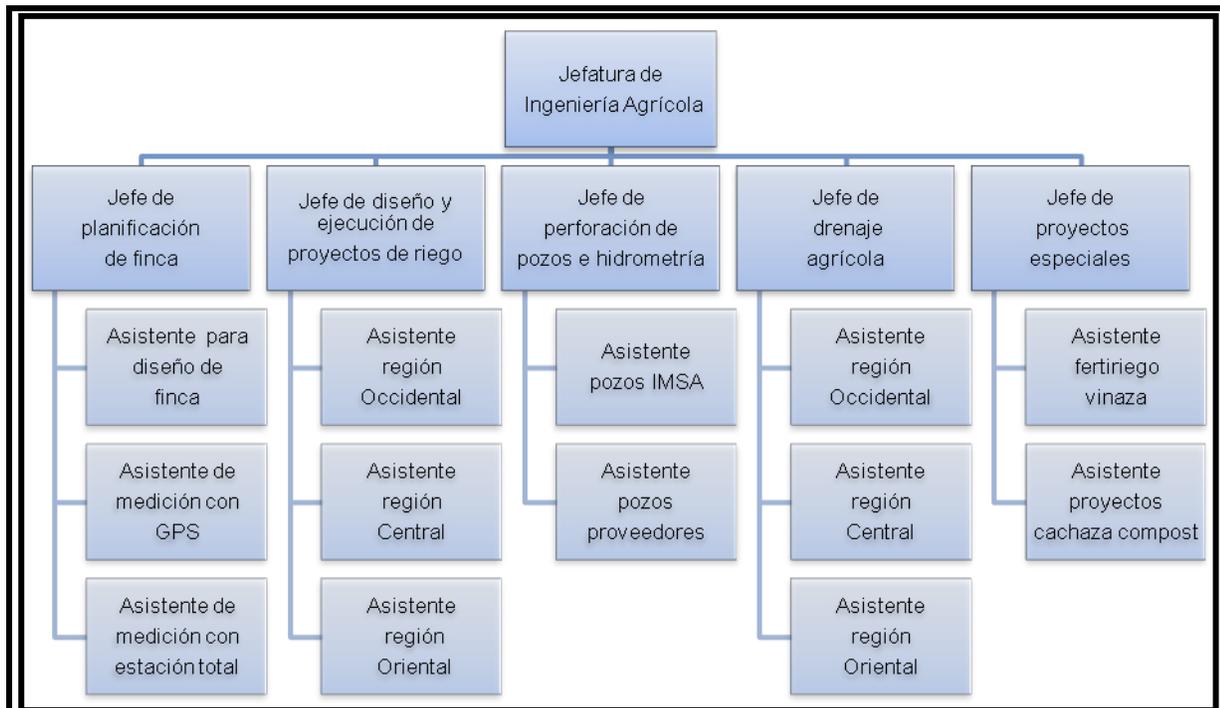
1.4.2.3 Clima

Ingeniería Agrícola se encuentra en la finca Buganvilia, la cual está ubicada en la zona de vida que obedece a bosque templado húmedo subtropical cálido (bhS(c)), que se caracteriza por tener una precipitación anual promedio de 1,700 mm., con temperaturas que oscilan entre 15 y 38 °C. (2)

1.4.3 ORGANIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Como se ilustra en el Cuadro 2, dentro del área de Campo, se encuentra el departamento de Ingeniería Agrícola, el cual se subdivide en divisiones como: planificación de finca, diseño y ejecución de proyectos de riego, perforación de pozos e hidrometría, drenaje agrícola y control de inundaciones, y proyectos especiales.

Cuadro 2. Organigrama del área de Diseño y ejecución de proyectos del departamento de Ingeniería Agrícola.



Cada una de estas áreas tiene sus tareas específicas las cuales se describen a continuación:

1.4.3.1 Planificación de finca

Esta división se dedica a la realización de diseños de campo para el establecimiento de sistemas de riego para recomendar el que mejor funcione, y que permita evacuar los excesos de agua que predominan en invierno. Sus principales actividades son: medición de fincas, diseño de campo, diseño de drenajes, trazo de obras civiles, elaboración y actualización de los planos de las fincas.

1.4.3.2 Diseño y ejecución de proyectos de riego

La división de diseño y ejecución de proyectos de riego, está encargada de coordinar las tareas que permiten la ejecución e instalación de los sistemas del riego como: realizar diseños de finca en donde se delimiten los pantes, las calles, las obras civiles, etc., y además programa mantenimientos para el buen funcionamiento de los sistemas de riego.

También tiene la responsabilidad de hacer un análisis de factibilidad de los proyectos evaluando los presupuestos de los diseños que ejecuta el personal encargado de cada zona (central norte, central sur, oriental, occidental), para solicitar el equipo que se necesite durante la ejecución de un proyecto. Para cada una de las cuatro zonas hay un asistente asignado que vela por el buen desarrollo de los procesos necesarios para concluir cada proyecto.

1.4.3.3 Perforación de pozos e hidrometría

Tomando en cuenta prioridades, así como profundidades, diámetros, puntos exclusivos donde se deduce que existen acuíferos para nacimiento de agua, ésta división se encarga de coordinar la perforación de pozos, la medición de cantidad de agua disponible y la eficiencia de su distribución. Cuando no se cuenta con personal suficiente para perforar o dar mantenimiento, planifica la contratación de empresas perforadoras de pozos para cubrir éstas necesidades para los diferentes proyectos de riego.

1.4.3.4 Drenaje agrícola y control de inundaciones

Como su nombre lo indica, es la división encargada de coordinar el buen drenaje de los diseños de riego evitando encharcamientos que afecten el desarrollo del cultivo.

1.4.3.5 Proyectos especiales

Esta división está a cargo de coordinar, supervisar y ejecutar los trabajos relacionados con el manejo de los derivados provenientes del proceso de industrialización de la caña de azúcar.

Los derivados que se manejan en el Ingenio Magdalena son:

a. Vinaza

El proceso de destilación de alcohol se realiza en una planta capaz de producir 300,000 litros diarios. Cada litro de alcohol conlleva a la producción de 13 litros de vinaza que es un residuo industrial generado a partir de la destilación que posee altas concentraciones de materia orgánica y minerales como potasio, calcio, nitrógeno y fósforo. Para su almacenaje, cierta parte es llevada hacia el parcelamiento “Los Ángeles” por medio de un ducto de 12 kilómetros de tubería, para luego distribuirla en las fincas como fertilizante, la otra parte es procesada en una planta de vinaza para generar gas metano que es quemado en calderas especiales para generación de vapor con el objetivo de obtener energía eléctrica.

b. Cachaza

Este es el producto de la extracción del jugo de caña, que es llevado a campos de compost para que se reduzca su porcentaje de humedad y sea menor el costo de transportarlo a los campos donde va a ser aplicado. Es un residuo industrial que se genera durante la destilación de alcohol que posee altas concentraciones de materia orgánica, así como potasio, calcio, nitrógeno y fósforo. (4)

1.4.4 ACTIVIDADES IDENTIFICADAS

A continuación se enlistan las actividades identificadas durante la realización del diagnóstico, que se llevó a cabo durante los meses de febrero y marzo del año 2013, con apoyo del personal de departamento de Ingeniería Agrícola, específicamente en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego.

Para la identificación de las actividades, se utilizó el método de matriz de priorización de actividades, identificando cada una con un número correlativo y diferente color como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Principales actividades identificadas en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego.

No.	Principales actividades identificadas
1	Instalación del sistema de riego en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa. Proyecto nuevo del que se necesita la documentación completa para poder acceder a ésta en cualquier momento.
2	Muestreo de suelos con fines de riego en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa. Se requieren los análisis de las propiedades físico-químicas de la finca y utilizar sus parámetros para el diseño agronómico del proyecto.
3	Pruebas de infiltración en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa. Hay que acoplar el diseño de riego con la velocidad de infiltración de la finca, con el propósito de aplicar la lámina de riego requerida.
4	Instalación del sistema de riego en la finca San Eduardo, Champerico, Retalhuleu. Proyecto nuevo del que se necesita la documentación completa para poder acceder a ésta en cualquier momento.
5	Muestreo de suelos con fines de riego en la finca San Eduardo, Champerico, Retalhuleu. Se requieren los parámetros de las propiedades físico-químicas de la finca y utilizarlos para el diseño agronómico del proyecto.
6	Pruebas de infiltración en la finca San Eduardo, Champerico, Retalhuleu. Hay que integrar la velocidad de infiltración de la finca con el diseño de riego, con el propósito de aplicar la lámina de riego requerida.
7	Aforo de quinel en la finca La Llave, Güisocoyol, Chiquimulilla, Santa Rosa, el cual es abastecido por el río Maria Linda. Con el objetivo de cuantificar la cantidad de agua que ingresa, y analizar si abastece la demanda requerida.
8	Inventario de la disponibilidad de equipos para aspersion y miniaspersion para la temporada 2013-2014.
9	Capacitación a personal de las fincas para estandarizar la lectura en los flujómetros, para contabilizar el agua extraída de los pozos.
10	Corrección de hierro en el pozo del módulo norte de la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa.

El Cuadro 4 muestra la matriz de priorización de actividades identificadas en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego.

Cuadro 4. Priorización de actividades identificadas en la división de diseño ejecución de proyectos de riego.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2		-	3	2	2	2	2	2	2	2
3			-	3	3	3	3	3	3	3
4				-	4	4	7	8	9	10
5					-	5	7	8	9	10
6						-	7	8	9	10
7							-	7	7	10
8								-	9	10
9									-	10
10										-

Haciendo un conteo en base a la frecuencia con la que aparecen las actividades, se realizó un resumen el cual se ilustra a continuación, en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resumen de la frecuencia del análisis comparativo de las actividades identificadas en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego.

No. Actividades	Repeticiones	%
1	9	20.00
2	7	15.55
3	8	17.77
4	2	4.44
5	1	2.22
6	0	0.00
7	5	11.11
8	3	6.66
9	4	8.88
10	6	13.33

En el Cuadro 5 se observa que la actividad correspondiente a la instalación del sistema de riego en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa, tiene el 20% de las repeticiones que obedece a la priorización 1. La priorización 2 representada con el 17.77 % de las repeticiones corresponde a la ejecución de Pruebas de infiltración en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa, con un 15.55 % de las repeticiones se planteó el muestreo de suelos con fines

de riego en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa y con un 13.33 % de las repeticiones se identificó la actividad de corrección de hierro en el pozo del módulo norte de la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa.

Con base a la matriz de identificación de actividades en la división de diseño y ejecución de proyectos de riego propuesto en el presente diagnóstico, se planificó el tema del proyecto de investigación a realizar en el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) que se titula: Formulación, diseño e instalación del sistema de riego por goteo en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), en la Finca Eslovaquia, del Ingenio Magdalena, Guazacapán, Santa Rosa, Guatemala, C.A. Así como también los servicios que fueron los siguientes: Muestreo de suelos para determinar las propiedades físicas con fines de riego, en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa, Guatemala, C.A., Determinación de la lámina de riego promedio con base en la velocidad de infiltración por el método de doble cilindro, en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa, C.A., y Determinación de la cantidad de la solución de cloro al 10% necesaria para corregir la presencia de hierro en el módulo Norte de la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa, Guatemala, C.A.

1.5 CONCLUSIONES

- a. La principal actividad que realiza el departamento de Ingeniería Agrícola y sus divisiones es la planificación, diseño, ejecución y operación de sistemas de riego y drenaje en las fincas del Ingenio Magdalena.
- b. Las actividades identificadas y priorizadas fueron las siguientes: documentar la instalación de un sistema de riego por goteo, realizar un muestreo para análisis físico-químico, ejecución de pruebas de velocidad de infiltración y corregir la presencia de hierro en el pozo del modulo norte.

1.6 RECOMENDACIONES

- a. Contratar personal para asistir al área de diseño y ejecución de proyectos, debido al constante crecimiento del Ingenio.
- b. Construir un manual de la instalación de los sistemas de riego existentes e incluir la modalidad de riego por goteo.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2012. El cultivo de la caña de azúcar. Guatemala, Artemis Edinter. 479 p.
2. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida a nivel de reconocimiento de Guatemala, Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
3. Fuentes Palala, MA. 2007. Diagnóstico del Departamento de riego y drenajes Corporación Pantaleón Concepción, S.A., Escuintla, Guatemala, C.A. Diagnóstico EPSA, Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 56 p.
4. Pinto Grotewold, JS. 2011. Diagnóstico del Departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena, S.A. La Democracia Escuintla. Guatemala, C.A. Diagnóstico EPSA. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 19 p.
5. Rivera Peralta, ME. 2010. Diagnóstico actual del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Corporación Pantaleón Concepción, S.A., Escuintla, Guatemala, C.A. Diagnóstico EPSA, Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 36 p.
6. Uner, N. 2000. Riego y fertilización de la caña de azúcar con sistema de riego por goteo. Guatemala, Riegos Modernos de Guatemala. 10 p.



CAPÍTULO II

FORMULACIÓN, DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.), EN LA FINCA ESLOVAQUIA DEL INGENIO MAGDALENA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

2.1 PRESENTACIÓN

En los últimos años el Ingenio Magdalena ha reportado incrementos de área para producción de caña de azúcar. En el año 2013 logró aumentar a 53,000 hectáreas su extensión, distribuida en cuatro regiones: Región Central Norte (La Democracia), Región Central Sur (La Gomera), Región Occidente (Retalhuleu, Nueva Concepción) y Región Oriente (Chiquimulilla, Taxisco, Puerto San José).

Con este incremento en extensión logró aumentar los 13,487,198 quintales de azúcar obtenidos durante la zafra 2012 - 2013, producción que ayudó al Ingenio a posicionarse como máximo productor azucarero del país, además de aumentar relativamente la producción de sus derivados como alcohol, dióxido de carbono, metano y energía eléctrica.

Con el paso del tiempo las experiencias del cultivo de caña de azúcar han demostrado que los rendimientos son influidos positivamente con la aplicación constante de agua y fertilizantes. Además que debido a la alta evapotranspiración de este cultivo, es importante utilizar los escasos recursos hídricos en forma prudente, adoptando tecnologías apropiadas de riego que no solamente aumenten la producción de este cultivo por unidad de área, sino también por unidad de consumo de agua debido a que éste recurso tiene una fuerte demanda por parte de la población en constante aumento.

Por esta razón, los cultivos que abarcan extensiones significativas necesitan sistemas de riego que sean más eficientes, como el riego por goteo, evitando contribuir a la pérdida de este preciado recurso. Además los costos de operación, tamaño de motor, diámetros de tuberías, etc., disminuyen con este tipo de riego ya que trabaja utilizando pequeños caudales y bajas presiones, obteniendo un ahorro considerable en aplicaciones que alcanzan eficiencias por encima del 90%.

En los últimos años el Ingenio Magdalena ha tecnificado los sistemas de riego, implementando el de miniaspersión para 1,495 hectáreas en el año 2006 dejando atrás el desarrollo con aspersion con cañones, y es a partir del año 2013 que se implementa el sistema de riego por goteo en 679 hectáreas. En la finca Eslovaquia fueron alrededor de 331 hectáreas con riego por goteo, alcanzando un costo total de proyecto de \$. 1,174,806.92 equivalente a \$. 3,549.27 por hectárea.

Lejos de una debilidad o problema, la introducción del riego por goteo en caña, fue una oportunidad para el Ingenio Magdalena puesto que este sistema de riego utilizado correctamente puede ser capaz de incrementar la producción al mismo tiempo que disminuye costos.

Por otro lado, la agricultura en Guatemala ha sido una de las actividades económicamente más importantes del país, generando altos porcentajes de sus ingresos gracias al cultivo de caña de azúcar. Debido a esto es importante implementar sistemas de riego novedosos que permitan utilizar consciente y responsablemente el recurso hídrico, aportando iguales o mayores beneficios que los obtenidos con los sistemas empleados en la actualidad.

Es de mucha importancia que se documente toda la información y los procesos que permitieron la implementación de dicho sistema para ésta finca, ya que en un futuro, esta modalidad de riego podría estandarizarse para la mayoría de fincas puesto que en este sistema de irrigación, la pendiente del terreno no constituye una limitante, además que pueden satisfacerse las necesidades hídricas durante todo el ciclo del cultivo, permitiendo también la incorporación del fertiriego.

El presente trabajo se realizó con el propósito de generar y documentar valiosa información que surge en las fincas del Ingenio, a las cuales es complicado asistir diariamente por el volumen de trabajo. Además es importante que se evidencie cada detalle de los procesos a lo largo del proyecto, permitiendo que el Ingenio posea dicha información por cualquier consulta que pueda acontecer.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 RIEGO

El desarrollo económico y social de Guatemala depende en gran medida de la posibilidad de lograr que su sector agrícola obtenga una producción acorde a las necesidades alimenticias de la misma, además de tener la capacidad de exportar a otros países y servir de base a la industrialización.

La caña en alguna medida es tolerante a la sequía, sin embargo llega un punto en donde la falta de humedad es desesperante para el cultivo, y éste empieza a secarse, máxime en un suelo con poca capacidad de retención de humedad donde predomine la textura arenosa. (17)

El riego es la aplicación artificial de agua al perfil del suelo con el propósito de suplir la cantidad necesaria para que los cultivos produzcan en forma permanente y económica. Esto se hace con el objetivo de proveerle a los cultivos mejores condiciones y calidad de vida. (15)

2.2.2 RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA

El suelo está formado por partículas que en conjunto forman agregados. Entre estas partículas y los agregados se encuentran espacios que tienen agua y aire. Las características de estas partículas y agregados influyen notablemente en el movimiento y retención de agua en el suelo y en el efecto sobre el crecimiento y producción de los cultivos, ya que el agua al igual que el aire son elementos esenciales para el desarrollo de la planta. (15)

La caña de azúcar es una planta notablemente tolerante que se le ve crecer en condiciones de severa sequía y también donde su sistema radicular está prácticamente sumergido en el agua.

Como la demanda de azúcar está en constante aumento se trata de buscar mejorar las condiciones en que se aplica el recurso hídrico, dando las cantidades requeridas y a los intervalos más adecuados para asegurar una mejor producción.

2.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO CON FINES DE RIEGO

2.2.3.1 Densidad aparente

Es la relación que existe entre la masa de un suelo seco y el volumen que éste ocupa. Ésta propiedad es un parámetro importante en cuanto a riego, ya que determina la lámina de aplicación de agua en el diseño y operación de los sistemas de riego. (15)

2.2.3.2 Textura

Es la proporción de los tamaños de los grupos de partículas que constituyen un suelo, dichas partículas se dividen en: arenas, limos, arcillas.

Ésta propiedad ayuda a determinar la disponibilidad de abastecer agua, aire y nutrimentos, los cuales son fundamentales para la vida de las plantas. (15)

En el Cuadro 6 se muestra la clasificación de partículas del suelo en base a su tamaño:

Cuadro 6. Clasificación de las partículas del suelo según su tamaño.

Dimensión de la partícula (mm)	U.S. Department of Agriculture
< 0.001 - 0.005	Arcilla
0.005 - 0.02	Limo
0.02 - 0.1	Arena muy fina
0.1 - 0.5	Arena fina
0.5 - 1.0	Arena Gruesa
1.0 - 2.0	Arena muy gruesa
2.0 - 5.0	Grava fina
5-0 - 10.0	Grava
> 10.0	Grava gruesa

Fuente: USDA

La catalogación de las texturas puede obtenerse con la clasificación de las partículas del suelo con ayuda del triángulo textural según el USDA, que se muestra a continuación, en la Figura 2.

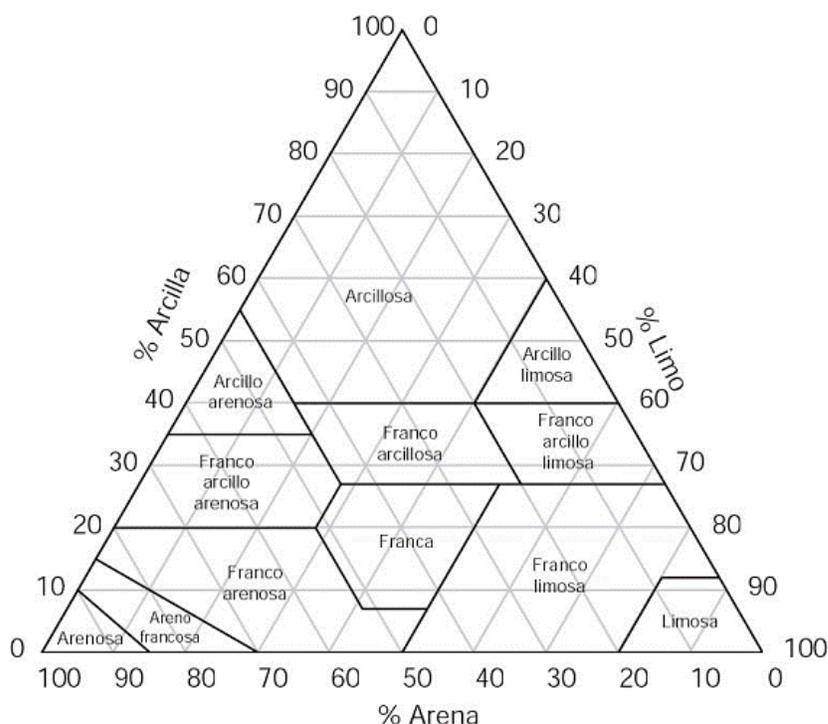


Figura 2. Triángulo textural según la clasificación del USDA.

2.2.3.3 Estructura

La estructura del suelo está directamente influenciada por la textura. Se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman aspecto de partículas mayores denominadas agregados. La estructura se clasifica en: 0 (sin estructura), 1 (estructura débil), 2 (estructura moderada), 3 (estructura fuerte). (15)

2.2.3.4 Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración es la entrada vertical del agua en el suelo a través de los poros en un determinado tiempo. Ésta velocidad depende de varios factores como la estructura, textura, contenido de humedad y la compactación del suelo, la temperatura del agua y suelo, y el estado físico-químico del suelo, entre otros. (15)

La velocidad de infiltración es una de las características más importantes del diseño, operación y evaluación de los sistemas de riego. Es por esto que debe de obtenerse información confiable de esta propiedad, preferiblemente con métodos de campo como el de doble cilindro.

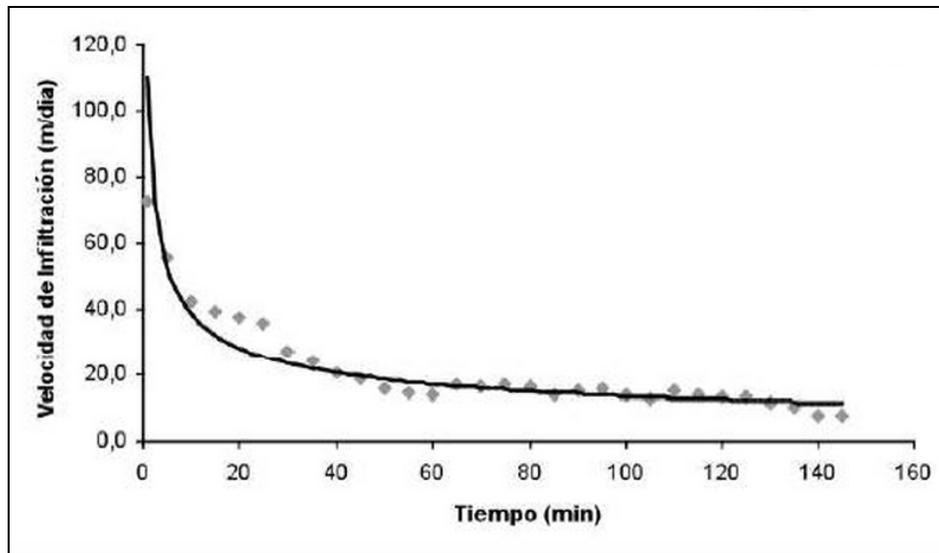


Figura 3. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis.

2.2.3.5 Permeabilidad

La capacidad de transmisión del agua y el aire es una propiedad física del suelo conocida como permeabilidad. Entre más espacios porosos posea un suelo más rápida será su permeabilidad, y por el contrario, en suelos con alto contenido de arcillas, se observará una permeabilidad lenta. El tamaño y número de los poros del suelo, se encuentran altamente influenciados con la textura y la estructura del suelo. (15)

2.2.3.6 Porosidad

Es consecuencia de la textura y estructura del suelo. Hace referencia a los espacios vacíos del suelo conocidos como poros. Existen dos tipos de poros: macroscópicos y microscópicos. Los primeros abundan en un suelo de tipo arenoso, teniendo poca capacidad de retener el agua, mientras que los segundos existen en suelos arcillosos, siendo suelos con escasa aireación pero alta capacidad de retención de líquido. (15)

2.2.4 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO

2.2.4.1 Punto de saturación

Es la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener contra la fuerza gravitacional, y se ve influenciada por el contenido de arcillas y de la materia orgánica. A partir de éste dato se puede estimar la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Las arenas

gruesas tienen un punto de saturación de menos del 10% mientras que los suelos arenosos presentan un punto de saturación de hasta 150%. (15)

2.2.4.2 Capacidad de campo

Es la cantidad de agua que puede retener un suelo después de un riego o lluvia que lo ha humedecido. De la misma manera que el punto de saturación, esta propiedad está influenciada por el contenido de material arcilloso y de materia orgánica. (15)

2.2.4.3 Punto de marchitez permanente

Es el porcentaje de humedad de un suelo en el cual las plantas se marchitan y ya no pueden recuperarse, aún cuando se les coloque en una atmósfera saturada de humedad. (15)

Las constantes de humedad como capacidad de campo y punto de marchitez permanente sirven de base para el cálculo de las láminas y frecuencias de riego cuando se relacionan con la densidad aparente del suelo. (1)

2.2.4.4 Humedad aprovechable

La diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente representa la capacidad de retención de humedad aprovechable. Esta peculiaridad varía en función del tipo de arcilla, cantidad de materia orgánica y estructura del suelo. (12)

2.2.4.5 Punto crítico

Al porcentaje al cual es permitido disminuir el contenido de humedad de un suelo antes de regar y sin llegar al punto de marchitez permanente se le conoce como punto crítico. (15)

2.2.4.6 Déficit permitido de manejo

Al rango entre capacidad de campo y el punto crítico se le llama déficit permitido de manejo, normalmente expresado en porcentaje de la humedad aprovechable total que puede ser usado por los cultivos.

La diferencia entre el contenido de agua en capacidad de campo y el déficit permitido de manejo debe ser la lámina de riego que debe aplicarse. (15)

El déficit permitido de manejo recomendado para muchos cultivos oscila por 50%, lo que significa que cuando estos cultivos consuman el 50% del agua disponible en el suelo, necesitará regarse. (3)

2.2.4.7 Nivel crítico de humedad

Al punto crítico a partir del cual se afecta la tasa de crecimiento de los tallos de las plantas se conoce como nivel crítico de humedad. El nivel de referencia que identifica a éste punto, se toma cuando se consume el 60% del agua aprovechable. (15)

2.2.4.8 Lámina de riego rápidamente aprovechable (LARA)

Es la lámina de humedad que existe entre la capacidad de campo y el nivel crítico de humedad.

2.2.5 CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

En sistemas bajo riego, el uso de agua conteniendo sales disueltas representa un alto riesgo de convertir un suelo productivo en un suelo sin fertilidad. Las aguas con fines de riego contienen de 0.25 a 12.5 toneladas de sal por volumen de agua para una hectárea con 0.30 metros de espesor; es común aplicar láminas de 0.6 metros en un ciclo de cultivo y obtener 3 ciclos de cultivo al año en una zona de riego por lo que se podrían estar agregando grandes cantidades de sal anualmente, volviendo al suelo improductivo si no se toman las medidas adecuadas tales como el drenaje agrícola para remover o lavar el exceso de sal de la zona radicular. (15)

Existen tres maneras de expresar la concentración de sales: en partes por millón, en mili-equivalentes por litro y por conductividad eléctrica; aunque la que se usa con más frecuencia es en partes por millón.

2.2.5.1 Características que determinan la calidad del agua de riego

La calidad de agua se mide como la potencialidad de ésta para hacer daño al suelo y al rendimiento de los cultivos. Deben tomarse en cuenta la calidad química al igual que la calidad agronómica. La primera está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que tenga. La calidad agronómica está determinada por las siguientes variables: calidad química, suelo a regar, método de riego, drenaje de suelo,

cultivos a regar, condiciones climáticas, y prácticas de manejo de agua, del suelo y de las plantas. (15)

La clasificación hecha por el laboratorio de salinidad del United States Department of Agriculture (USDA por sus siglas en inglés) toma en cuenta cuatro características para determinar la calidad de agua para riego:

1. Concentración total de sales solubles (conductividad eléctrica).
2. Concentración relativa del sodio (relación de adsorción de sodio RAS).
3. Concentración de Boro u otros elementos que pueden ser tóxicos.
4. Concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de Calcio y Magnesio.

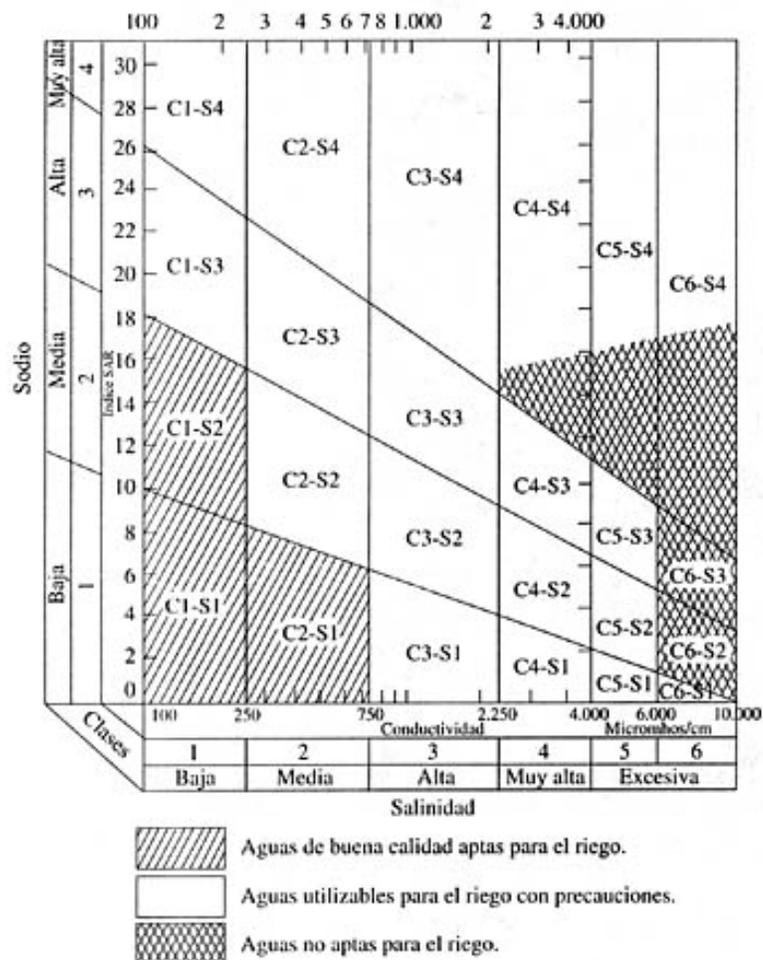


Figura 4. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.

2.2.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Es la suma de dos procesos naturales, los cuales son evaporación y transpiración. Ambos procesos se describen a continuación:

2.2.6.1 Evaporación

Es el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor por un proceso completamente físico, el cual se realiza en la superficie del suelo en un cuerpo de agua. (4)

2.2.6.2 Transpiración

Es el proceso por el cual el agua que ha sido absorbida por las raíces de las plantas es liberada a la atmósfera a través de los estomas. (4)

Entonces, la evapotranspiración es la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Es un proceso por el cual el agua se evapora, ya sea por la superficie del suelo o por la superficie de las hojas de una planta. La transpiración resulta del desprendimiento del agua en forma de vapor de las hojas, la cual fue absorbida desde el suelo y ha sido llevada hasta la superficie foliar. (3)

2.2.6.3 Factores que causan la evapotranspiración

Básicamente son tres los factores que intervienen en el proceso de evapotranspiración: el clima, el suelo y la planta.

- a. Entre los aspectos climáticos se puede mencionar la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, horas de iluminación, número de horas efectivas de sol, la radiación solar.
- b. En cuanto al suelo, por la cantidad de agua almacenada ya que a medida que aumenta la sequía, el agua es retenida con mayor intensidad, cediendo menos cantidad a las plantas.
- c. Con respecto a las plantas, influirá el número de estomas que posean por hoja, y también la etapa fenológica en que se encuentre.

2.2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Los métodos de riego pueden dividirse en tres grandes grupos: por superficie, a presión y sub-superficiales. Su uso dependerá de los medios económicos con los que se cuente y de las circunstancias como la topografía del terreno. (15)

Estos se dividen a su vez de la siguiente manera, en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación de los sistemas de riego.



Fuente: Sandoval Illescas

2.2.8 RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo es una técnica para la aplicación del agua al sistema radicular de las plantas en forma lenta pero frecuente, por medio de dispositivos llamados goteros o emisores. Este sistema es llamado también riego localizado, ya que es la forma de aplicar el agua gota a gota a la zona radicular de un cultivo sin necesidad de mojar toda la superficie del suelo. (7)

Su instalación es relativamente costosa, pero su aplicación es muy eficiente en el aprovechamiento del agua. Es por esto que se está difundiendo alrededor del mundo en cultivos altamente remunerativos y en zonas donde hay limitada disponibilidad de agua.

2.2.8.1 Ventajas del riego por goteo

Este tipo de riego presenta puntos a favor sobre los métodos tradicionales, así como la posibilidad de regar cualquier tipo de terreno sin importar la pendiente. También un aumento de producción y mejor calidad en las cosechas ya que el cultivo satisface sus necesidades hídricas durante todo el tiempo. Así mismo permite realizar aplicaciones de fertilizantes al mismo tiempo que se riega. (4)

2.2.8.2 Desventajas del riego por goteo

Los inconvenientes del riego por goteo son pocos comparados con sus ventajas, pueden mencionarse las siguientes: Su costo es alto ya que existen cultivos que no son lo suficientemente rentables para justificar dicha inversión. Además pueden existir obstrucciones en los goteros por las partículas que el agua arrastra llegando a causar serios daños en la instalación o al cultivo por falta de riego. (4)

2.2.8.3 Componentes

Los componentes que pueden entrar a formar parte del equipo necesario de un sistema de riego por goteo son: fuente de agua, unidad de bombeo, sistema de filtrado, equipo de fertilización y la red de tuberías y accesorios para la conducción, distribución y aplicación del agua: (5, 10, 11, 13)

- a. Fuente de agua: Es importante que el agua para riego por goteo se encuentre libre de sólidos en suspensión, que tenga baja concentración de bacterias y que la concentración de sales se encuentre dentro de los límites tolerables. Cuando no se cuenta con estas condiciones, es necesaria la implementación de sistemas de filtrado.
- b. Unidad de bombeo: Está constituido por una bomba, la cual es accionada por un motor de combustión interna. El tamaño de éste será de acuerdo a la carga total necesaria para regar el área.
- c. Sistema de filtrado: Es necesaria la implementación de un sistema de filtrado para evitar que exista cualquier obstrucción por distintos factores que en su mayoría son partículas que viajan junto con el agua que tapan los emisores. Este sistema de

filtrado está constituido por un conjunto de tratamientos que se hacen para limpiar el agua de estas partículas. Están formados por filtros de mallas, filtros de grava, depósitos colectores de sedimentos, hidrociclones como desarenadores. Además es necesario el uso de tratamientos químicos para el mantenimiento de la red de filtrado.

- d. Equipo de fertilización: Esta es una ventaja de este sistema, ya que se puede regar al mismo tiempo que se fertiliza (fertirrigación), lo cual genera un ahorro significativo en mano de obra. Puede implementarse al sistema por medio de depósitos que contienen la mezcla y que con ayuda de diferenciales de presión, o bien, inyectada mediante bombas, permiten el ingreso de soluciones fertilizadores a la red de tubería principal para su posterior distribución.
- e. Red de tuberías: Esta red está conformada por tubería la principal, secundaria, laterales, y accesorios. Los materiales más utilizados son el PVC (policloruro de vinilo) y el PE (polietileno). Debido a que el PVC es susceptible a deterioros o deformaciones por consecuencia de agentes meteorológicos, suelen usarse enterrados.
- f. Goteros: Son los dispositivos encargados de aplicar el agua al suelo para provecho del cultivo los cuales manejan caudales pequeños y uniformes. Además no deben ser susceptibles a las variaciones de presión. En las Figuras 5 y 6 se ilustran los goteros internamente.

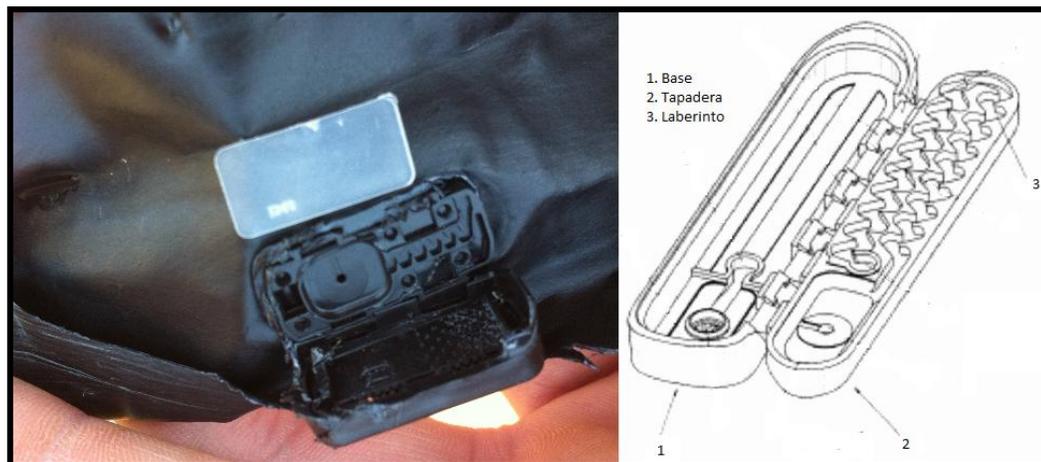


Figura 5. Vista interna del Diafragma de gotero y membrana.

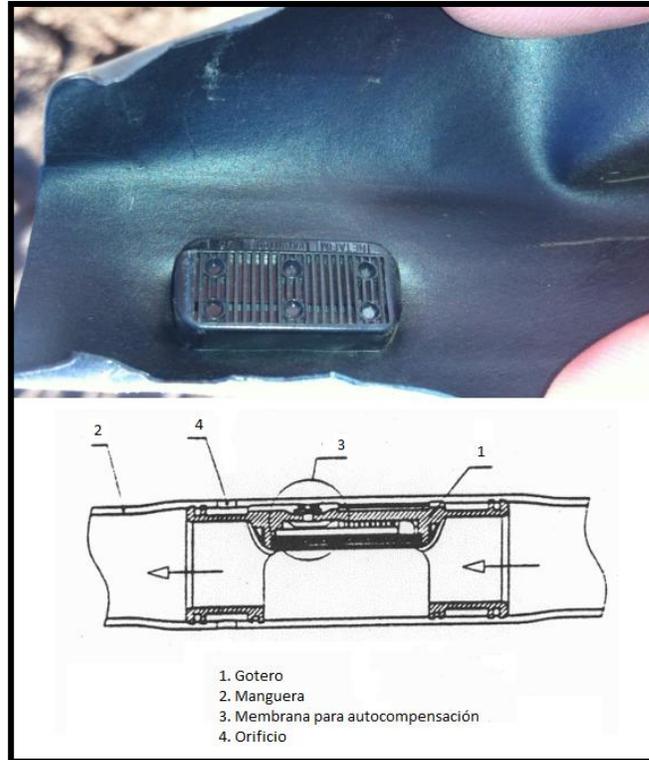


Figura 6. Emisor en corte longitudinal de manguera para goteo.

Es importante que al momento de colocar las mangueras de los goteros en el suelo, se tenga el cuidado de que los emisores queden hacia arriba, con el propósito de que cualquier sedimento quede en la parte inferior de la manguera y no congestione los goteros por la entrada de alguna de estas partículas.

2.3 MARCO REFERENCIAL

2.3.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

2.3.1.1 Guazacapán

El municipio de Guazacapán se localiza a 114 kilómetros de la ciudad de Guatemala, y a 45 de su cabecera Departamental, Cuilapa. Es la cabecera municipal del municipio del mismo nombre y dentro de la división político-administrativa pertenece al departamento de Santa Rosa. Como se muestra en la Figura 7, este municipio colinda al Norte con el municipio de Pueblo Nuevo Viñas, al Este con el municipio de Chiquimulilla, al Sur con el Océano Pacífico, y al Oeste con el municipio de Taxisco. Posee una extensión territorial de aproximadamente 172 km².

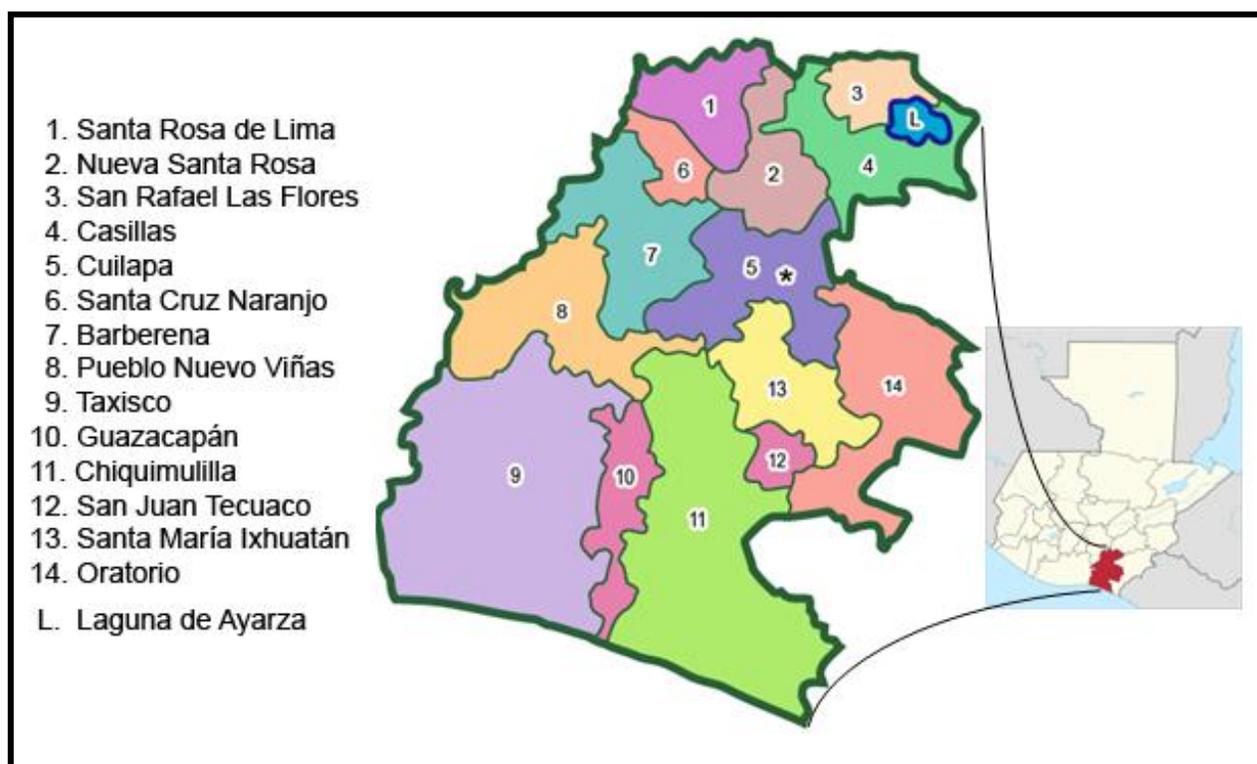


Figura 7. División Política del Departamento de Santa Rosa, Guatemala.

2.3.1.2 Finca Eslovaquia

La finca Eslovaquia está localizada en el municipio de Guazacapán, departamento de Santa Rosa con coordenadas geográficas de Latitud Norte 14° 00' 29.79" y Longitud Oeste 90° 25' 33.41". Su altitud es de aproximadamente 54 metros sobre el nivel del mar (msnm).

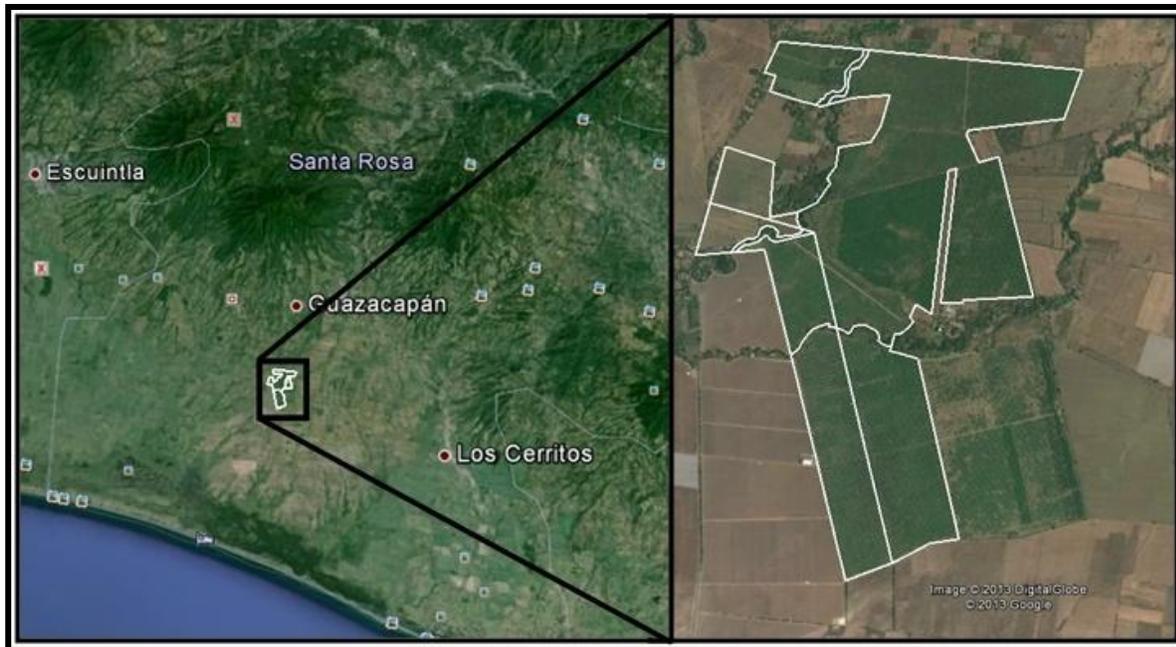


Figura 8. Foto aérea de la finca Eslovaquia N $14^{\circ} 00' 29.79''$, $W 90^{\circ} 25' 33.41''$.

2.3.2 CLIMA

Guazacapán cuenta con condiciones climáticas muy variables por la influencia de los vientos; el régimen de las lluvias es de mayor duración por lo que influye grandemente en la composición florística y en la fisonomía de la vegetación. La temperatura para esta zona oscila entre 21 y 25°C , por otro lado, la evapotranspiración se estima en promedio en 0.45 y el patrón de lluvia varía entre $2,136$ a $4,327$ milímetros anuales. (2)

2.3.3 ZONAS DE VIDA

- a. Bosque húmedo subtropical (bhS(c))
- b. Bosque muy húmedo subtropical (bmh-S(c))

2.3.4 SUELOS

Para esta área los suelos pertenecen al grupo del declive del pacífico, los cuales se caracterizan por ser profundos sobre materiales volcánicos mezclados o de color oscuro. El material madre es el halar pedregoso, con relieve inclinado y con buen drenaje interno. El color es café rojizo u oscuro, de textura franco arcillosa friable y su espesor varía de 20 a 30 centímetros.

El pH oscila de 5.5 a 6 y el contenido de materia orgánica se encuentra entre 4.0 a 4.5. En cuando al subsuelo, es de color rojo, de consistencia friable, con textura arcillosa y de espesor entre 60 y 100 centímetros. (16)

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 GENERAL

Mejorar la eficiencia de uso de agua a través de un sistema de riego por goteo para el cultivo de caña de azúcar en la finca Eslovaquia, Guazacapán, Santa Rosa.

2.4.2 ESPECÍFICOS

1. Formular, diseñar y definir los criterios de riego por goteo, para la finca Eslovaquia.
2. Verificar los criterios técnicos de instalación y operación de un sistema de riego por goteo.
3. Desarrollar un análisis financiero para la implementación del sistema de riego por goteo, en la finca Eslovaquia.

2.5 METODOLOGÍA

El diseño del sistema de riego por goteo en el cultivo de caña de azúcar, en la finca Eslovaquia, se estructuró tomando diferentes factores los cuales se describen de la siguiente manera:

2.5.1 ACTIVIDADES PRE-DISEÑO

Para iniciar la elaboración de éste proyecto, se caracterizó la finca Eslovaquia integrando la siguiente información:

2.5.1.1 Topografía

Fue una de las etapas más importantes, ya que a partir de este análisis se basa el diseño en donde se estableció la distribución de calles, rutas cañeras, áreas netamente bajo siembra llamadas pantes, etc. Para este proceso se tomaron en cuenta factores como la inclinación del terreno, la existencia de ríos, el área boscosa, pistas de aterrizaje, la ubicación de los pozos para fuentes de agua, las obras civiles como bodegas, ubicación de las calles y rutas cañeras para facilitar el acceso de transporte pesado para realizar tareas de manejo de cultivo, por ejemplo, que las jaulas cañeras tuvieran acceso a todos los pantes a la hora de la zafra. Para todo lo anterior fue elemental contar con el plano de la finca, ilustrado en la Figura 9, para poder estudiar las diferentes opciones con las que se disponía.

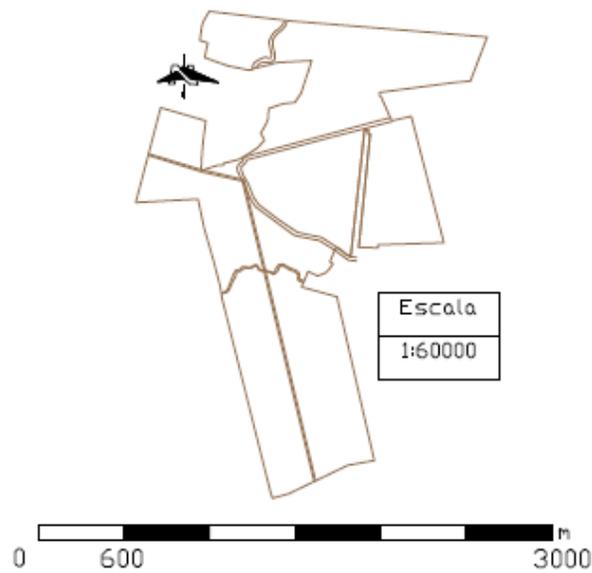


Figura 9. Mapa de la finca Eslovaquia.

2.5.1.2 Fuente de agua

Según los cálculos efectuados en el diseño agronómico, se estableció que eran necesarios alrededor de 2,000 GPM (galones por minuto) para abastecer la demanda de agua en ambos módulos. Este dato se determinó en base a la cantidad de válvulas correspondientes a cada turno, y al número de turnos por módulo.

2.5.1.3 Suelo

Se realizó un muestreo de suelos con el propósito de determinar las propiedades físicas del suelo ya que a partir de estos parámetros parte el diseño agronómico, tales como capacidad de campo, punto de marchitez permanente, entre otros. El muestreo se hizo teniendo el cuidado de que fuera una muestra representativa del área y, basándose en el criterio del Ingenio, se tomaron 20 submuestras por muestra, y una muestra por cada 100 hectáreas. Éstas fueron enviadas al laboratorio para la determinación de las propiedades del suelo con fines de riego.

2.5.2 RECOPIACIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS Y DISEÑO FINAL

2.5.2.1 Concepción del proyecto

Debido a que cada finca es diferente, se analizó la manera en que podía adaptarse convenientemente el sistema de riego, determinando así la ubicación de los pozos, la orientación de la tubería en base a la pendiente de la finca, el área que podía abarcar cada pante para no forzar el motor a la hora de operarlo, y la delimitación de las rondas, calles, ríos, obras civiles, la ruta cañera, entre otros.

De manera que se optó por dividir la finca en dos módulos para poder adecuar convenientemente los factores antes mencionados.

2.5.2.2 Diseño del sistema de riego

Ésta etapa se conformó de otras dos, el diseño agronómico y el diseño hidráulico, las cuales se describen a continuación:

Para definir el diseño agronómico fue necesario auxiliarse de los siguientes modelos matemáticos:

- a. **Evapotranspiración máxima diaria:** Para determinar este parámetro se utilizó el método de Blanney y Criddle modificado por la FAO donde la evapotranspiración máxima diaria está dada por:

$$ETP_{max} = Eto * Kc$$

Donde:

ETPmax: Evapotranspiración máxima diaria (cm/d)

Eto: Evapotranspiración del cultivo (cm/d)

Kc: Coeficiente del cultivo

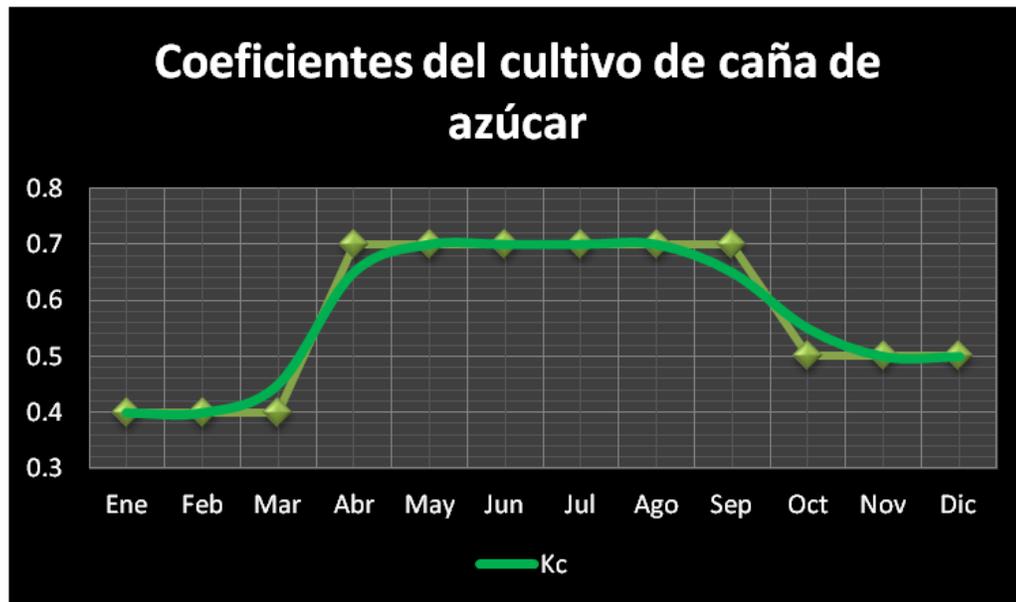


Figura 10. Coeficiente “Kc” del cultivo de caña de azúcar.

Cabe mencionar que el “Kc” utilizado, dependía de la etapa fisiológica en que se encontraba el cultivo al momento de aplicar el riego.

- b. **Lámina de humedad aprovechable:** Expresa la humedad del suelo en lámina de agua entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Se calculó de la siguiente manera:

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

Donde:

LHA: Lámina de humedad aprovechable (cm)

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Da: Densidad aparente (g/cm^3)

Zr: Zona radicular (cm)

Para el cultivo de caña de azúcar se utilizó una zona radicular equivalente a 60 centímetros.

- c. Lámina de humedad rápidamente aprovechable:** Está en función de la humedad que existe entre la capacidad de campo y el nivel crítico de humedad. Se determinó con el siguiente modelo matemático:

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

Donde:

LHRA: Lámina de humedad rápidamente aprovechable (cm)

LHA: Lámina de humedad aprovechable (cm)

DPM: Déficit permitido de manejo (%)

El déficit permitido de manejo varía según el sistema de riego que se utilice, pero debido a que para este caso se utilizaría un frecuencia de riego diaria se optó a trabajar con un DPM de 20%.

- d. Lámina bruta de riego:** Para el cálculo de este parámetro se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$\text{Lb} = \frac{\text{LHRA}}{\text{Efa}}$$

Donde:

Lb: Lámina bruta de riego (cm)

LHRA: Lámina de humedad rápidamente aprovechable (cm)

Efa: Eficiencia de aplicación (%)

e. Frecuencia de riego: Se calculó con el siguiente modelo matemático:

$$Fr = \frac{Lb}{\frac{ETPmax}{Efa}}$$

Donde:

Fr: Frecuencia de riego (d)

Lb: Lámina bruta de riego (cm)

ETPmax: Evapotranspiración máxima diaria (cm/d)

Efa: Eficiencia de aplicación (%)

f. Intensidad de riego: Este parámetro se calculó de la siguiente manera:

$$Ir = \frac{Qe}{\text{Área}} * 100$$

Donde:

Ir: Intensidad de riego (cm/h)

Qe: Caudal del emisor (m³/h)

Área: Área que cubre el emisor (m²)

g. Tiempo de riego por turno: Este factor se determinó de la siguiente manera:

$$TRT = \frac{Lb}{Ir}$$

Donde:

TRT: Tiempo de riego por turno (h)

Lb: Lámina bruta de riego (cm)

Ir: Intensidad de riego (cm/h)

- h. Selección del emisor:** Este es el componente principal de un sistema de riego por lo que se evaluó detenidamente para que cumpliera con los requerimientos del cultivo.
- i. Marco de siembra:** Se estableció en base a los requerimientos del cultivo, teniendo 1.90 metros entre mangueras y 0.5 metros de distancia entre goteros a lo largo de la manguera.

De manera que se realizaron los cálculos en base a los requerimientos por parte del cultivo, consiguiendo determinar los siguientes parámetros:

- a. La lámina de riego bruta.
- b. Calcular la frecuencia e intensidad de riego.
- c. Establecer el tiempo de riego por turno.
- d. Seleccionar el emisor.
- e. Fijar el marco de siembra para cubrir la demanda de agua.

Por otro lado, para el diseño hidráulico, con ayuda de una hoja electrónica se calcularon los siguientes modelos matemáticos:

- a. Pérdida de carga:** Este parámetro se determinó por motivos de pérdida de energía por fricciones que se dan en el interior de la red de tubería. Para definir estas pérdidas fue necesario auxiliarse del modelo matemático de Hazen-Williams detallado a continuación:

$$H_f = 1.131^2 * 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.87} * L$$

Donde:

Hf: Pérdida de fricción (m)

Q: Caudal (m³/h)

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams según el material utilizado

D: Diámetro interno de la tubería (mm)

L: Longitud de la tubería (m)

Algunos valores de “C” para coeficientes de rugosidad de distintos materiales se muestran en el Cuadro 18A.

- b. Pérdida total:** Se estimó sumando los valores de pérdida de carga de la tubería principal, la pérdida de carga de la tubería secundaria, la pérdida de carga de las lateras, etc., como se muestra a continuación:

$$\mathbf{Hf(total) = Hf(tuberíaprincipal) + Hf(tuberíasecundaria) + Hf(laterales)}$$

- c. Pérdida de carga por salidas múltiples:** Debido a que cada emisor es una salida, a lo largo de la tubería lateral se tendrían un número de salidas equivalente al total de emisores a lo largo de esta; entonces se multiplicó la “Hf” por el valor de “F”, como se muestra a continuación:

$$\mathbf{Hfsm = Hf * F}$$

Donde:

Hfsm: Pérdida de carga por salidas múltiples (m)

Hf: Pérdida por fricción (m)

F: Factor para pérdidas por salidas múltiples

Algunos valores de “F” para salidas múltiples se muestra en el Cuadro 19A.

- d. Pérdidas menores:** Son las pérdidas en metros de columna de agua (m.c.a.) por fricciones que se originan por accesorios tales como: codos, tees, coplas, reducidos bushing, válvulas, etc., las cuales se determinaron de la siguiente manera:

$$\mathbf{hm = K * \frac{v^2}{2g}}$$

Donde:

hm: Pérdidas menores en metros de columna de agua (m)

K: Factor de pérdidas por accesorios

V^2 : Rapidez al cuadrado (m^2/s^2)

g: Aceleración gravitacional de acuerdo a la latitud (m/s^2)

Algunos valores de “K” para perdidas menores de distintos accesorios se presentan en el Cuadro 20A.

- e. Carga requerida en la entrada del lateral:** Como su nombre lo indica, es la carga que requiere un lateral en su entrada para poder abastecer de agua a cada emisor, aportando la presión necesaria para el funcionamiento óptimo. Se calculó con el siguiente modelo matemático:

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

Donde:

h_e : Carga requerida en 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 : Pérdida menores en metros de columna de agua (m)

- f. Carga Dinámica Total:** Para estimarla, se sumaron todas las pérdidas por fricción que tendría el sistema en su operación como se muestra a continuación:

$$CDT = h_e + h_{fp} + (h_{fp} * 0.1) + C_e$$

Donde:

C.D.T.: Carga Dinámica Total (m.c.a.)

he: Carga requerida en la entrada del lateral (m)

hfp: Pérdidas de carga de la principal (m)

hfp*0.1: Estimación de pérdidas menores en la principal

Ce: Desnivel topográfico (m).

g. Potencia del motor requerida: Es la potencia que requiere la bomba por parte del motor, y se calculó con la siguiente fórmula:

$$H_{pB} = \frac{Q * C. D. T.}{76 * E_b}$$

Donde:

H_{pB}: Caballos de fuerza requeridos por la bomba (Hp)

Q: Caudal del sistema (l/s)

C.D.T.: Carga Dinámica Total (mca)

E_b: Eficiencia de la bomba (%)

h. Selección del sistema de bombeo: En base a la demanda de agua y los requerimientos hídricos del cultivo, se definieron los componentes del sistema de bombeo.

De manera que analizando los cálculos efectuados se determinaron los siguientes parámetros:

- a. Cálculo de la red de tubería.
- b. Caudal utilizado por turno.
- c. Cálculo del equipo de bombeo.

2.5.3 EJECUCIÓN E INSTALACIÓN DEL PROYECTO

Esta fase se subdividió en seis partes de la siguiente manera:

- a. Perforación de pozos.
- b. Instalación del sistema de bombeo.

- c. Instalación del sistema de filtrado.
- d. Instalación del equipo de fertiriego.
- e. Instalación de la tubería PVC y PE.
- f. Realización de la prueba hidráulica.

2.5.4 ANÁLISIS FINANCIERO

Se realizó un análisis financiero de la implementación del sistema de riego por goteo para la finca Eslovaquia, en base a estimaciones del rendimiento por hectárea esperado para las próximas 4 cosechas. Para esto se tomaron en cuenta indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio/Costo [R (B/C)], los cuales se detallan a continuación:

- a. **Valor Actual Neto (VAN):** Se define como el valor actualizado de los beneficios a futuro, menos el valor actualizado de los costos futuros, menos la inversión inicial. Todos los valores deben ser descontados a la tasa de descuento definida para el proyecto. Para calcular este indicador se detalla el modelo matemático a continuación:

$$VAN = \frac{\sum(Y - E)}{(1 + Td)^n} - I_0$$

Donde:

VAN: Valor Actual Neto.

Y: Ingresos anuales.

E: Egresos anuales.

Td: Tasa de descuento.

n: Años de duración del proyecto.

I_0 : Inversión inicial.

Un proyecto es aceptado cuando el VAN es igual o mayor que cero.

- b. **Tasa Interna de Retorno (TIR):** Es la tasa de actualización por medio de la cual el valor actual de los ingresos de efectivo, es igual al valor actual de los egresos de efectivo. Cabe recalcar que este dato hace al VAN = cero. Para calcularla se puede usar el siguiente modelo matemático:

$$\text{TIR} = i_1 + (i_2 - i_1) \left(\frac{\text{VAN} +}{\text{VAN} + - \text{VAN}-} \right)$$

Donde:

TIR: Tasa Interna de Retorno.

i_1 : Tasa de descuento que origina el VAN +

i_2 : Tasa de descuento que origina el VAN -

VAN +: Valor Actual Neto positivo de fondos.

VAN -: Valor Actual Neto negativo de fondos.

Este indicador muestra la máxima tasa de interés que el proyecto puede pagar, sin que se incurra en pérdidas.

- c. **Relación Beneficio/Costo [R (B/C)]:** Determina la eficiencia para utilizar los recursos financieros durante la ejecución del proyecto. Consiste en relacionar el total de los valores actuales de los ingresos entre el valor total de los valores actuales de los egresos a una tasa e actualización dada. Para calcular este parámetro se utiliza el siguiente modelo matemático:

$$\left[R \left(\frac{B}{C} \right) \right] = \frac{\frac{\sum Y}{(1 + Td)}}{\frac{\sum E}{(1 + Td)}}$$

Donde:

R (B/C): Relación Beneficio/Costo.

Y: Ingresos anuales.

E: Egresos anuales.

Td: Tasa de descuento.

Un proyecto es aceptado cuando la $[R (B/C)]$ es igual o mayor a uno.

2.6 RESULTADOS

2.6.1 ACTIVIDADES PRE-DISEÑO

Antes de iniciar todo el proceso se realizó una visita de campo, debido a que una de las actividades importantes para poder iniciar la elaboración de este proyecto era caracterizar la finca en donde se ejecutó, para el caso de la finca Eslovaquia, se utilizó integralmente la siguiente información:

2.6.1.1 Topografía

La finca Eslovaquia está ubicada en Guazacapán, Santa Rosa, sus coordenadas geográficas son N 14° 00' 29.79", W 90° 25' 33.42". Se encuentra a 94 kilómetros del Ingenio Magdalena por la carretera CA-2, por la ruta Escuintla-Guazacapán. Entre sus cualidades está la de poseer ruta cañera interna que en tiempo de zafra se transportan hasta 4 jaulas.

El área total fue de aproximadamente 345 hectáreas distribuidas como muestra el Cuadro 8.

Cuadro 8. Distribución del área de la finca Eslovaquia.

DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA		
TIPO	ha	%
Siembra con riego	331.01	95.73
Casas	0.90	0.26
Borda	0.15	0.05
Calles	13.69	3.96
TOTAL ÁREA	345.75	100.00

Por otro lado, en la Figura 11 se muestra un mapa de curvas a nivel en donde puede observarse que el terreno es bastante plano con un diferencial de altura de 25 metros desde el punto más alto hasta el punto más bajo. Cabe recalcar que la topografía no es un impedimento para el sistema de riego por goteo pero si se facilitan muchas labores cuando se tiene una superficie como la de ésta finca.

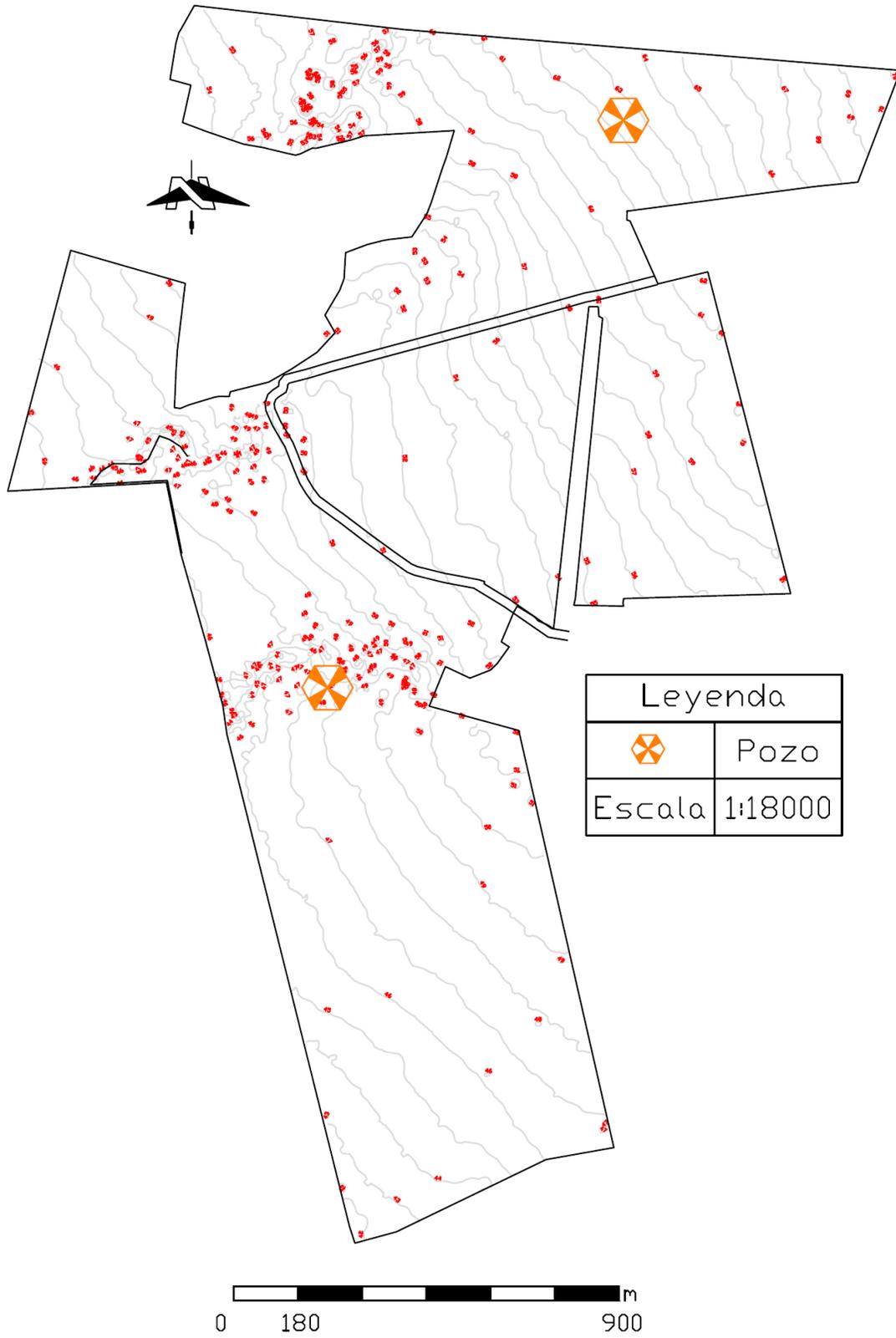


Figura 11. Mapa de curvas a nivel de la finca Eslovaquia.

2.6.1.2 Fuente de agua

En base a la experiencia desarrollada en proyectos anteriores se ha tomado como parámetro que cada pozo riegue como máximo entre 160 y 180 hectáreas, ayudando así a prolongar significativamente la vida útil de un pozo. Debido a que la finca Eslovaquia tiene alrededor de 345 hectáreas se sugirió que se dividiera en dos módulos como se muestra la Figura 12. En cada módulo se perforó un pozo de 920 pies capaz de producir alrededor de 2,000 GPM, suficientes para abastecer la red de tubería correspondiente a cada sección.

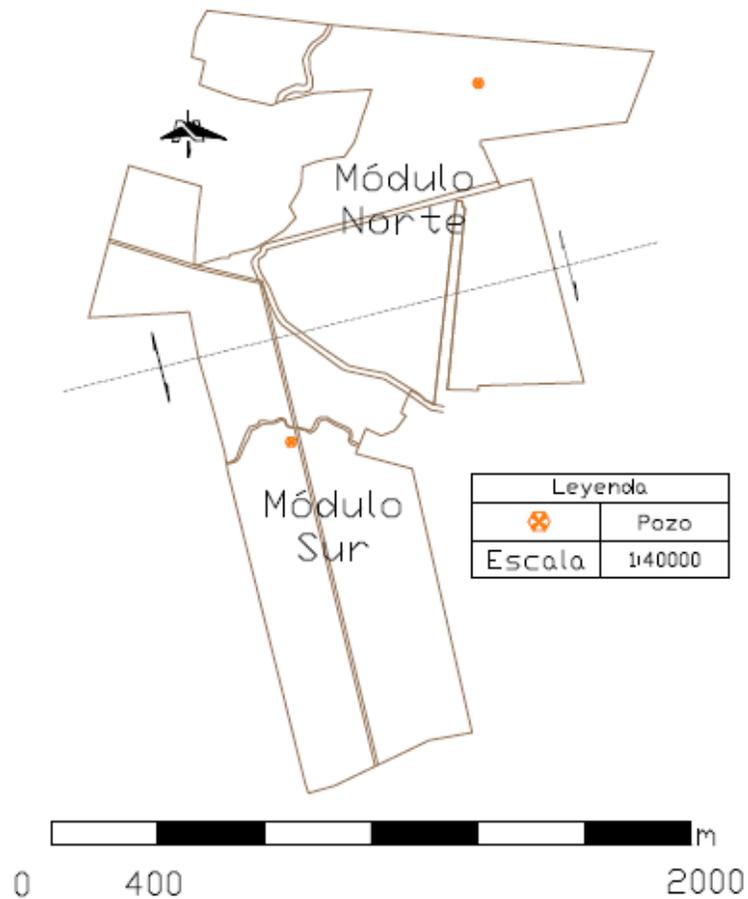


Figura 12. División de la finca Eslovaquia por módulos.

2.6.1.3 Suelo

En el Cuadro 9 se muestran los resultados del muestreo de suelos que se realizó en la finca Eslovaquia, detallando las propiedades físicas como capacidad de campo, punto de marchitez permanente, la clase textural, entre otros, con el propósito de iniciar el diseño agronómico.

Cuadro 9. Resultados del muestreo de suelos con fines de riego.

Punto	Textura (%)			Propiedades físicas			Textura
	Arcilla	Limo	Arena	CC (%)	PMP (%)	Dap (gr/cm ³)	
1	22	14	64	19.9	15.2	1.19	Franco arcillo arenoso
2	24	17	59	19.4	16.1	1.23	Franco arcillo arenoso
3	27	24	49	21.2	19.8	1.16	Franco arcillo arenoso
4	27	14	59	19.1	15.7	1.22	Franco arcillo arenoso
\bar{x}	25	17	58	19.90	16.70	1.20	

2.6.2 RECOPIACIÓN DE CRITERIOS TÉCNICOS Y DISEÑO FINAL

2.6.2.1 Concepción del proyecto

Todos los sistemas de riego tienen ventajas y desventajas, pero este sistema en particular si se compara con el método más usado, que es miniaspersión, se puede tomar en cuenta el ahorro en el consumo del recurso hídrico en base a la eficiencia de su uso, siendo amigable con el medio ambiente por conservar las fuentes de agua.

Además de ganar experiencia en esta tecnología de riego que es capaz de fertilizar al mismo tiempo que riega, logrando así disminuir los costos operativos teniendo como consecuencia un aumento en la producción. La contraparte radica en el alto costo de inversión por hectárea, que aumenta en un 75% comparado con miniaspersión.

Tomando en cuenta que cada finca tiene peculiaridades que las hace distintas de las otras y por consiguiente los proyectos también, se hizo un diseño de campo del sistema de riego por goteo que fue entregado al administrador contemplando los posibles puntos de perforación de pozos, el trazo de los límites entre fincas, rondas, rutas cañearas, calles, etc., además de los cálculos de la dimensión y distribución de los pantes en base al caudal de los pozos. Este diseño se ilustra en la Figura 14.

Con ayuda del diseño de campo se evaluó el diseño hidráulico para lo que fue necesario un plano de la finca previamente delimitado, además de software específico, estos cálculos se detallan a continuación:

2.6.2.2 Diseño del sistema de riego

2.6.2.2.1 *Diseño agronómico*

Para iniciar esta fase se estableció el marco de siembra en base a los requerimientos del cultivo, teniendo 1.90 metros entre mangueras y 0.5 metros de distancia entre goteros a lo largo de la manguera, siendo entonces 0.95 m^2 .

Los resultados del diseño agronómico se muestran a continuación, en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Resumen del diseño agronómico.

PARÁMETRO	RESULTADO
Lámina bruta de riego	0.5 cm
Frecuencia de riego	Diaria
Intensidad de riego	0.105 cm/h
Tiempo de riego por turno	4.75 h
Selección del emisor	DripNet PC™ 16125

El emisor seleccionado fue el DripNet PC™ 16125 de la casa Netafim, el cual se ilustra en la Figura 13. Gracias a la membrana que posee, éste gotero se denomina auto compensado, es decir que maneja el mismo caudal independientemente la presión que opere el sistema en determinado momento. Cuenta con un mecanismo que bloquea la entrada de cualquier cuerpo o partícula, mejorando así la resistencia a la penetración de raíces haciéndolo ideal para aplicaciones subterráneas. El caudal que entrega es de un litro por hora, adaptándose a los requerimientos del cultivo.

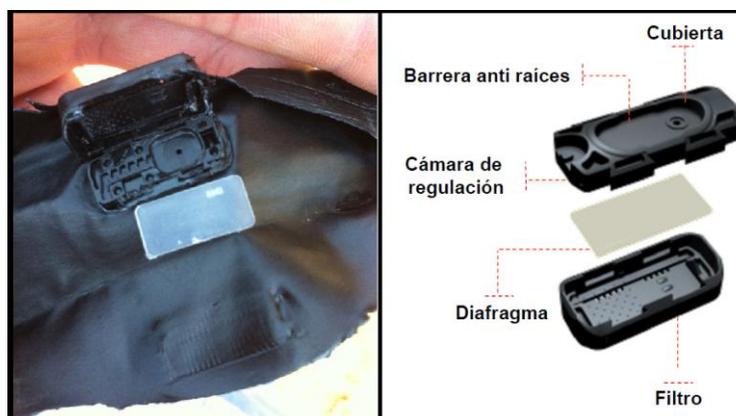


Figura 13. Partes internas de un gotero DripNet PC 16125.

2.6.2.2.2 *Diseño de campo*

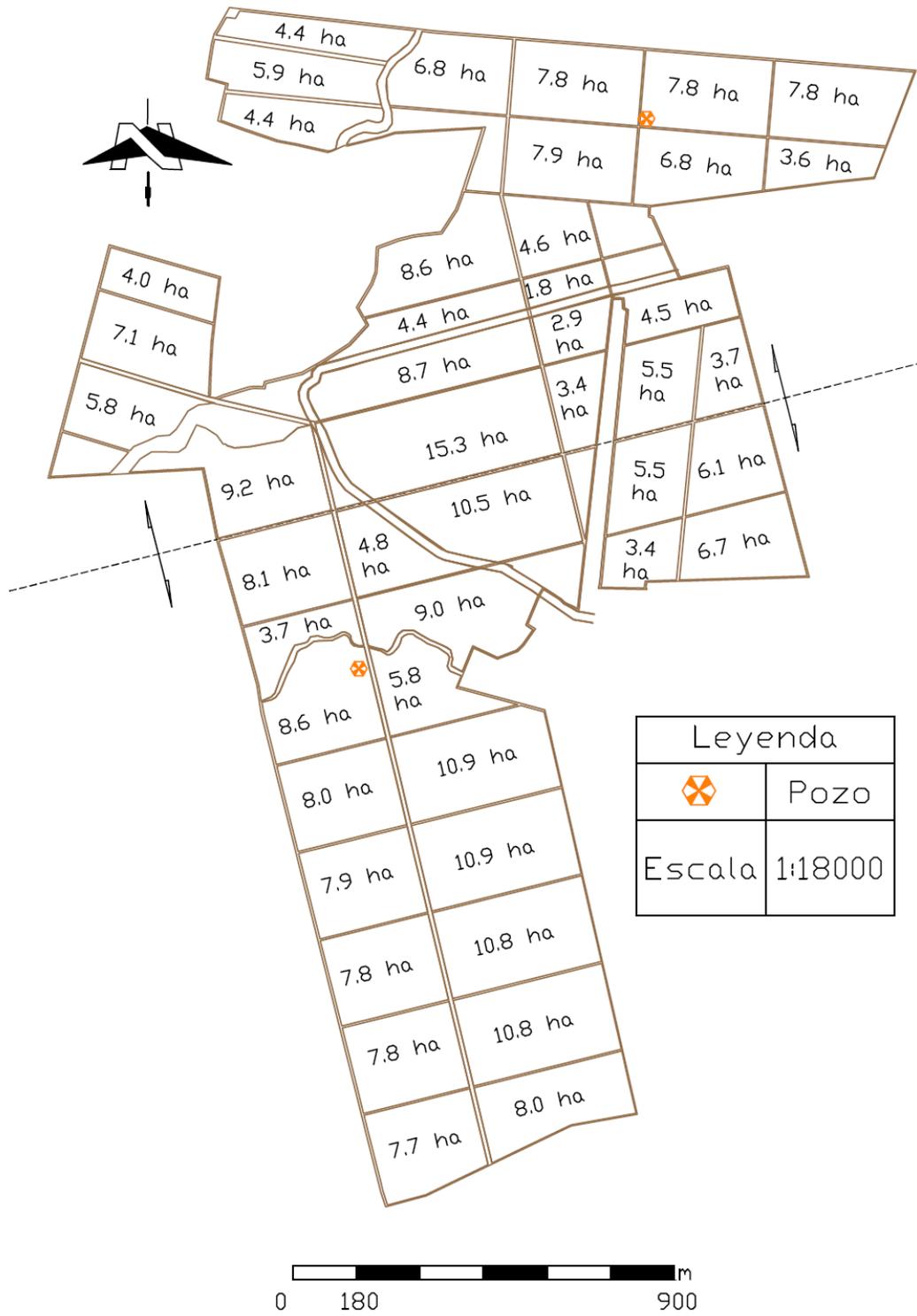


Figura 14. Diseño de campo de la finca Eslovaquia.

Cabe recalcar que el diseño de campo estuvo sujeto a cambios por si el administrador de la región lo creía necesario, además de esperar la aprobación de los puntos de perforación propuestos, ya que estos podían cambiar en base a sondeos eléctricos posteriores.

Si esto sucediera, se hace un nuevo diseño respetando los puntos de perforación apropiados, y la nueva evaluación por parte del administrador.

2.6.2.2.3 *Diseño parcelario*

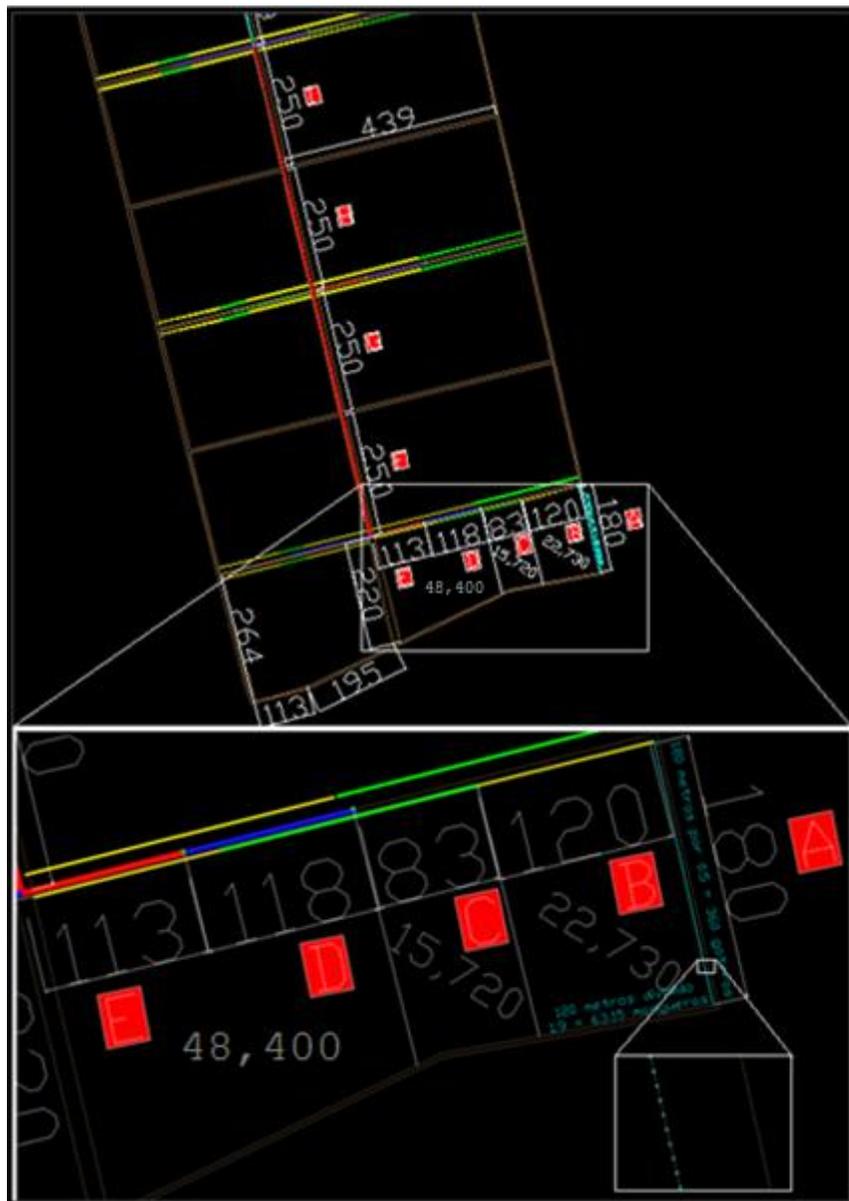


Figura 15. Ejemplo del diseño parcelario para el turno No. 4 del módulo sur.

En la Figura 15 se ilustra el diseño parcelario para el segmento del turno de riego crítico que para este caso es el No. 4 del módulo Sur, ya que es el más retirado de la fuente de agua.

Con ayuda de los aumentos se puede notar la manera en que están ubicados los goteros a lo largo de todas las mangueras del sistema de riego. Por ejemplo, el tramo "A" de 180 metros de longitud posee un total de 360 goteros ya que estos tienen una separación de 0.5 metros a lo largo de la manguera.

De la misma manera fue calculada la cantidad de mangueras que tendría el tramo "B" de 120 metros de longitud, con la diferencia que el distanciamiento para éstas es de 1.9 metros para tener un total de 63.15 mangueras del largo del tramo "A" (180 metros).

De modo que multiplicando la cantidad de goteros por la cantidad de mangueras se tiene alrededor de 22,730 emisores para estos tramos, y con este procedimiento fueron calculados la cantidad de goteros para toda la finca.

El mismo procedimiento se llevo a cabo en todos los pantes, a excepción de los que tenían forma irregular como el tramo "D" y "E". Para este caso el largo del tramo "D" es de 180 metros y el del tramo "E" es de 220, de modo que al promediarlo quedo un largo de 200 metros y alrededor de 400 goteros.

En cuanto al ancho se sumó el de ambos tramos teniendo un total de 231 metros y alrededor de 121.57 mangueras para un total de 48,400 para dichos tramos.

De esta manera se contabilizaron un total de 86,850 goteros para este el pante conformado por los tramos "A", "B", "C", "D" y "E", y de igual forma se cuantificaron los emisores para todos los pantes de la finca.

A continuación en la Figura 16 se muestra una línea piezométrica para ver los cambios altimétricos, los cambios de presiones a lo largo de esta conducción, así como las distintas presiones y diámetros de tubería utilizados a partir del pozo del módulo sur, debido a que en este sector se encuentra el turno crítico.

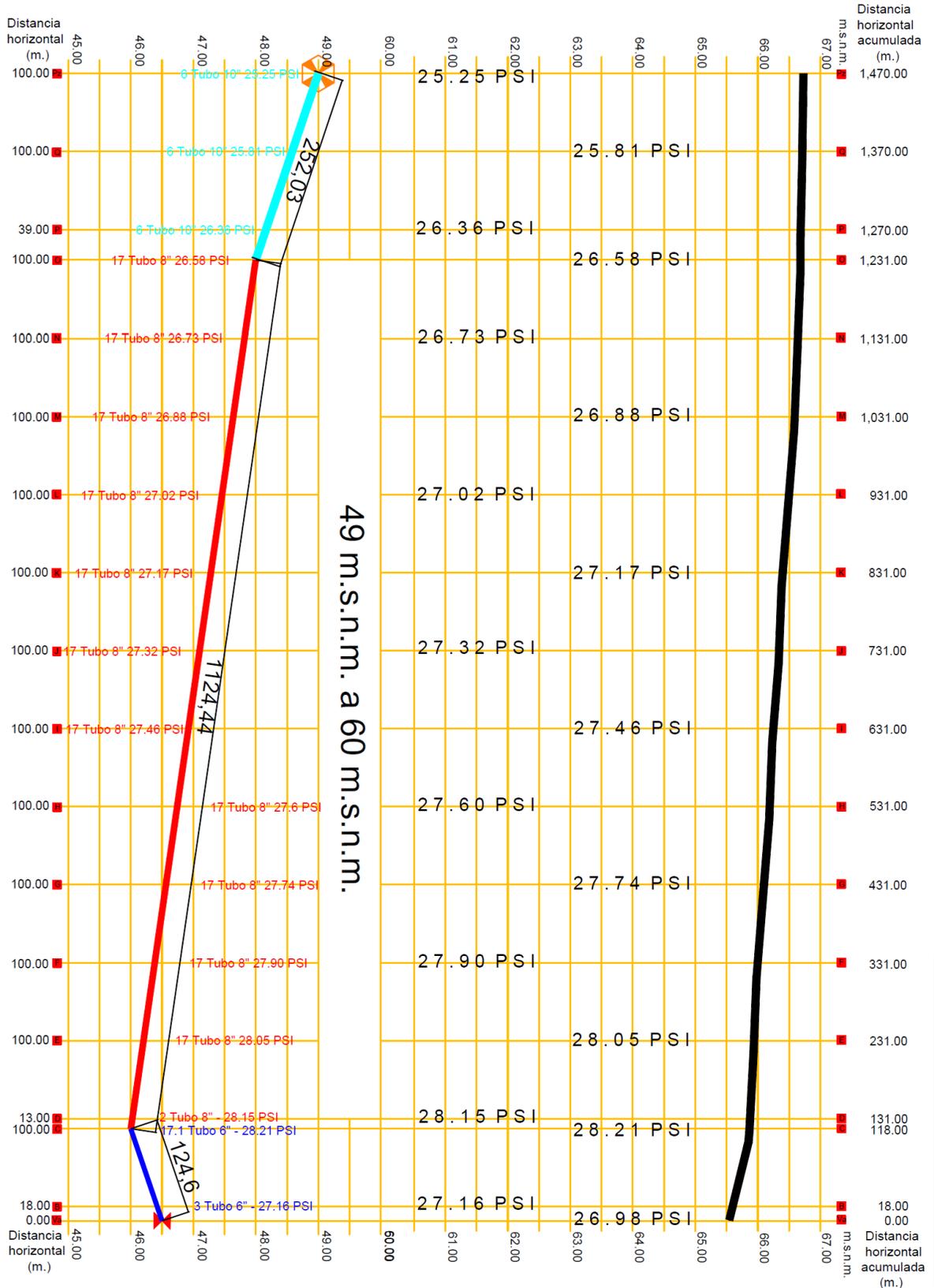


Figura 16. Línea piezométrica para el turno No. 4 del módulo sur.

Se puede notar que el cambio topográfico es mínimo ya que el punto más elevado está en la cota 49 y el más bajo se encuentra en la cota 46, teniendo 3 metros de diferencia. Luego del punto más bajo se tiene un incremento de altura equivalente a 2 metros llegando a alcanzar la cota 48. De esta manera se trabajaron las presiones para el diseño hidráulico ilustrado a continuación, en la Figura 17.

2.6.2.2.4 Diseño hidráulico

A continuación en la Figura 17, se muestra el diseño hidráulico para el turno crítico mencionado en el diseño parcelario, ya que es el más retirado de la fuente de agua. La demanda de agua para alimentar las válvulas correspondientes al turno fue aproximadamente 1,520 GPM (344 m³/h), teniendo alrededor de 345,000 goteros operando.

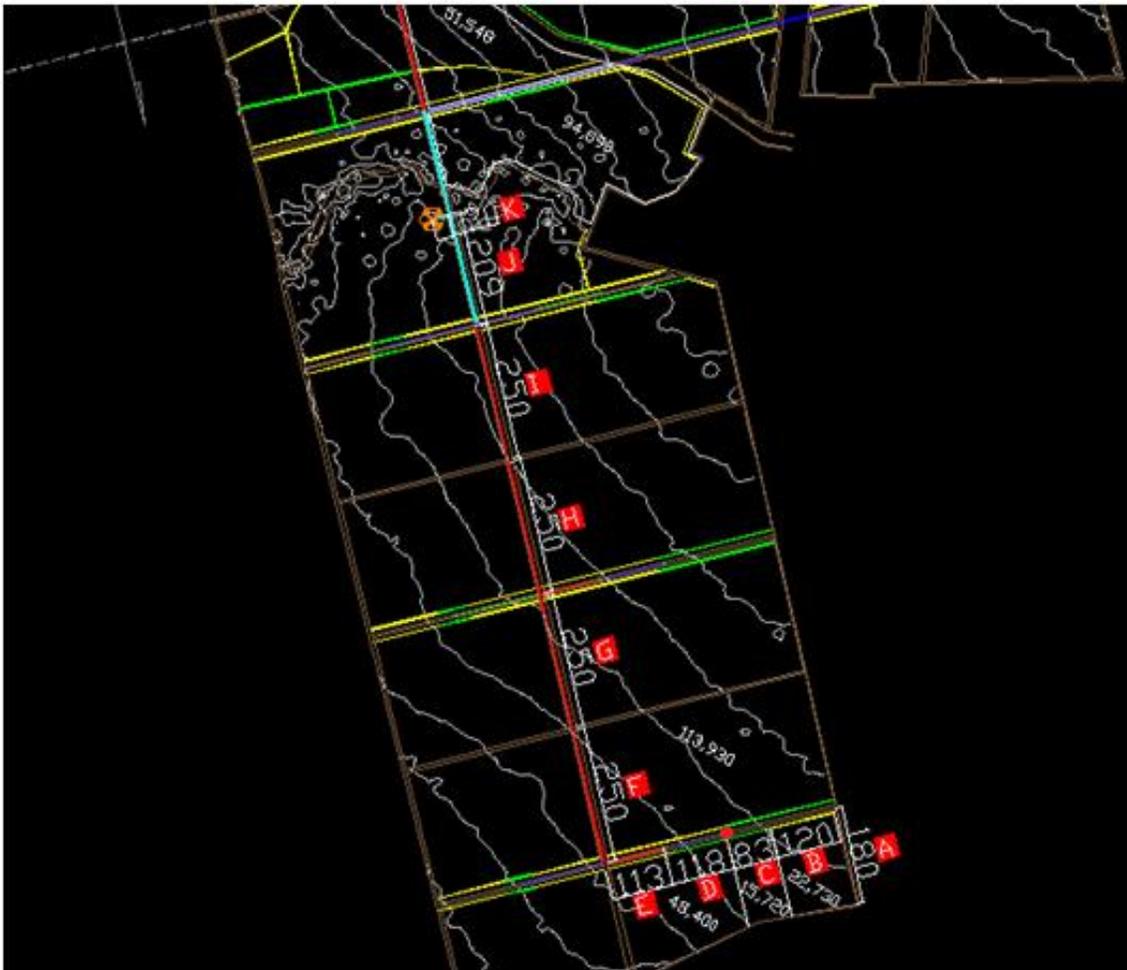


Figura 17. Ejemplo del diseño hidráulico para el turno No. 4 del módulo sur.

Adicionalmente fue necesario utilizar una hoja de cálculo como la que se ilustra en la Figura 18 para aplicar repetitivamente el modelo matemático de Hazem-Williams en el turno No. 4 del módulo Sur:

CALCULO DE LATERAL NO UNIFORME									
CAUDAL POR EMISOR		0.0044		gpm.		PVC		150	
PRESION ULTIMO GOTERO		10		psi.		ALUM		130	
MARGEN DE SEGURIDAD		1.5				HG		110	
		DATOS VARIABLES							
		NO MODIFICAR							
Tramo Número	LONG. m.	Emisores Unidad	CAUDAL GPM	CAUDAL Total	DIAM. mm.	FRICC PSI	PRES PS	VEL m/s	COEF C de fricción
358	0.5	1	0.0044	1.58	16.00	0.02	13.04914	0.49423	145.00
359	0.5	1	0.0044	1.58	16.00	0.02			00
360	0.5	1	0.0044	1.58	16.00	5.87			00
361	120	22730	100.0120	101.60	75.00	4.86			00
362	83	15720	69.1680	170.76	108.00	3.06			00
363	118	160130	704.5720	875.34	160.00	8.90			00
364	113		0.0000	875.34	204.00	6.03			00
365	250		0.0000	875.34	204.00	6.03			00
366	250		0.0000	875.34	204.00	6.03			00
367	250		0.0000	875.34	204.00	6.03			00
368	250		0.0000	875.34	204.00	5.04			00
369	209	146440	644.3360	1519.67	260.00	0.62			00
370	30		0.0000	1519.67	260.00	0.00	65.51155	1.80568	145.00

Figura 18. Tramo del diseño hidráulico en una hoja de cálculo.

Como se puede observar, la presión del sistema en la toma (PRES/PSI) no sobrepasa el límite permisible que para este caso es de 65 PSI, así como la velocidad que no es mayor a 2 metros por segundo.

La longitud de los tramos se tomó del mapa ilustrado en la Figura 17, así como la cantidad de emisores, y en base al cálculo de la carga requerida en la entrada del lateral (6.26 mca), las pérdidas de carga de la principal (32.6 mca), las estimaciones de pérdidas menores (3.26 mca), y el desnivel topográfico (52.12 mca) se determinó la Carga Dinámica Total (94.24 m.c.a.).

Cabe recalcar que los pantes de la finca Eslovaquia fueron distintos entre ellos debido a que había que adaptarse a la forma y distribución del terreno, con la salvedad de que el lado paralelo a las mangueras tuviera un largo que no sobrepasara los 250 metros para conservar la presión a lo largo de las mangueras que albergan los goteros.

Los resultados del diseño hidráulico se muestran a continuación, en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Resumen del diseño hidráulico.

PARÁMETRO		RESULTADO
RED DE TUBERÍA		
	Principal	
	10"	1,091 m.
	8"	3,536 m.
	Secundaria	
	6"	4,337 m.
	4"	6,779 m.
	3"	17,047 m.
	Colectora	
	1-1/2"	17,393 m.
	Manguera	1,742,384 m.
	Elevadores	9,155 m.
CAUDAL POR TURNO		381 m ³ /h.
CARGA DINÁMICA TOTAL		94.24 mca
EQUIPO DE BOMBEO		JD 6081HF001

En base a la carga dinámica total determinada en el diseño hidráulico, se calculó que la potencia del motor requerida es de aproximadamente 170 Hp; tomando en cuenta que al momento que el motor transmite la energía hacia la bomba se pierde alrededor de 20%, la potencia se dividió entre 0.80, requiriendo finalmente una potencia de 210 Hp.

De manera que la marca del motor seleccionado fue el John Deere serie 6081HF001 debido a que era el más cercano a éste requerimiento, siendo capaz de suministrar hasta 267 Hp.

Luego de la aprobación del prediseño se determinaron los puntos de perforación en base a sondeos eléctricos y como la finca Eslovaquia tenía alrededor de 345 hectáreas se sugirió la perforación de dos pozos, ya que cada uno puede llegar a regar entre 160 y 180 hectáreas. El modelo de motor y el sistema de bombeo se definió en base a la disponibilidad del agua.

La distribución de la tubería se muestra a continuación, en la Figura 19.

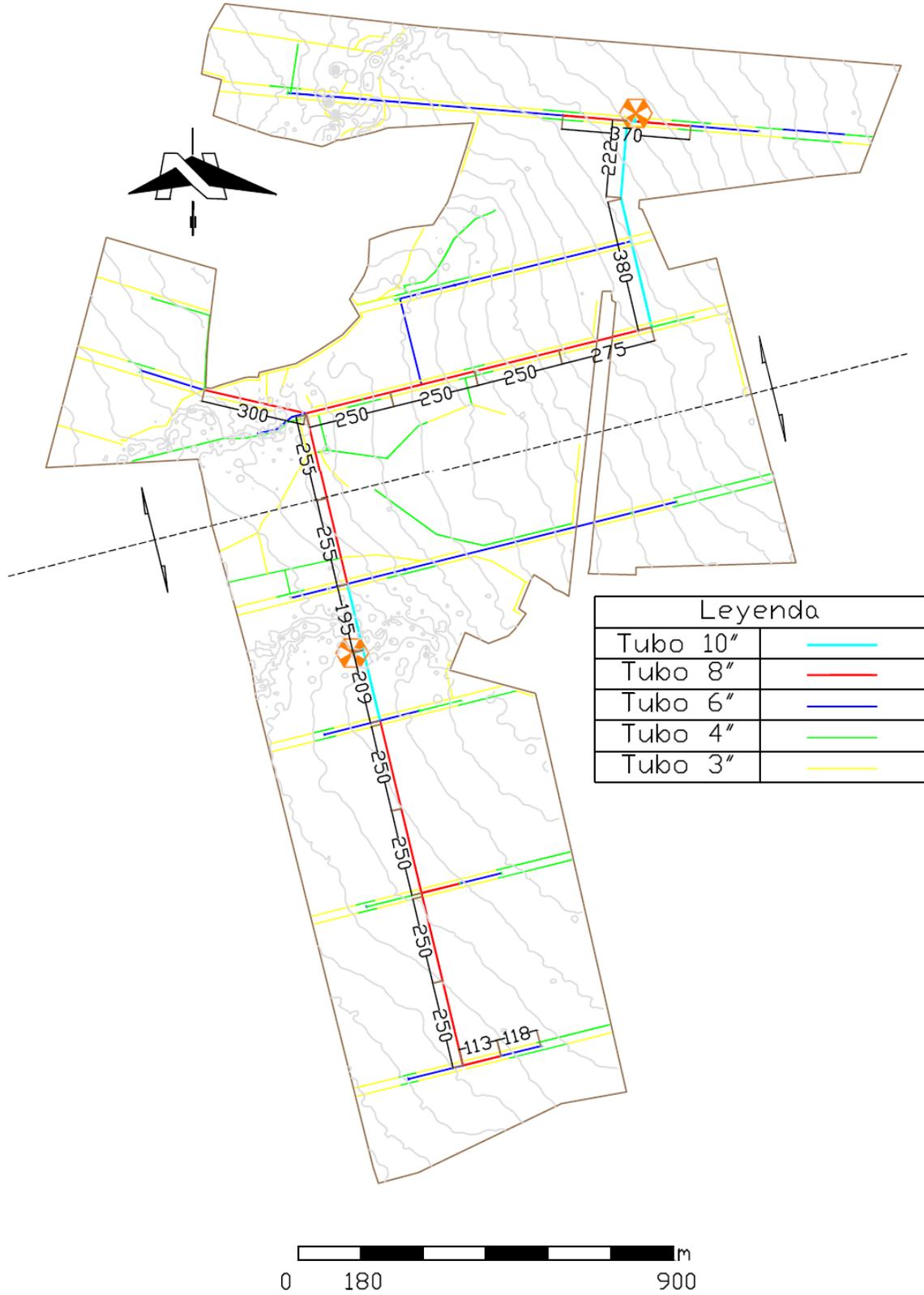


Figura 19. Distribución de la tubería principal para la finca Eslovaquia.

El diseño definitivo se conforma por un total de 56 válvulas hidráulicas de 2, 3 y 4 pulgadas, capaces de regar 332 hectáreas divididas en dos módulos con 5 turnos cada uno y alrededor de 6 válvulas por turno, como se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Distribución de las válvulas por cada turno.

Módulo Norte			Módulo Sur		
165.17 Hectáreas			165.84 Hectáreas		
Turno	Válvulas	m ³ /h	Turno	Válvulas	m ³ /h
I	1-2-3-12-13b-23-24	343	I	21-22-39-40-43	381
II	4-5-18a-18b-31-34	364	II	19-20-45-47-49	353
III	6-7-14-15a-16-17a	357	III	27-28-41-42-51	321
IV	8-9-17b-25-26	354	IV	29-30-48-50-54	344
V	10-11-35-36-37-38	320	V	32-33-44-46-52-53	356

De manera que la demanda de agua para cada pozo fue de aproximadamente 1675 GPM por turno. Los pantes de la finca Eslovaquia fueron distintos entre ellos debido a que había que adaptarse a la forma y distribución del terreno, con la salvedad de que el largo de las mangueras no sobrepasara los 250 metros para conservar la presión.

Además los números y tamaños de pantes se definió en conjunto con ayuda del administrador de la finca previendo el mejor y conveniente manejo del cultivo y operación del sistema de riego, es decir, facilidad al momento de hacer aplicaciones de agroquímicos, limpiezas manuales, circulación de maquinaria agrícola en las labores pre y post cosecha, etc., y, al tamaño de cada uno de los pantes previamente establecidos estaba ligado el caudal que sería entregado en cada uno de ellos.

En la Figura 20 se muestra el diseño de riego definitivo, integrando la distribución de los pantes, los distintos diámetros de tubería utilizados y su distribución, las válvulas hidráulicas para ambos módulos de la finca tomando en cuenta su diámetro, su caudal, el área cubierta por las mismas, y las curvas a nivel.

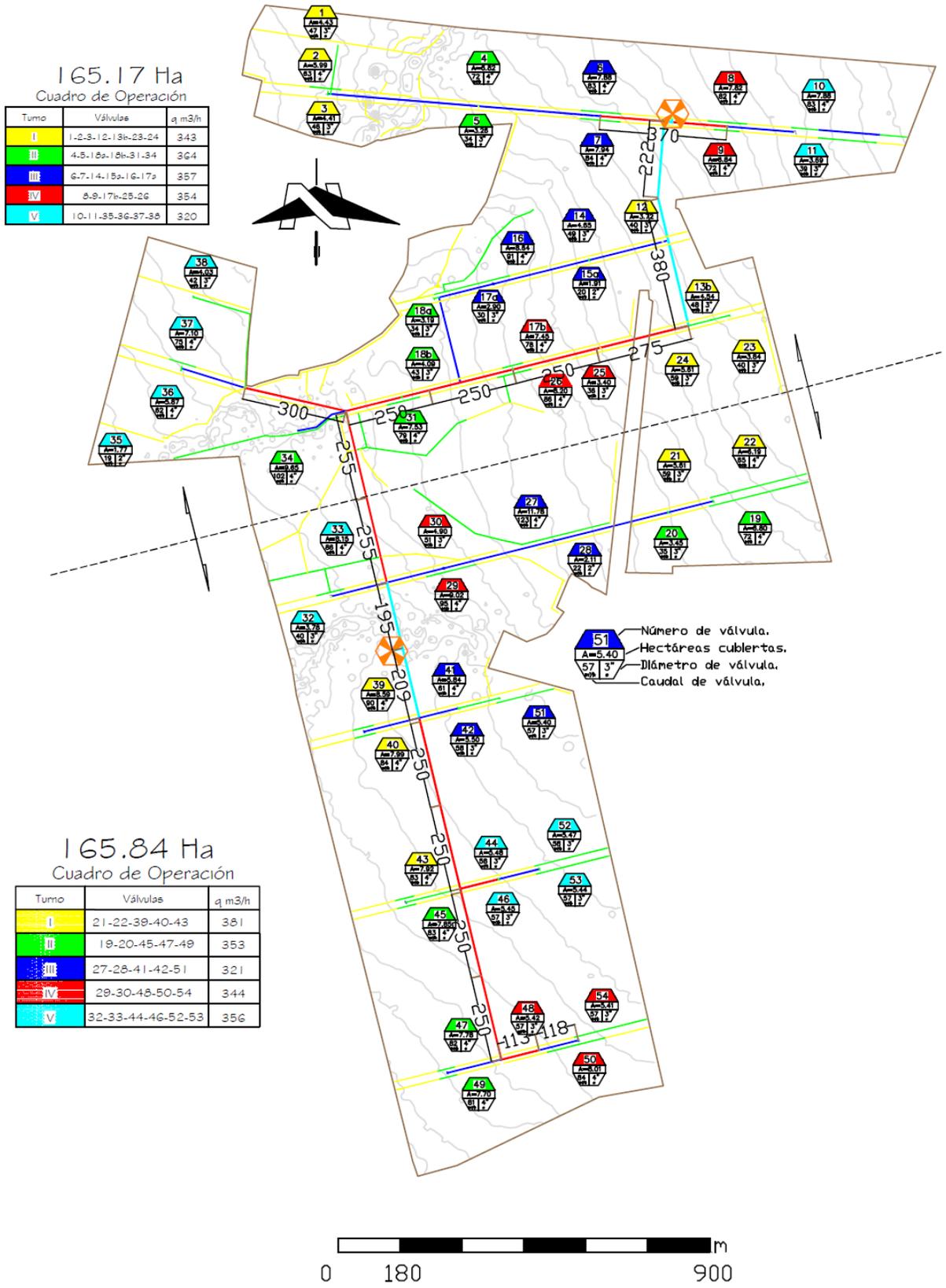


Figura 20. Diseño de riego definitivo para la finca Eslovaquia.

La cantidad y tamaño de las válvulas hidráulicas obedeció al número y tamaño de pantes. En el Cuadro 13 se detalla la cantidad de válvulas en sus diferentes diámetros para cada módulo, así como el área asignada para cada una.

Cuadro 13. Detalle de las válvulas hidráulicas utilizadas.

DETALLES DE LAS VÁLVULAS HIDRÁULICAS																	
MÓDULO NORTE									MÓDULO SUR								
2"			3"			4"			2"			3"			4"		
No.	Área	Q	No.	Área	Q	No.	Área	Q	No.	Área	Q	No.	Área	Q	No.	Área	Q
15a	1.91	20	1	4.43	47	2	5.99	63	28	2.11	22	21	5.61	59	22	6.19	65
35	1.77	19	3	4.41	46	4	6.82	72				20	3.45	35	39	8.59	90
			12	3.72	40	31	7.53	79				42	5.5	58	40	7.99	84
			13b	4.54	48	34	9.65	102				51	5.4	57	43	7.92	83
			23	3.84	40	6	7.88	83				30	4.9	51	19	6.8	72
			24	5.61	59	7	7.94	84				48	5.42	57	45	7.85	83
			5	3.26	34	16	8.64	91				54	5.41	57	47	7.78	82
			18a	3.19	34	8	7.82	82				32	3.78	40	49	7.7	81
			18b	4.09	43	9	6.84	72				44	5.48	58	27	11.8	123
			14	4.65	49	17b	7.45	78				46	5.45	57	41	5.84	61
			17a	2.9	30	26	8.2	86				52	5.47	58	29	9.02	95
			25	3.4	36	10	7.88	83				53	5.44	57	50	8.01	84
			11	3.69	39	36	5.87	62							33	8.15	86
			38	4.03	42	37	7.1	75									

No.=Número de válvula. Área=Área cubierta por válvula (ha). Q=Caudal utilizado por válvula (m³/h).

De manera que se requiere una producción alrededor de 1,675 GPM en cada pozo para brindarle al cultivo una lámina bruta de riego de 5 mm, siendo este el requerimiento hídrico necesario, teniendo un tiempo de riego por turno de 4.75 horas y una frecuencia de riego diaria. Al momento de que los pozos producen más de lo requerido (2,000 GPM), se garantiza que posean mayor tiempo de vida útil.

2.6.3 EJECUCIÓN E INSTALACIÓN DEL PROYECTO

2.6.3.1 Perforación de pozos

En la finca Eslovaquia se perforó un pozo para cada módulo, el del módulo Norte se ubica en las coordenadas N 14° 0' 14.4", W 90° 25' 43.2" y el del módulo Sur se encuentra en las coordenadas N 14° 1' 7.19", W 90° 25' 16.2".

Para cumplir con la demanda de agua calculada en el diseño y sistema de riego, los pozos se perforaron con una profundidad de 920 pies aproximadamente. La duración de la perforación para cada pozo abarcó alrededor de 40 días, a cargo de la empresa Dahoo, y el procedimiento que se llevó a cabo se describe a continuación:

- a. **Sondeo del punto:** Con ayuda de un asesor hidrogeológico se encontraron y georeferenciaron por medio de prospección geofísica los puntos de ubicación de los pozos, como se ilustra en la Figura 21. Si estos puntos no coinciden con los sugeridos en el prediseño, hay que modificar el diseño completo en base a los resultados de este sondeo.



Figura 21. Prospección geofísica para perforación de pozo.

- b. **Aprobación del centro de costos:** Fue necesario hacer un análisis financiero por parte de autoridades de la entidad para tener el visto bueno y así aprobar el presupuesto para poder iniciar la perforación de los pozos.
- c. **Traslado e instalación de la maquinaria:** Con la información anterior se determinó el tipo de máquina perforadora que se usaría en base a las características que la finca

presento. La maquinaria utilizada fue una perforadora, una grúa de limpieza y desarrollo, un camión de 10 toneladas de capacidad para traslado de tubería de entubado, un camión de 3.5 toneladas de capacidad para traslado de maquinaria soldadora y generadoras eléctricas, y un pick-up para transporte de personal de mano de obra.

- d. **Antepozo:** Con ayuda de una broca tricono, como se ilustra en la Figura 22, se hizo una perforación previa con diámetro en 36 pulgadas y entubado en 30 pulgadas durante los primeros 10 pies de cada pozo.



Figura 22. Broca tricono para perforación de pozos.

Esto con el objetivo de evitar que se desmoronara el perfil del suelo por el impacto que conlleva la perforación a lo largo del proceso.



Figura 23. Antepozo relleno con concreto.

Las pulgadas que quedaron entre estas dos tuberías de revestimiento se rellenaron de concreto, como se muestra en la Figura 23.

- e. **Perforación del pozo:** Con ayuda de los muestreos y la información recabada en los pasos anteriores, se continuó la perforación con ayuda de la broca tricono. Dicha broca fue conducida por unas extensiones de aleación de acero capaces de soportar fuertes presiones. Se utilizan en medidas de 1-1/2, 3 y 4 pulgadas de diámetro y 10, 20 y 25 pies de largo.



Figura 24. Maquinaria perforando un pozo.

- f. **Recolección de muestras:** En esta etapa del proceso se realizó un sondeo, tomando muestras cada 10 pies como se muestra en la Figura 25, con el objetivo de marcar los diferentes estratos litológicos en base al material extraído.



Figura 25. Muestras del sondeo vertical de un pozo.

- g. **Registro eléctrico:** Se realizó con la finalidad de medir la permeabilidad de las capas y así mejorar el diseño de encamisado reduciendo problemas de falta de flujo de agua,

además de aprovechar al máximo los acuíferos colocando tubo de rejillas en estos sectores. Esta información quedó archivada, como se muestra en la Figura 26, para poder analizar el pozo al momento de darle mantenimiento, por ejemplo. Esta etapa fue realizada por el asesor hidrogeológico encargado de los estudios geofísicos.

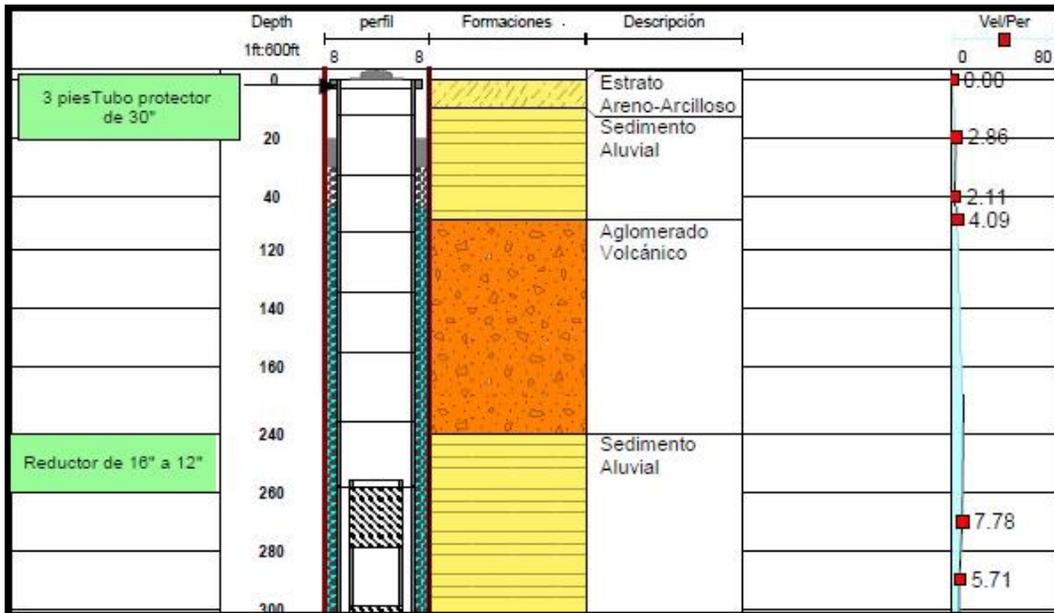


Figura 26. Ejemplo de perfil del registro eléctrico.

- h. **Entubado:** Con ayuda del muestreo efectuado durante el sondeo eléctrico vertical, se describió la geología del subsuelo con la intención de preparar el entubado que mejor se acoplara a las características que se presentaron en el muestreo y también para conocer la cantidad y la longitud de los acuíferos encontrados.

Los pozos de la finca Eslovaquia se perforaron aproximadamente a 920 pies de profundidad cada uno con diámetro de 26 pulgadas y se inició el entubado utilizando diámetros de 16 a 12 pulgadas. En los diferentes estratos se encontraron materiales arcillo-arenosos, aluvión, sedimentos aluviales, sedimentos aluvial-arcillosos, aglomerados volcánicos.

- i. **Instalación del filtro de grava:** El filtro de grava es elemental ya que permite que el agua que está produciendo el pozo esté libre de impurezas que pueden perjudicar la red de la tubería PVC. El tipo de grava utilizado se muestra en la Figura 27.



Figura 27. Grava para filtración de pozo.

- j. **Desarrollo y limpieza:** Al proceso diseñado para potencializar el caudal que puede ser extraído de un pozo se le denomina desarrollo del pozo, el cual tiene como objetivo reparar el daño que surgió durante el proceso de perforación restaurando las propiedades hidráulicas y alterar las propiedades físicas de los acuíferos de modo que el agua fluya libremente.

Al terminar este proceso se inyecta aire comprimido dentro del pozo hasta que se logre expulsar todas las partículas en suspensión, como se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Limpieza de pozo con aire comprimido.

- k. **Prueba de bombeo:** Esto se realizó con el propósito de evaluar la producción de agua en base al nivel dinámico y las revoluciones por minuto del motor (RPM). Por ejemplo, se aplicaron 1,000 RPM por tiempo indefinido hasta que el nivel dinámico dejara de descender y al mismo tiempo se tomaron lecturas de la producción. Luego se aumentaron las RPM a 1,200 hasta que el nivel dinámico se estabilizara de nuevo y se tomó la lectura de nuevo, y así sucesivamente hasta llegar a medir la producción de agua a 1800 RPM y con el nivel dinámico estable.

Para este caso, el pozo del módulo norte reportó un nivel estático de 58 pies y de nivel dinámico 148 pies, y el módulo sur registró niveles estáticos y dinámicos de 45 y 170 pies respectivamente, con producciones de 2,000 GPM aproximadamente.

- l. **Sello sanitario:** Consistió en un revestimiento de arcilla compactada alrededor de la tubería del pozo y que está por encima de un filtro construido a base de grava fina, con el objetivo de evitar el ingreso de agua superficial por infiltración. Encima de este revestimiento se construyó una base rectangular de concreto para cubrir el tubo de acero que se protege soldando una tapadera del mismo diámetro, como se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Sello sanitario de un pozo.

- m. **Calidad de agua:** Para realizar esta evaluación se mandó al laboratorio una muestra de un litro del agua producida por cada pozo.

2.6.3.2 Instalación del sistema de bombeo

- a. **Motor:** Como se determinó en el diseño hidráulico, el motor que se instaló en cada pozo de la finca Eslovaquia fue el diesel John Deere serie 6081HF001, capaz de brindar una potencia de 267 Hp. Estos fueron afianzados sobre unas bases de concreto, como se ilustra en la Figura 30, utilizando pernos, washas y roldanas.



Figura 30. Base cementada para colocación de motor.

- b. **Bomba, cabezales de descarga y de engranes:** En el sistema de riego de la finca, para cada módulo se instaló una bomba vertical marca National Pump Company sumergida a 250 pies, modelo M14XXHC de tres etapas con cabezal de descarga de la misma marca modelo N10-260 y un cabezal de engranes marca Johnson Gear Company serie H200 DT de 200 Hp.

Estos componentes, ilustrados en la Figura 31, hicieron posible la demanda de agua requerida de 2,000 GPM. Cabe recalcar que la determinación de las especificaciones de la bomba se hizo con ayuda de un catálogo del fabricante, mostrado en la Figura 64A, donde se relacionó la Carga Dinámica Total junto con el caudal de los pozos y automáticamente desplegó el modelo de la bomba con sus respectivas etapas.

Los cabezales de descarga y de engranes estaban ligados al modelo de la bomba por lo que fueron sugeridos por el mismo catálogo.



Figura 31. Cabezal de engrane y de descarga instalados.

- c. **Válvula de cheque:** Fueron de 10 pulgadas y se colocaron en ambos módulos de la finca, entre el cabezal de descarga y el sistema de filtrado, como se ilustra en la Figura 32, para permitir el paso del agua en un solo sentido, evitando que el flujo bombeado regresara una vez que los motores se detuvieran.



Figura 32. Válvula de cheque del sistema de bombeo.

- d. **Flujometro:** Al igual que las válvulas de cheque, estos fueron de 10 pulgadas y se colocaron en cada módulo con el propósito de contabilizar la producción de agua del pozo, además de controlar la lámina de riego aplicada en base al área cubierta.



Figura 33. Flujometro instalado en la finca Eslovaquia.

Para un óptimo funcionamiento, se recomienda colocarlo después de 8 veces su diámetro, que para este caso fueron 80 pulgadas, a partir de la toma de agua; además de respetar que no se realice ningún quiebre en la tubería hasta después de 5 veces su diámetro (50 pulgadas), esto con el propósito que la turbulencia del agua evite precisión en las lecturas. El flujometro utilizado para este sistema de riego se ilustra en la Figura 33.

2.6.3.3 Instalación del sistema de filtrado

Es normal que el agua extraída de los pozos presenten partículas diminutas que se pueden clasificar en agentes químicos como minerales, y/o agentes biológicos como restos de materia inorgánica, siendo éstos perjudiciales para el sistema de riego por goteo, de manera que uno de los factores más importantes en el uso exitoso de esta modalidad de regar es la filtración del agua.

Con el propósito de eliminar estos sólidos o partículas del agua y evitar cualquier tipo de obstrucción, se instaló un sistema de filtrado para cada pozo de la finca Eslovaquia integrando los siguientes componentes:

- a. **Hidrociclones:** Este tipo de filtro evitó el ingreso de restos de suelo como arena a la red de tubería, como se muestra en la Figura 34.



Figura 34. Hidrociclones del sistema de filtrado.

El funcionamiento de estos filtros se ilustra a continuación, en la Figura 35.

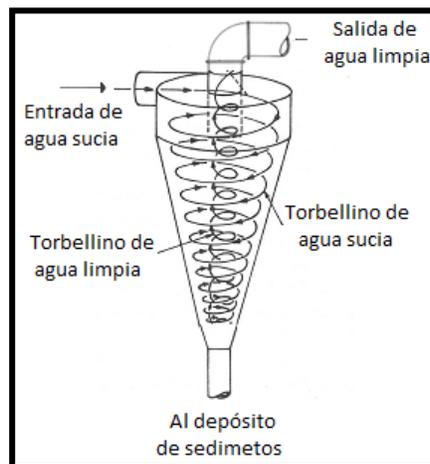


Figura 35. Funcionamiento interno de un hidrociclón.

El diámetro sugerido fue de 6 pulgadas ya que este tamaño tiene como máximo caudal de filtrado entre 140 - 230 m³/h. Debido a que la demanda de agua era alrededor de 380 m³/h, se instalaron dos hidrociclones por módulo para lograr filtrar un caudal de 280 – 460 m³/h.

- b. **Filtro de Maya:** Este tipo de filtro se colocó inmediatamente después de cada hidrociclón, del mismo diámetro, como se muestra en las Figuras 36 y 37, evitando que el agua libre de arena continuara su flujo con presencia de materia inorgánica como algas.



Figura 36. Vista lateral del filtro de maya.

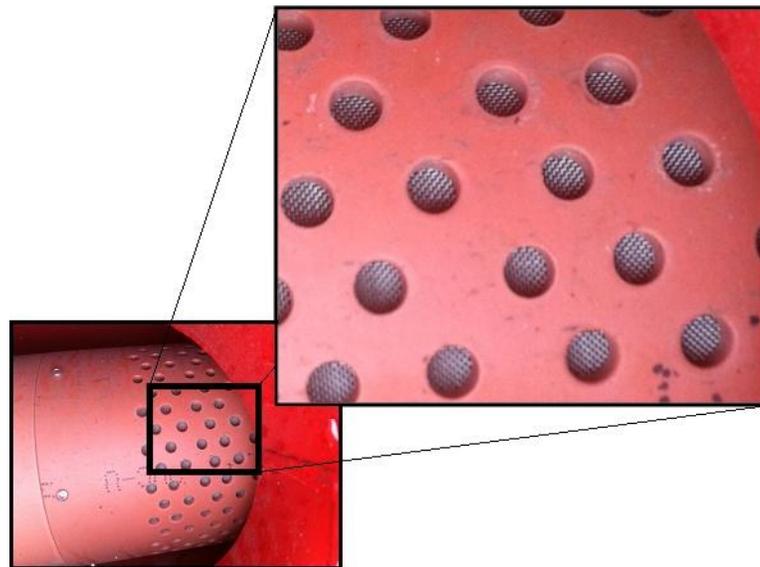


Figura 37. Vista interna del filtro de maya.

- c. **Filtro de Grava:** Al final del proceso de filtrado fue necesaria la instalación de filtros de grava, como se muestra en la Figura 38, con el propósito de neutralizar minerales como hierro. En el interior de estos filtros se colocó grava especial de sílice de 1.5 - 2.5 mm de grosor, combinada con pirolóx como catalizador para oxidar minerales como sulfuro de hidrógeno, hierro y manganeso.



Figura 38. Instalación de los filtros de grava y el medio filtrante.

Cada filtro de grava de 4 pulgadas tenía como máximo caudal de filtrado alrededor de $65 \text{ m}^3/\text{h}$, siendo necesarios 6 filtros para cubrir la demanda de agua.

El acople de la tubería de acero para todo el sistema de filtrado fue completamente manual con ayuda de abrazaderas tipo victaulic de 6 pulgadas, como se muestra en la Figura 39. Para ello fue necesario utilizar manteca vegetal para facilitar el ingreso del empaque de la abrazadera en la tubería, luego se apretaron las tuercas hexagonales de los pernos mediante una llave dinamométrica.



Figura 39. Abrazaderas tipo “Victaulic”.

Para la automatización del sistema de filtrado, se instaló un mecanismo de retrolavado, activado por selenoides y alimentado por una batería de 12 voltios, y la

configuración del sistema de retrolavado, diseñado y manufacturado por TALGIL, se realizó mediante dos interruptores giratorios y un dip-switch interno, como se muestra en la Figura 40, que en conjunto gradúan el tiempo entre cada lavado de los filtros, y la duración de estos intervalos.

Por la demanda de agua se optó por graduar los intervalos de filtrado cada 3 horas con una duración de 90 segundos para cada retrolavado.



Figura 40. Instalación y configuración del sistema de retrolavado.

Al activarse el mecanismo se envía un pulso eléctrico a un selenoide que crea un campo magnético para abrir o cerrar una válvula hidráulica, abriendo o cerrando el sistema de retrolavado, como se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Apertura de la válvula hidráulica del retrolavado.

2.6.3.4 Instalación del equipo de fertiriego

Para la instalación de este sistema fue necesario un depósito de 1 m³ para premezclar, dos tinacos de 6 m³ para diluir la premezcla, y una bomba independiente para inyectar la solución, manufacturado por Carpi, como se muestra en la Figura 42.



Figura 42. Depósitos y bomba del sistema de fertiriego.

La operación empleada se detalla a continuación:

Cada válvula hidráulica abastecía alrededor de 6 hectáreas, y cada turno de riego abarcó 5 válvulas, teniendo entonces 30 hectáreas por turno aproximadamente; para proveer al cultivo las condiciones óptimas era necesario aplicar 27.6 kg/ha de urea, utilizando entonces 828 kg de urea por turno.

De manera que el recipiente de 1,000 litros fue utilizado para realizar la premezcla de fertilizante que se aplicaría al turno de riego en curso, y para diluirlos fueron necesarios dos tinacos de 6 m³ capacitados simultáneamente para 12,000 litros de solución fertilizadora.

El objetivo de diluir la premezcla era reducir la concentración de la solución, homogenizando la aplicación de fertilizante a lo largo del turno de riego, y con ayuda de la bomba independiente, la solución era conducida por medio de tubería PVC de 2 pulgadas hacia el sistema.

Esta bomba era capaz de vencer la presión del sistema de bombeo, pasando por el sistema de filtrado, para luego recorrer la tubería, como se muestra en la Figura 43.

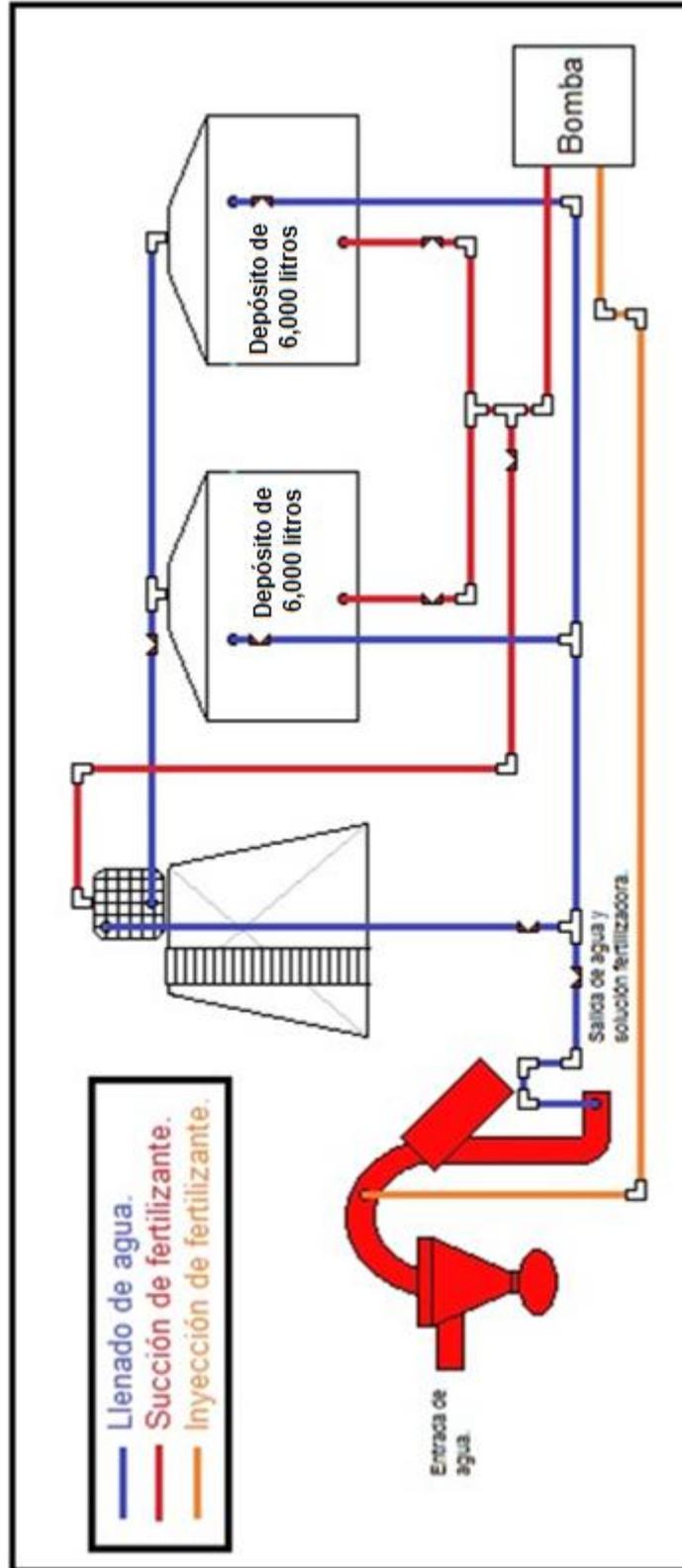


Figura 43. Sistema completo de fertiriego.

Por último, se construyó una galera, como se muestra en la Figura 44, utilizando materiales como block, tubos de hierro galvanizado HG, maya, lamina, etc., con el propósito de proteger el sistema de bombeo, el de filtrado, y el de fertiriego, evitando que permaneciera expuesto a la intemperie, además de permitir el ingreso únicamente a personal autorizado para la manipulación del equipo y de productos agroquímicos para la fertirrigación.

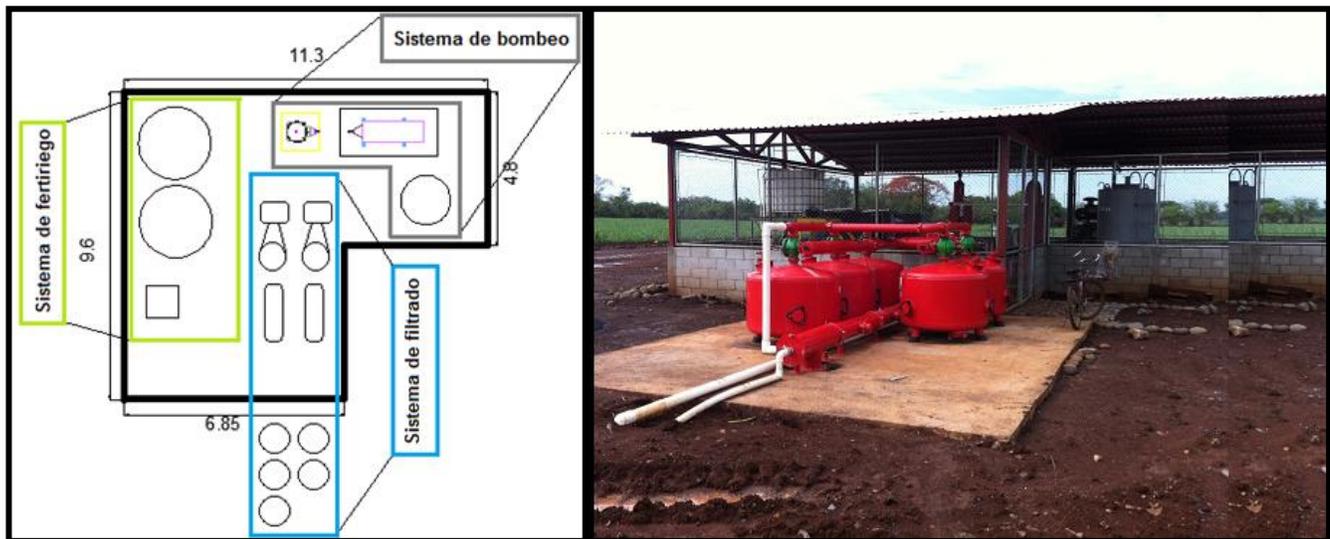


Figura 44. Vista aérea y frontal de las galeras de los módulos.

2.6.3.5 Instalación de la tubería pvc y pe

- a. **Delimitar líneas de conducción:** Estas líneas de conducción se trazaron en base a la ubicación de los pozos. Para ello fue necesario contar con el plano y ubicar las fuentes de agua, ya que a partir de éstas sale la línea de conducción la cual abastece del recurso hídrico a la red de tubería.

Además fue necesario un teodolito, el cual ayudó a que la orientación fuera en línea paralela a las calles de la finca.

- b. **Zanjeo e instalación de tubería principal:** Con ayuda de una máquina excavadora se procedió a zanjar a lo largo de la línea de conducción con una cuchara de 1 m³ de capacidad, como se ilustra en la Figura 45.



Figura 45. Zanjeo de una línea principal.

El ancho de la zanja fue de 0.8 metros independientemente del diámetro de la tubería que albergaría, con una profundidad de 1.20 metros para tuberías de conducción primaria, las cuales tienen diámetros de 10 y 8 pulgadas. El rendimiento de ésta excavadora fue de aproximadamente 25 metros por hora. Luego del zanjeo de las líneas principales, los instaladores colocaron la tubería de PVC (Policloruro de Vinilo) de junta rápida dentro de las zanjas, y con ayuda de manteca vegetal, se acopló, como se muestra en la Figura 46. Luego de instalar la tubería la zanja fue cubierta.



Figura 46. Instalación de tubería principal de junta rápida.

- c. **Inyección de manguera:** Luego de hacer las zanjás de líneas principales, con ayuda de un tractor y el implemento apropiado, se enterró e instaló (inyección) la manguera de PE (polietileno) marca Netafim, de 16 mm de grosor, como se muestra en la Figura 47, que con ayuda de dos cinces, el implemento estuvo capacitado para inyectar en dos surcos a la vez por pante, teniendo también dos bases para tres rollos de manguera de 500 metros cada uno.



Figura 47. Implemento para inyección de manguera.

Las mangueras se inyectaron con una separación de 1.9 metros entre cada surco y con una profundidad de 0.20 metros, debido a la densidad de siembra del cultivo. La eficiencia de instalación de manguera fue de aproximadamente 1.21 hectáreas por hora.

En la Figura 48 se ilustra la distribución de la manguera en un pante de 310 por 250 metros ya que anteriormente se recomendó que su largo no fuera mayor a 250 metros para mantener la presión a lo largo de ésta. También pueden observarse segmentos de tubería de distintos diámetros.

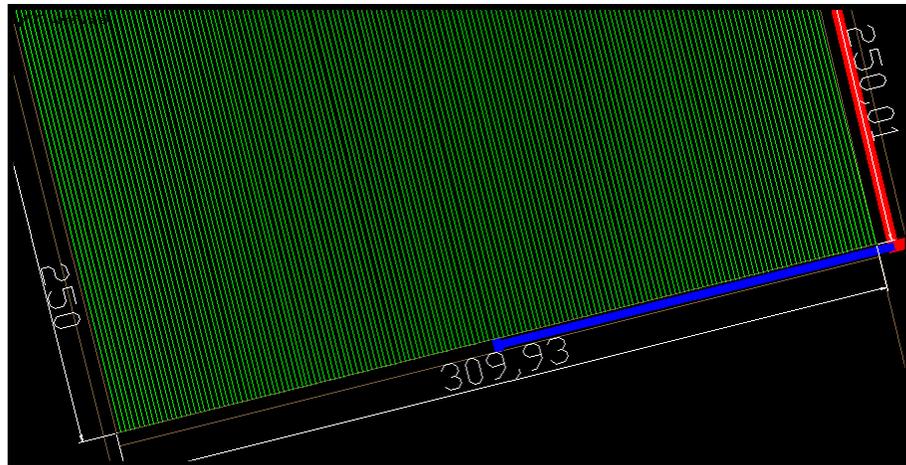


Figura 48. Ejemplo del trazo de mangueras para un pante en AutoCAD.

Al inicio de cada pante, el operador del tractor se encargó de bajar el implemento para inyectar la manguera, y al llegar a una calle, lo levantaba para que dos ayudantes a bordo del implemento la cortaran. Las mangueras eran unidas para repetir el proceso al inicio de cada pante, y también cuando se terminara algún rollo en medio del proceso, como lo muestra la Figura 49.



Figura 49. Instalación de acoples para las mangueras.

El tipo de tractor utilizado para este proceso contaba con una computadora que estaba equipada con un sistema de navegación cinética satelital en tiempo real llamado RTK (*Real Time Kinematic*), como se muestra en la Figura 50. Esta técnica es muy usada en la topografía y se basa en el uso de medidas de fase de navegadores con señales GPS, logrando obtener gran exactitud en cuanto a la orientación para inyectar la manguera.



Figura 50. Panel del sistema RTK del tractor.

Cabe mencionar que a lo largo del procedimiento de inyección de manguera, al tractor se le configuró una velocidad máxima de 6 km/h para que el implemento no sufriera daño por el tipo de suelo de la finca.

- d. **Zanjeo e instalación de tubería secundaria:** Esta fase fue similar a la de zanjeo de líneas principales, con la diferencia que la profundidad que se manejó para líneas secundarias fue de un metro, debido a los diámetros de la tubería secundaria que fueron de 6, 4 y 3 pulgadas. El rendimiento de ésta excavadora fue de 30 metros por hora aproximadamente.



Figura 51. Zanjeo de línea secundaria.

Al igual que en el zanjeo de la tubería primaria, también se utilizó una excavadora con una cuchara de 1 m³, dejando 0.8 metros de ancho para las zanjas, como se ilustra en la Figura 51. Luego de realizar las zanjas, los instaladores iban colocando la tubería dentro de la zanja y la iban acoplando con ayuda de cemento solvente especial para PVC, como se muestra en la Figura 52. Posteriormente se tapo la zanja con el suelo previamente extraído.



Figura 52. Instalación de línea secundaria.

- e. **Instalación de elevadores:** Antes de cubrir la tubería secundaria instalada, se colocaron los elevadores, con la función de conectar el extremo de la manguera inyectada con la tubería secundaria. Para esto se perforó el tubo PVC con ayuda de una broca de 12 mm, luego se insertaron los empaques en la perforación de la tubería para que conectaran con una copla la cual era finalmente instalada en el elevador, como se muestra en la Figura 53.



Figura 53. Instalación de los elevadores y sus empaques.

Dichos elevadores eran de polietileno y tenían un metro de largo aproximadamente y un diámetro de 16 mm.

- f. **Zanjeo e instalación de tubería colectora:** El proceso de zanjeo fue el mismo antes mencionado, con la única variante de la profundidad que fue de 0.5 metros debido al diámetro de 1-1/2 pulgadas en la tubería. Esta tubería colectora se instaló en el extremo contrario del pante al que se conectaron los elevadores a la tubería principal, con el objetivo de darle retorno al agua que circuló por las mangueras y para concentrar cualquier tipo de suciedad. A esta tubería se le instaló una válvula manual de bola cada 22 mangueras (41.8 metros) para efectuar un lavado después de cada turno de riego, como se muestra en la Figura 54.



Figura 54. Llaves de bola para limpiar la tubería colectora.

- g. **Instalación de válvulas sectoriales:** Estas válvulas se colocaron en diámetros de 10 y 8 pulgadas con el fin de desviar el agua a lo largo de la tubería y direccionarla a las válvulas hidráulicas de determinado turno, como se muestra en la Figura 55. Su funcionamiento interno es por medio de un disco que gira 90 grados para abrir o cerrar y su manipulación es muy práctica siendo convenientes para lugares con poco espacio.



Figura 55. Instalación de válvula sectorial.

- h. **Instalación de válvulas hidráulicas:** Para la sectorización de la finca y el control de los turnos de riego, al momento de regar se utilizaron válvulas de control hidráulico de plástico marca Bermad, de 4, 3 y 2 pulgadas dependiendo del caudal requerido por turno, especiales para sistemas de riego agrícola. Se fijaron en forma de caballete como se muestra en la Figura 56, y para su instalación fue necesario usar accesorios PVC como tees, codos, reducidos bushing, flanges, cemento solvente, pernos, roldanas y washas.



Figura 56. Instalación de caballete para válvula hidráulica de 3 pulgadas.

Estas válvulas se cierran automáticamente al sobrepasar la presión establecida de 35 lb/plg² en su calibración y al estabilizarse el sistema se accionan de nuevo por medio de un diafragma interno que trabaja por diferencial de presión.

- i. **Válvulas de alivio:** Además de las válvulas hidráulicas se instalaron válvulas de alivio, como las que se muestran en la Figura 57, con el propósito de liberar el exceso de aire y presión evitando el fenómeno conocido como golpe de ariete, que se hace a lo largo de la red de tubería por los cierres bruscos al momento de cambiar de turno.



Figura 57. Válvulas de presión y aire para aliviar presiones.

Estas válvulas fueron colocadas junto con las hidráulicas y para su instalación fue necesario utilizar accesorios PVC como tees, codos, reducidos bushing, flanges, cemento solvente, pernos, roldanas y washas.

- j. **Cajas de protección para las válvulas:** A manera de protección y para evitar que las válvulas sufrieran algún daño, se construyeron cajas de block acorde al tamaño de las válvulas, como se muestra en la Figura 58. Las dimensiones utilizadas para las válvulas de 2 y 3 pulgadas fue de 0.72 metros de ancho, 1.18 metros de largo y 0.60 metros de alto. Para las de 4 pulgadas se utilizó 1.12 metros de ancho, 1.25 metros de largo y 0.60 metros de alto.



Figura 58. Construcción de cajas protectoras para válvulas hidráulicas.

De igual forma se instalaron cajas prefabricadas en la tubería colectora, como se muestra en la Figura 59, con el propósito de proteger de cualquier daño a las válvulas de bola que se colocaron para activar el lavado. Las medidas de estas cajas fueron las siguientes: 0.37 metros de ancho, 0.5 metros de largo, 0.35 metros de alto.



Figura 59. Caja prefabricada para protección de las válvulas de bola.

En la Figura 60 se muestra de forma resumida la manera en que se conectó, a lo largo de toda la finca, la tubería principal, la tubería secundaria, las mangueras, la tubería colectora, las válvulas hidráulicas y las válvulas de bola de la tubería colectora.

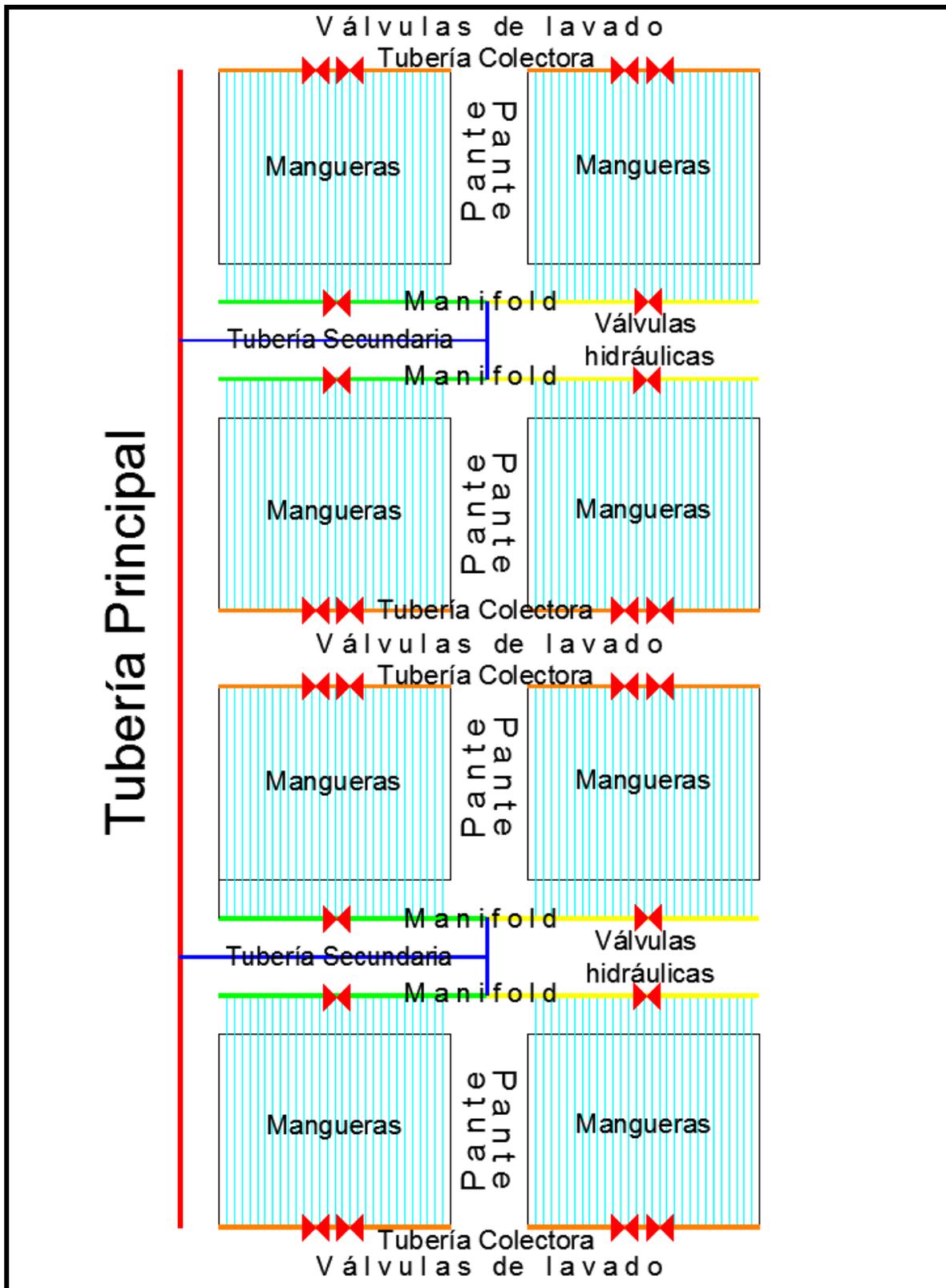


Figura 60. Resumen general de la instalación de la red de tubería.

Durante todo el proceso de instalación de la tubería PVC y PE se tuvo el cuidado de guardar colindancia entre las válvulas de bola y entre las válvulas hidráulicas, con el propósito de facilitarle al operador la apertura o cierre de las mismas.

Cabe mencionar que a lo largo de la red de tubería principal y secundaria fue necesario utilizar accesorios de acero conocidos como “epóxicos”, como se muestra en la Figura 61, con el fin de protegerla de cambios bruscos en las presiones o golpe de ariete.



Figura 61. Instalación de accesorio epóxico.

2.6.3.6 Realización de la prueba hidráulica

Antes de hacer entrega del proyecto se realizó una prueba para verificar que el sistema cumpliera con todos los parámetros establecidos previamente, tales como un lavado general a lo largo de toda la tubería principal y secundaria, los caudales entregados en los diferentes turnos, que las presiones en las válvulas hidráulicas fuera de 35 lb/plg² para que los goteros críticos entregaran el caudal de 1 litro por hora, la apertura de las válvulas de la tubería colectora para hacer lavados, además de reparar posibles fugas. Si estos parámetros cumplen con los establecidos, el proyecto se entrega con el visto bueno del administrador de la finca.

2.6.4 DESARROLLO DE ANÁLISIS FINANCIERO

Para realizar el análisis financiero fue necesario recopilar información de campo, tal como estimaciones del rendimiento promedio por hectárea según experiencia del administrador de la finca en base al proceso de desarrollo del cultivo con el sistema de riego por goteo. Además se estimó el precio de la tonelada métrica en finca que es de aproximadamente Q. 180.00, y multiplicándolo por la producción estimada se generaron los ingresos por venta promedios para los años 1, 2, 3 y 4. De manera que las estimaciones esperadas se muestran a continuación, en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Estimaciones de producción de azúcar por hectárea.

Año	TM / ha	Ingresos estimados
2,013 - 2,014	130	Q 23,400.00
2,014 - 2,015	140	Q 25,200.00
2,015 - 2,016	150	Q 27,000.00
2,016 - 2,017	140	Q 25,200.00

Además se utilizó simultáneamente la información desplegada en los Cuadros 15 y 16, los cuales detallan los costos de inversión y costos de manejo de cultivo, respectivamente, con el propósito de determinar los indicadores financieros.

Cuadro 15. Resumen de inversión por hectárea del sistema de riego por goteo.

Inversión para dos módulos de riego por goteo en finca Eslovaquia.					
Descripción	Inversión			Costo unitario / ha.	
Mano de obra	Q	65,200.28	\$ 8,305.77	Q	196.98
Prestaciones	Q	8,904.12	\$ 1,134.28	Q	26.90
Maquinaria	Q	6,898.44	\$ 878.78	Q	20.84
Materiales	Q	1,245,776.46	\$ 158,697.64	Q	3,763.68
Servicios	Q	7,895,454.99	\$ 1,005,790.44	Q	23,853.34
TOTAL	Q	9,222,234.29	\$ 1,174,806.92	Q	27,861.74
				\$	3,549.27

Puede observarse que el rubro más elevado es el de servicios, ya que aquí se incluyó el costo de la perforación de dos pozos mecánicos, además del paquete de distribución e instalación de la red de tubería para toda la finca. Seguido de éste, se encuentra el de

materiales donde se incluye la compra de los motores, cabezales de descarga y engranes, y las bombas.

Cuadro 16. Detalle del costo por hectárea por concepto de manejo de cultivo.

Descripción	Costo / ha
Labores varias	Q 1,002.97
Control de malezas afuera	Q 1,521.70
Fertilización	Q 2,037.01
Drenaje y control de bordas	Q 291.48
Aplicaciones aéreas	Q 575.63
Riego	Q 4,706.16
Total	Q 10,134.95

A continuación, en el Cuadro 17, se presentan los resultados de los indicadores financieros determinados con las fórmulas descritas anteriormente:

Cuadro 17. Estimación de los indicadores financieros.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Ingresos por venta en finca	Q -	Q 23,400.00	Q 25,200.00	Q 27,000.00	Q 25,200.00
Inversión	Q 27,861.74	Q -	Q -	Q -	Q -
Costo operativo	Q 10,134.95	Q 10,134.95	Q 10,134.95	Q 10,134.95	Q 10,134.95
Flujo de efectivo	-Q 37,996.69	Q 13,265.05	Q 15,065.05	Q 16,865.05	Q 15,065.05
Tasa	18%	-	-	-	-
VAN	Q 2,099.34	-	-	-	-
TIR	21%	-	-	-	-
Ingresos actualizadores	-	Q 19,830.51	Q 18,098.25	Q 16,433.03	Q 12,997.88
Costos actualizadores	-	Q 8,588.94	Q 7,278.76	Q 6,168.44	Q 5,227.49
Σ Ingresos actualizadores	Q 67,359.67				
Σ Costos actualizadores	Q 27,263.64				
R (B/C)	Q 2.47				

De esta manera se obtuvo un Valor Actual Neto de Q. 2,099.34, además de una Tasa Interna de Retorno del 21% y una Relación Beneficio / Costo de Q. 2.47. Cabe recalcar que la tasa de descuento se estimó en base a la suma de la tasa pasiva y de inflación correspondientes a 3% y 5% respectivamente, además de un 10% por concepto de riesgo país.

2.7 CONCLUSIONES

1. Al realizar el diseño agronómico se determinó lo siguiente: La lámina bruta de riego es de 0.5 cm, la frecuencia de riego es diaria, la intensidad de riego es de 0.105 cm/h, el tiempo de riego por turno es de 4.75 horas y el emisor seleccionado para cumplir estos requerimientos fue el DripNet PC 16125. En cuanto al diseño de campo la finca se dividió en dos módulos; el Módulo Norte con 165.17 hectáreas y el Módulo Sur con 165.84 hectáreas, en cada módulo se perforó un pozo de 920 pies capaz de producir 2,000 GPM suficientes para abastecer la red de tubería correspondiente a cada sección, además se utilizó un diseño parcelario para cada segmento del turno de riego. Con el diseño hidráulico se estableció un caudal por turno de 381 m³/h, una carga dinámica total de 94.24 mca, con base a la carga dinámica total se calculó que la potencia del motor requerida es de 170 Hp; tomando en cuenta que al momento que el motor transmite la energía hacia la bomba se pierde alrededor de 20%, la potencia se dividió entre 0.80, requiriendo finalmente una potencia de 210 Hp, de manera que el motor seleccionado fue el John Deere serie 6081HF001 debido a que era el más cercano a éste requerimiento, siendo capaz de suministrar hasta 267 Hp.
2. Se verificó que el sistema cumpliera con los criterios técnicos de instalación y operación establecidos, previamente se realizó una prueba al sistema que consistió en lavado general a lo largo de toda la tubería principal y secundaria, los caudales entregados en los diferentes turnos, que las presiones en las válvulas hidráulicas fuera de 35 lb/plg² para que los goteros críticos entregaran el caudal de 1 litro por hora, la apertura de las válvulas de la tubería colectora para hacer lavados, además de reparar posibles fugas. Se comprobó que estos parámetros y criterios técnicos cumplieran con los establecidos.
3. El proyecto puede calificarse de económicamente viable ya que la inversión podrá generar ganancias por encima de la inversión inicial debido a que el Valor Actual Neto es mayor a cero (2,099.34). Además el resultado de la Relación Beneficio / Costo (Q. 2.47) indica que los ingresos netos son superiores a los egresos netos debido a que su valor es mayor a uno, reflejando una ganancia de Q. 1.47 por cada quetzal invertido. Por último se obtuvo una Tasa Interna de Retorno de 21% lo que indica cual

es la máxima tasa de interés que el proyecto puede pagar sin generar pérdidas. El costo total de inversión del proyecto fue de \$ 1,174,806.92, equivalente a \$ 3,549.27 por hectárea.

2.8 RECOMENDACIONES

1. Cuando se instale un nuevo proyecto de riego por goteo, es importante que se aplique riego por aspersión uno o dos días después de la siembra con el propósito de saturar el suelo y facilitar la germinación, ya que el agua aplicada por los goteros no se desplaza lo suficiente como para mojar la semilla, teniendo un retraso en este proceso, tal como ocurrió en esta experiencia.
2. Es indispensable capacitar al personal de operación ya que en algunas ocasiones se pudo observar que el mismo operador del motor, abría y cerraba las válvulas hidráulicas, corriendo el riesgo de que al cometer un error en la apertura de estas, se elevaran las presiones en la tubería llegando a dañarse o romperse. Se aconseja que al momento de operar sistemas de riego similares, haya un operador fijo en el motor que controle las revoluciones de éste, y un ayudante abriendo y cerrando éstas válvulas a lo largo de los turnos para evitar este tipo de problemas.
3. Después de cada turno de riego, es importante que las válvulas de bola en la tubería colectora de cada pante se abran para que la suciedad y partículas ajenas acumuladas sean expulsadas, evitando que lleguen a provocar un taponamiento en el sistema.
4. En cuanto a la red de conducción se recomienda la utilización de accesorios epóxicos a cambio de PVC en diámetros grandes debido a que estos son de acero y aguantan cambios bruscos en las presiones resguardando la red de tubería de daños.
5. Para cualquier sistema de irrigación, es importante que el flujometro sea colocado después de 8 veces su diámetro a partir de la toma de agua; además de respetar que no se realice ningún quiebre en la tubería hasta después de 5 veces su diámetro, esto con el propósito de que la turbulencia del agua evite precisión en las lecturas.

6. Es importante que al momento de colocar las mangueras de los goteros en el suelo, se tenga el cuidado de que los emisores queden hacia arriba, con el propósito de que cualquier sedimento quede en la parte inferior de la manguera y no congestione los goteros por la entrada de alguna de estas partículas.
7. Se sugiere instalar un tubo PVC de 1/2 pulgada a lo largo de la tubería del pozo, que sirva de conducto para una sonda con la que pueda controlarse el comportamiento del nivel dinámico en determinado momento.

2.9 BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2012. El cultivo de la caña de azúcar. Guatemala, Artemis Edinter. 479 p.
2. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida a nivel de reconocimiento de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
3. Enciso, JM; Porter, D; *et al.* 2007. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientar el riego. Estados Unidos, Cooperativa de Texas Extensión. 13 p.
4. Fuentes Yagüe, JL; Cruz Roche, J. 1990. Curso elemental de riego. Madrid, España, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Servicio de Extensión Agraria. 237 p.
5. Guevara, G. 2013. Generalidades del riego por goteo (entrevista). San José, Costa Rica, R & M Centroamérica.
6. Herrera Ibañez, IR. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
7. Marroquín Avendaño, VM. 2004. Estudio de la factibilidad en la introducción de un sistema de riego gravedad-aspersión en el caserío Corral de Piedra, Concepción Tutuapa, San Marcos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 64 p.
8. Martínez, J. 2013. Generalidades del riego por goteo (entrevista). San José, Costa Rica, R & M Centroamérica.
9. Medina San Juan, JA. 1997. Riego por goteo: teoría y práctica. Madrid, España, Mundi-Prensa. 256 p.

10. Mendoza, I. 2013. Generalidades del riego por goteo (entrevista). San José, Costa Rica, R & M Centroamérica.
11. Pacheco, C. 2013. Generalidades del riego por goteo (entrevista). San José, Costa Rica, R & M Centroamérica.
12. Pinto Grotewold, JS. 2011. 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. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, 124 p.
13. Rivas, E. 2013. Generalidades del riego por goteo (entrevista), San José, Costa Rica, R & M Centroamérica.
14. Sandoval Alarcón, BE. 1999. Efecto de cuatro programaciones de riego sobre la evapotranspiración y producción de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en lisímetros de percolación, en la Nueva Concepción, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 79.
15. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 368 p.
16. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH; 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
17. Uner, N. 2000. Riego y fertilización de la caña de azúcar con sistema de riego por goteo. Guatemala, Riegos Modernos de Guatemala. 10 p.
18. Velásquez, F; Cardona, H; Méndez, MA, Ayala, M; Ortiz, A; Bran, R; Zuñiga, B. 2007. Guía metodológica de proyectos de inversión a nivel de factibilidad. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 21 p.

2.10 ANEXOS



XXXXXX
 07-02-2012/1
 Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SUELOS

No. de Ingreso:	6844	No. de muestra:	31996
Identificación de la muestra:	PUNTO No. 1		
Dirigido a:	Ing. Eddy Guinea	Captada (s) por:	CLIENTE
Cliente/empresa:	INGENIO MAGDALENA	Fecha y hora de captación:	17/10/2013 No proporcionado
Dirección de cliente/empresa:	22 Avenida 11-00 zona 15 Vista Hermosa III	Fecha y hora de ingreso:	17/10/2013 11:30
Lugar/dirección de captación:	Km. 99.5 Carretera a Sipacate, La Democracia, Escuintla, Interior Finca Buganvilla	Inicio de ensayo:	17/10/2013
		Informe final:	31/10/2013

DATOS DE LA MUESTRA

Tipo de muestra:	SUELO PARA CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR	Tipo de envase:	Bolsa plástica
Condiciones de transporte y recepción:	Temperatura ambiente.		

	Parámetros	Dimensional	Resultados	Rango promedio por cultivo
FÍSICOQUÍMICOS	pH (Potencial de hidrógeno) a 25°C	Unidades de pH	6.3	----
	pH en KCl	Unidades de pH	5.4	----
	Concentración de sales	dS/m	0.16	----
	Materia orgánica	%	2.37	----
	Densidad aparente	g/cm ³	1.19	----
QUÍMICOS	Amonio en KCl	mg N-NH ₄ /l	10.0	----
	Azufre	mg/l	9.0	----
	Boro en agua caliente	mg/l	0.5	----
	Calcio	mg/l	2410.0	----
	Cobre	mg/l	4.9	----
	Fósforo	mg/l	130.0	----
	Fósforo Olsen	mg/l	<10.0	----
	Hierro	mg/l	167.0	----
	Magnesio	mg/l	341.0	----
	Manganeso	mg/l	53.0	----
	Nitrato en KCl	mg N-NO ₃ /l	31.0	----
	Potasio	mg/l	506.0	----
	Zinc	mg/l	8.1	----
TEXTURA	Arcilla	%	22	----
	Limo	%	14	----
	Arena	%	64	----
	Clasificación	Franco-arenoso-arcilloso		
PROPIEDADES HIDROFÍSICAS	Capacidad de campo	% Humedad 1/3	19.9	----
	Punto de marchitez permanente	% Humedad 15	15.2	----

1. Opiniones e interpretaciones: _____
2. Nomenclatura utilizada: _____
3. Observaciones:
 - I. Este informe no puede ser reproducido parcial o totalmente por el cliente o parte interesada, sin la autorización escrita por parte de VERTICAL.
 - II. Los resultados de este informe pertenecen exclusivamente a la muestra analizada tal y como fue recibida en el laboratorio.

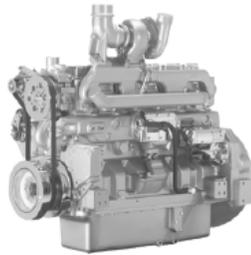
Lic. Rafael López, Q.B.
 COLEGIADO No. 3791.
 GERENTE.

Figura 62A. Resultado de muestreo de suelo para el punto No. 1.



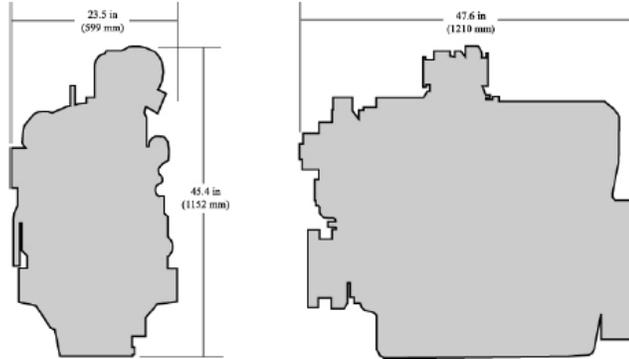
JOHN DEERE

PowerTech™
6081H Motor Diesel



6081H shown

Dimensions



Certifications

- CARB
- EPA Commercial Marine
- EPA Tier 2
- EU Stage II

General engine data

Model	6081HF070	Aspiration	Turbocharged and air-to-air aftercooled
Number of cylinders	6	Length - mm (in)	1210 (47.6)
Displacement - L (cu in)	8.1 (494)	Width - mm (in)	599 (23.6)
Bore and Stroke-- mm (in)	116 x 129 (4.57 x 5.08)	Height-- mm (in)	1152 (45.4)
Compression Ratio	16.5:1	Weight, dry-- kg (lb)	776 (1711)
Engine Type	In-line, 4-Cycle		

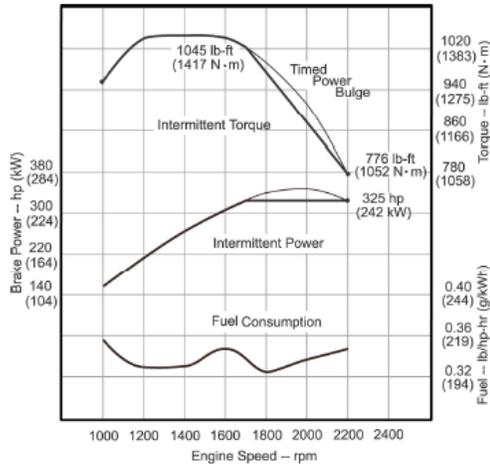
Intermittent BHP is the power rating for variable speed and load applications where full power is required intermittently.

Heavy duty - see application ratings/definitions, engine performance curves.

Continuous BHP is the power rating for applications operating under a constant load and speed for long periods of time.

Power output is within + or - 5% at standard SAE J 1995 and ISO 3046.

Performance curve



Performance data

Intermittent rated speed	242 kW (325 hp) @ 2200 rpm
Peak power	242 kW (325 hp) @ 2000 rpm
Peak torque	1417 N.m (1045 ft-lb) @ 1500 rpm
Torque rise %	35% @ 1500 rpm

John Deere Power Systems
3801 W. Ridgeway Ave.
PO Box 5100
Waterloo, IA 50704-5100
Phone: 1-800-533-6446
Fax: 319.292.5075

John Deere Power Systems
Usine de Saran
La Foulonnerie - B.P. 11.13
45401 Fleury les Aubrais Cedex
Phone: 33.2.38.82.61.19
Fax: 33.2.38.82.60.00

All values at rated speed and power with standard options unless otherwise noted. Specifications and design subject to change without notice.

Litho in U.S.A. (10-12) © 2010 JOHN DEERE

Figura 63A. Especificaciones para motor diesel línea 6081H.

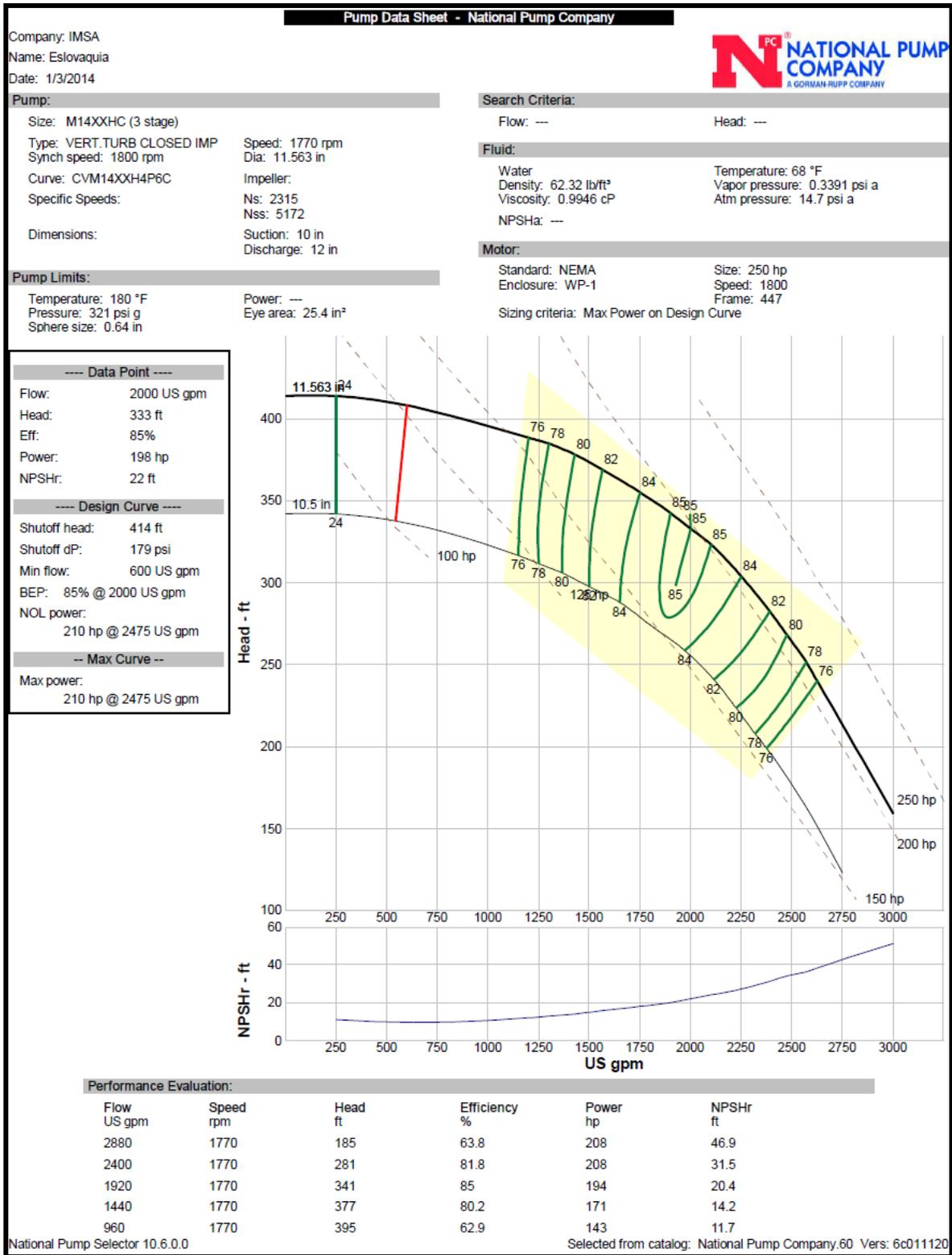


Figura 64A. Curva de rendimiento para la bomba M14XXHC.

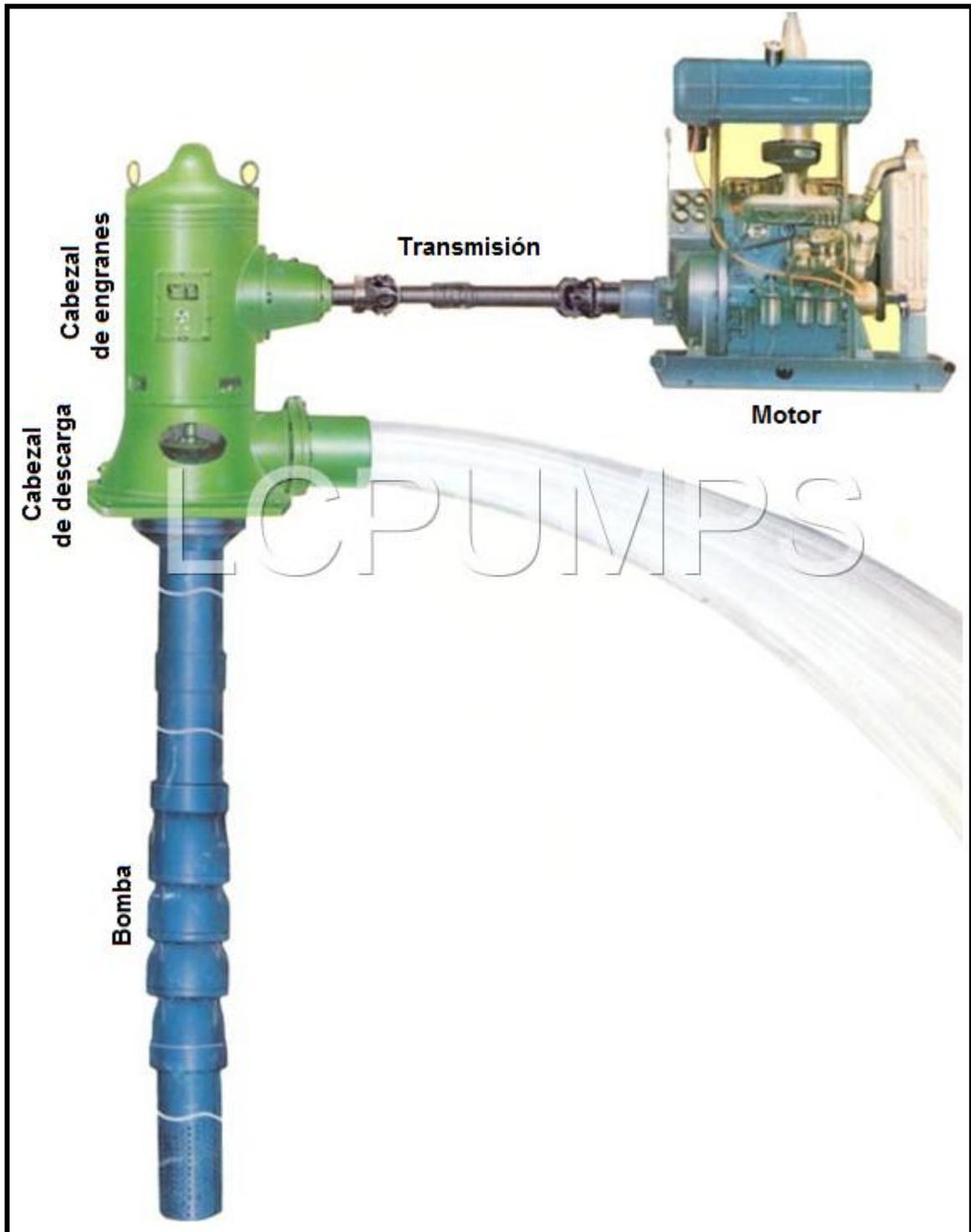


Figura 65A. Conexión de los componentes de un sistema de bombeo

Cuadro 18A. Coeficientes de fricción de Hazem-Williams para algunos materiales para calcular pérdidas de carga.

COEFICIENTES DE HAZEN-WILLIAM PARA ALGUNOS MATERIALES			
MATERIAL	C	MATERIAL	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado (HG)	120
Latón	130 – 140	Vidrio	140
Ladrillo de Saneamiento	100	Plomo	130 – 140
Hierro fundido (nuevo)	130	Plástico (PE, PVC)	150
Hierro fundido (10 años)	107 – 113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido (20 años)	89 – 100	Acero nuevo	140 – 150
Hierro fundido (30 años)	75 – 90	Acero	130
Hierro fundido (40 años)	64 – 83	Acero rolado	110
Concreto	120 – 140	Lata	130

Fuente: Hazen-Williams

Cuadro 19A. Valor adimensional “F” para pérdidas de carga por concepto de salidas múltiples.

FACTOR F PARA PÉRDIDAS DE CARGA POR SALIDAS MÚLTIPLES			
NO. SALIDAS	VALOR DE F	NO. SALIDAS	VALOR DE F
1	1.000	10	0.396
2	0.634	15	0.379
3	0.528	20	0.372
4	0.480	25	0.365
5	0.451	30	0.362

Fuente: Sandoval

Cuadro 20A. Valores de K para pérdidas de carga por accesorios.

ACCESORIO	K
Codo 90°	0.9
Codo 45°	0.42
Codo en U	2.2
Tee	1.8
Válvula de compuerta	0.19

Fuente: Gaete



CAPÍTULO III

**SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDANALES, S.A.**

3.1 PRESENTACIÓN

El presente documento describe los servicios efectuados durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), que se llevó a cabo en los meses de febrero a noviembre de 2013, en el departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena, ubicado en el municipio La Democracia, Escuintla.

Los servicios fueron propuestos con el objetivo de colaborar en la ejecución de actividades identificadas en el diagnóstico y priorizadas por la división de diseño y ejecución de proyectos de riego del el departamento de Ingeniería Agrícola.

Se determinaron las propiedades físicas del suelo con fines de riego, tales como capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente teniendo como resultado que con base en la composición de las partículas del suelo, la textura es franco arcillo arenosa, además que el promedio de las propiedades físicas del suelo determinadas son: capacidad de campo 19.90 %, punto de marchitez permanente 16.70 % y densidad aparente 1.20 gr/cm^3

También se determinó la lámina de riego promedio con base en la velocidad de infiltración por el método de doble cilindro, en la finca Eslovaquia estableciendo, a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis, que se requiere una lámina de riego equivalente a 3.08 cm/h.

Por último se determinó la cantidad de solución de cloro al 10% necesaria para corregir la presencia de hierro en el pozo del módulo Norte de la finca Eslovaquia obteniendo que la cantidad necesaria para disminuir los valores de hierro es de 1,740 ml. por hora, equivalente a medio galón de cloro. Con esta dosificación la concentración de partes por millón de hierro cambió de 0.43 a 0.21, dato que se encuentra dentro del límite permisible.

3.2 ÁREA DE INFLUENCIA

3.2.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

Los servicios que se realizaron tuvieron lugar en la finca Eslovaquia, ilustrada en la Figura 66, ubicada en el municipio de Guazacapán, Santa Rosa, a 114 kilómetros de la ciudad de Guatemala, y a 45 de su cabecera Departamental, Cuilapa. Colinda al Norte con el municipio de Pueblo Nuevo Viñas, al Este con el municipio de Chiquimulilla, al Sur con el Océano

Pacífico, y al Oeste con el municipio de Taxisco, posee una extensión territorial de aproximadamente 172 km². La finca tiene coordenadas geográficas de Latitud Norte 14° 00' 29.79" y Longitud Oeste 90° 25' 33.41", su altitud es de aproximadamente 54 metros sobre el nivel del mar (msnm).



Figura 66. Foto aérea de la Finca Eslovaquia N 14° 00' 29.79" W 90° 25' 33.41".

3.2.2 CLIMA

En cuanto al clima, Guazacapán tiene mucha variabilidad por la influencia de los vientos; el régimen de las lluvias es de mayor duración por lo que influye fuertemente en la composición florística y en la fisonomía de la vegetación. La temperatura para esta zona oscila entre 21 y 25 °C; por otro lado, la evapotranspiración se estima en promedio en 0.45 y el patrón de lluvia varía entre 2,136 a 4327 milímetros anuales. (1)

3.2.3 ZONAS DE VIDA

- a. Bosque húmedo subtropical (bhS(c))
- b. Bosque muy húmedo subtropical (bmh-S(c))

3.2.4 SUELOS

Para esta área los suelos pertenecen al grupo del declive del pacífico, los cuales se caracterizan por ser profundos sobre materiales volcánicos mezclados o de color oscuro. El material madre es el halar pedregoso, con relieve inclinado y con buen drenaje interno, de color café rojizo u oscuro, con textura franco arcillosa friable y su espesor varía de 20 a 30 centímetros.

El pH oscila de 5.5 a 6 y el contenido de materia orgánica se encuentra entre 4.0 a 4.5. En cuando al subsuelo, es de color rojo, de consistencia friable, con textura arcillosa y de espesor entre 60 y 100 centímetros. (2)

3.3 OBJETIVO GENERAL

Colaborar con la división de diseño y ejecución de proyectos de riego, del departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Magdalena, en la ejecución de las actividades identificadas priorizadas en el diagnóstico.

3.4 SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA, S.A., GUATEMALA, C.A.

3.4.1 MUESTREO DE SUELOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS CON FINES DE RIEGO, EN LA FINCA ESLOVAQUIA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

3.4.1.1 Introducción

Para el año 2013, el Ingenio Magdalena reportó más de 53,000 hectáreas bajo producción del cultivo de caña de azúcar, debido a un incremento de 7,000 hectáreas en su extensión en donde se modernizaron los sistemas de riego utilizando la modalidad de riego por goteo.

La finca Eslovaquia ubicada en Guazacapán, Santa Rosa, fue parte de éste incremento en extensión de siembra en la que se implementó el sistema de riego por goteo. Debido a la implementación de este sistema se recomendó realizar el muestreo de suelos de la finca para conocer las propiedades físicas del suelo que sirvieron para el cálculo del diseño agronómico.

3.4.1.2 Objetivo específico

Determinar las propiedades físicas del suelo con fines de riego, tales como capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente.

3.4.1.3 Metodología

1. Con ayuda del plano de la finca, se establecieron los puntos para ejecutar cuatro muestreos de suelos, a razón de una muestra por cada 100 hectáreas, como se muestra en la Figura 67. Los puntos fueron seleccionados estratégicamente tomando en cuenta aspectos topográficos, pendientes, ríos, entre otros. Además de evitar cualquier alteración artificial de la fertilidad del suelo, sectores de desagüe, acumulación de residuos de cosechas, etc.
2. Antes de iniciar se eliminó la cobertura vegetal en los puntos mostrados, con el propósito de evitar que los resultados fueran alterados por material ajeno.

Punto	Latitud "N"	Longitud "O"
1	14 ° 1 ' 14.4 "	90 ° 25 ' 39.59 "
2	14 ° 0 ' 25.8 "	90 ° 25 ' 2.4 "
3	14 ° 0 ' 43.44 "	90 ° 26 ' 1.13 "
4	13 ° 59 ' 37.8 "	90 ° 25 ' 19.2 "

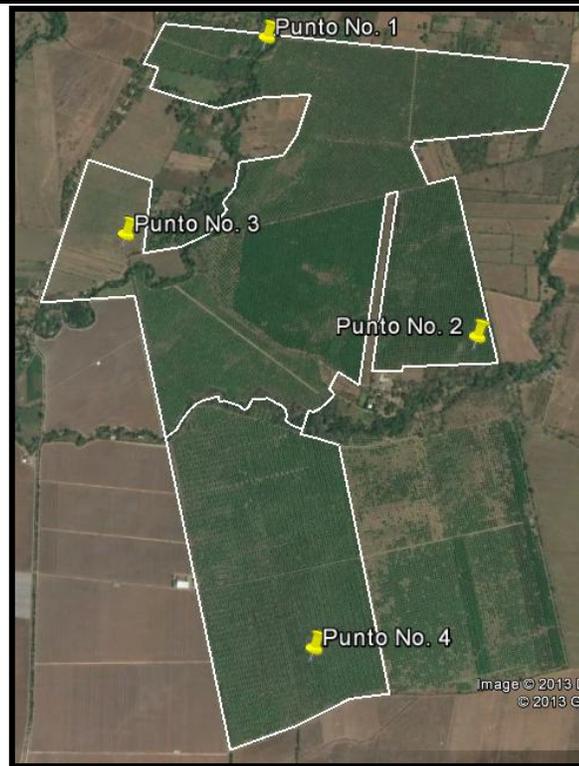


Figura 67. Foto aérea de la finca Eslovaquia N 14° 00' 29.79", W 90° 25' 33.41".

- Se hizo un recorrido sobre el área en forma de zig-zag, como se ilustra en la Figura 68, procurando no dejar algún tramo desapercibido.

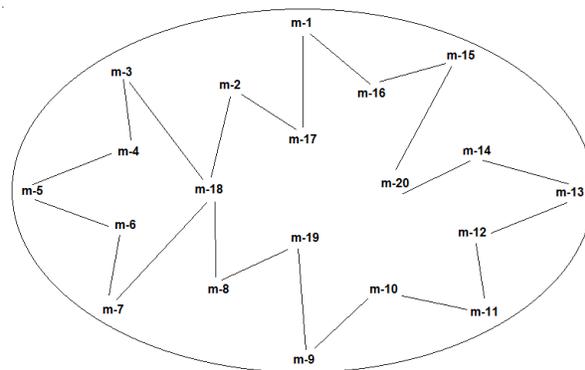


Figura 68. Ejemplo del recorrido en zig-zag utilizado en la finca Eslovaquia. En cada vértice se tomo una porción de suelo a la cual se le denomina submuestra.

- Utilizando una pala limpia se hizo un corte en el suelo en forma de "V", luego se tomó una de las paredes, como se ilustra en la Figura 69. Esta porción de suelo se conoce como submuestra, y se recomienda obtener de 15 a 20 por muestra para que sea representativa. Es importante que se deseche la primera palada antes de extraer la submuestra.

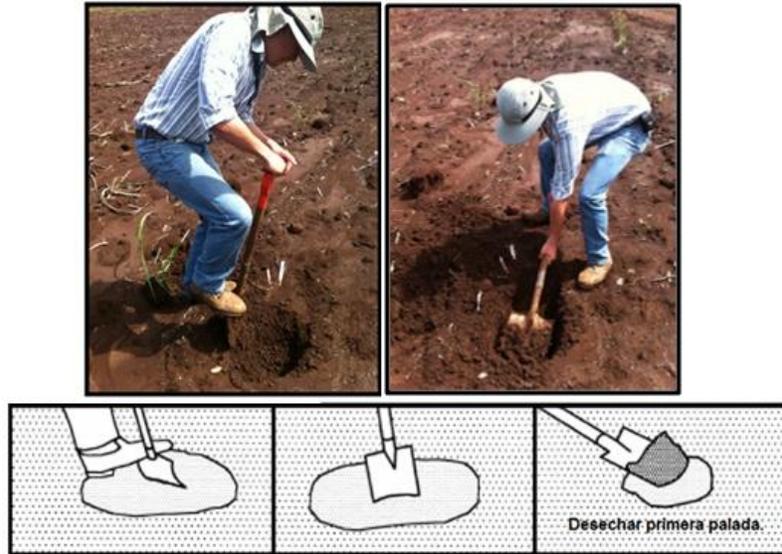


Figura 69. Pasos para realizar un corte en "V".

- De esta manera, se extrajo la segunda palada procurando que no fuera mayor a 2 pulgadas de grosor. Las submuestras se colocaron en cubetas de 5 galones de capacidad, como se ilustra en la Figura 70, con el cuidado de que estuviera libre de cualquier residuo de agroquímicos, por ejemplo.



Figura 70. Llenado de cubeta con submuestras.

6. Se realizaron 20 submuestras por cada punto de muestreo a evaluar, teniendo al final de la fase de campo alrededor de 80 submuestras, procurando que todas fueran del mismo tamaño.
7. Para conseguir la muestra definitiva que se envió al laboratorio, fue necesaria otra cubeta de 5 galones para pasar el suelo de un recipiente a otro en repetidas ocasiones logrando homogenizar las 20 submuestras de cada punto, como se muestra en la Figura 71.



Figura 71. Homogenización de la muestra con dos cubetas.

8. Del suelo homogenizado se tomó una porción de aproximadamente 1 kg. la cual fue guardada en bolsas de plástico que posteriormente fueron identificadas, como se ilustra en la Figura 72, para luego enviarlas al laboratorio para su análisis.



Figura 72. Preparación de muestras para enviar al laboratorio.

3.4.1.4 Resultados

Las propiedades físicas determinadas por el laboratorio se despliegan a continuación, en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Resultados del muestreo de suelos con fines de riego.

Punto	Textura (%)			Propiedades físicas			Textura
	Arcilla	Limo	Arena	CC (%)	PMP (%)	Dap (gr/cm ³)	
1	22	14	64	19.9	15.2	1.19	Franco arcillo arenoso
2	24	17	59	19.4	16.1	1.23	Franco arcillo arenoso
3	27	24	49	21.2	19.8	1.16	Franco arcillo arenoso
4	27	14	59	19.1	15.7	1.22	Franco arcillo arenoso
\bar{x}	25	17	58	19.90	16.4	1.20	

Tomando en cuenta los promedios de las propiedades físicas del suelo, se inició el diseño agronómico del sistema de riego por goteo detallado en el capítulo anterior, al igual que la determinación de la textura para en donde se usaron los promedios de los porcentajes de las partículas del suelo.

3.4.1.5 Conclusiones

Con base en la composición de las partículas del suelo, la textura es franco arcillo arenosa. El promedio de las propiedades físicas del suelo determinadas son: capacidad de campo 20.15 %, punto de marchitez permanente 16.4 % y densidad aparente 1.21 gr/cm³

3.4.1.6 Bibliografía

1. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida a nivel de reconocimiento de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
2. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, J.H; 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.

3.4.2 DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA DE RIEGO PROMEDIO CON BASE EN LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN POR EL MÉTODO DE DOBLE CILINDRO, EN LA FINCA ESLOVAQUIA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

3.4.2.1 Introducción

En el Ingenio Magdalena, los sistemas de riego se diseñan en base a parámetros como lámina de riego siendo este un dato establecido por CENGICANÑA que ha oscilado alrededor de 5 mm/día para la región de la costa sur. Éste dato no es igual en todos los suelos, debido a que cada uno tiene características propias, entre las que destacan principalmente la estructura, textura, contenido de humedad, compactación, temperatura del suelo además del estado físico y químico, que los hacen diferentes unos de otros. Por ello es necesario establecer una lámina de riego óptima para cada suelo donde vaya a aplicarse riego, brindándole a los cultivos las condiciones necesarias para su correcto desarrollo.

El Ingenio Magdalena ha sufrido deficiencias en cuanto a sus rendimiento (ton/ha), además de incrementos en costos operativos; una de las causas es la lámina que se ha aplicado en los suelos de las fincas debido a que la capacidad del suelo de retener el agua depende de la textura que estos poseen.

Para solucionar esta problemática se sugirió un estudio que fuera capaz de determinar la cantidad de agua necesaria para aplicar con base en la velocidad de infiltración, según el tipo de suelo del área debido a que es una de las características más importantes del diseño, operación y evaluación de los sistemas de riego. Por ello debe obtenerse información confiable de la velocidad de infiltración, preferiblemente con métodos de campo como el de doble cilindro y así establecer el tiempo adecuado para aplicar la cantidad de agua necesaria según el suelo de la finca Eslovaquia.

Con la ayuda de esta prueba, se determinó la infiltración básica la cual se origina cuando la velocidad de infiltración permanece constante, en otras palabras, cuando la variación de la lámina infiltrada con respecto al tiempo es muy pequeña.

La siguiente evaluación ayudó a establecer la infiltración básica para la finca, con el fin de diseñar un sistema de riego que aplicara una lámina de riego en función del tipo de suelo y así poder hacer más eficiente la operación del sistema de riego además de reducir costos.

3.4.2.2 Objetivo específico

Determinar la lámina de riego promedio con base en la velocidad de infiltración por el método de doble cilindro, en la finca Eslovaquia.

3.4.2.3 Metodología

1. Con ayuda del mapa de la finca Eslovaquia, se seleccionaron cuatro puntos en donde se efectuarían las pruebas de infiltración, siendo estos los mismos que se escogieron en el muestreo de suelos descrito anteriormente, como se muestra en la Figura 67. Para cada punto, fue necesario remover cualquier tipo de vegetación que dificultara la instalación de los cilindros en el suelo.
2. Con ayuda de un contrapeso, en este caso un tronco de madera, el cilindro interno se forzó a penetrar suavemente el perfil del suelo, aproximadamente 0.15 metros, como se muestra la Figura 73.



Figura 73. Ingreso del cilindro interno en el perfil del suelo.

3. De la misma manera, se introdujo el cilindro externo, con el cuidado de que ambos quedaran a la misma altura, como se muestra en la Figura 74.



Figura 74. Ingreso del cilindro externo en el perfil del suelo.

4. Como se muestra en la Figura 75, dentro del cilindro interno se colocó un nylon con el fin de proteger la superficie del suelo contra el impacto del agua, también se colocó una cinta métrica para medir el cambio de altura del agua con el paso del tiempo.



Figura 75. Llenado del cilindro los cilindros con ayuda de un recipiente.

Teniendo listo el cilindro interno, se llenó con agua el anillo formado entre ambos cilindros para evitar el movimiento lateral del agua y, por último, se agregó agua al

cilindro interno e inmediatamente se retiró el plástico. Fue necesario que durante toda la prueba se mantuvieran los niveles de agua a la misma altura.

5. Con ayuda del cronómetro se tomaron lecturas en intervalos de tiempo de 1, 3, 5, 10, 15, 30 y 60 minutos. La lectura inicial se hizo al momento de retirar el plástico.
6. La fase de campo de la prueba de infiltración finalizó cuando se notó que la velocidad de infiltración se volvía constante, es decir, cuando se había alcanzado la infiltración básica.
7. Terminada la fase de campo, se hizo el cálculo de la infiltración básica utilizando el modelo de Kostiakov-Lewis.

3.4.2.4 Resultados

a. Prueba de infiltración para el punto No. 1

Cuadro 22. Resultados de la prueba de infiltración obtenidos del punto No. 1

PRUEBA DE INFILTRACIÓN No. 1 22/05/2013						
No. Lectura	Hora	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia de lectura (cm)	Infiltración (cm/h)
1	11:17	0	0	30	0	0
2	11:18	1	1	28.8	1.2	72
3	11:21	3	4	27.3	1.5	30
4	11:26	5	9	25.9	1.4	16.8
5	11:36	10	19	22.5	3.4	20.4
6	11:51	15	34	18.3	4.2	16.8
7	12:21	30	64	14.3	4	8
8	12:51	30	94	10.4	3.9	7.8
9	13:21	30	124	6.4	4	8

Para el punto No. 1, se puede notar en el Cuadro 22 que la velocidad de infiltración se empieza a estabilizar después una hora de iniciada la prueba, ya que en las siguientes lecturas la infiltración era prácticamente la misma.

Cuadro 23. Obtención del modelo de Kostiakov-Lewis a partir de los datos obtenidos del punto No. 1

Infiltración (cm/h)	Tiempo acumulado (min)	Log Infiltración	Log Tiempo acumulado	Suma Log Infiltración	Suma Log Tiempo acumulado
72	1	1.85733	0.00000		
30	4	1.47712	0.60206		
16.8	9	1.22531	0.95424		
20.4	19	1.30963	1.27875	5.86939	2.83506
16.8	34	1.22531	1.53148		
8	64	0.90309	1.80618		
7.8	94	0.89209	1.97313		
8	124	0.90309	2.09342	3.92358	7.40421

Basándose en la forma logarítmica de la ecuación $I = Kt^n$, y con ayuda de los datos conseguidos en el Cuadro 23, se tiene el siguiente modelo matemático:

$$\text{Log } I = \text{Log } K + n \text{ Log } t$$

Entonces:

$$5.86939 = 4 \text{ Log } K + n \text{ 2.83506} \quad (1)$$

$$3.92358 = 4 \text{ Log } K + n \text{ 7.40421} \quad (2)$$

Multiplicando por (-1) la segunda ecuación:

$$5.86939 = 4 \text{ Log } K + n \text{ 2.83506}$$

$$(-1) -3.92358 = -4 \text{ Log } K - n \text{ 7.40421}$$

Reduciendo términos semejantes:

$$1.94581 = 0 - n \text{ 4.56915}$$

$$n = -\frac{1.94581}{4.56915}$$

$$n = -0.42586$$

Sustituyendo el valor de n en la primera ecuación se tiene:

$$5.86939 = 4 \text{ Log K} + (-0.42586) 2.83506$$

$$5.86939 = 4 \text{ Log K} - 1.20733$$

$$5.86939 + 1.20733 = 4 \text{ Log K}$$

$$7.07672 = 4 \text{ Log K}$$

Donde:

$$\text{Log K} = \frac{7.07672}{4} = 1.76918$$

Antilogaritmo:

$$K = 58.77328$$

Cálculo de la infiltración básica:

$$I_b = K(-600n)^n$$

Sustituyendo los valores se tiene la siguiente ecuación:

$$I_b = 58.77328(-600 * -0.42586)^{-0.42586}$$

$$I_b = 5.55 \text{ cm/h}$$

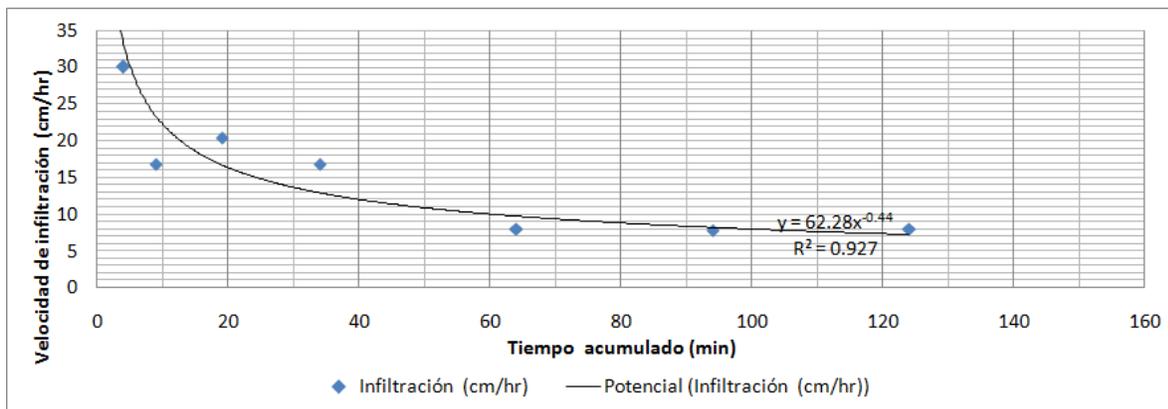


Figura 76. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis para el punto No. 1

En la Figura 76, se puede observar como la curva pareciera una línea recta en la parte final debido a la estabilización de la velocidad de infiltración, siendo la infiltración básica 5.55 cm/h.

Por otro lado se puede observar un coeficiente de regresión el cual indica que el modelo se ajusta en un 92.7% a los datos.

b. Prueba de infiltración para el punto No. 2

Cuadro 24. Resultados de la prueba de infiltración obtenidos del punto No. 2

PRUEBA DE INFILTRACIÓN No. 2 27/05/2013						
No. Lectura	Hora	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia de lectura (cm)	Infiltración (cm/h)
1	08:42	0	0	31.5	0	0
2	08:43	1	1	30.8	0.7	4.2
3	08:46	3	4	30.4	0.4	8
4	08:51	5	9	29.7	0.7	8.4
5	09:01	10	19	28.7	1	6
6	09:16	15	34	27.4	1.3	5.2
7	09:46	30	64	25.3	2.1	4.2
8	10:16	30	94	23.2	2.1	4.2
9	10:46	30	124	21.1	2.1	4.2

Para el punto No. 2, se puede observar en el Cuadro 24 como se estabilizó la velocidad de infiltración a partir de 64 minutos de iniciada la prueba, ya que en las siguientes lecturas la infiltración fue la misma.

Cuadro 25. Obtención del modelo de Kostiakov-Lewis a partir de los datos del punto No. 2

Infiltración (cm/h)	Tiempo acumulado (min)	Log Infiltración	Log Tiempo acumulado	Suma Log Infiltración	Suma Log Tiempo acumulado
4.2	1	1.62325	0.00000		
8	4	0.90309	0.60206		
8.4	9	0.92428	0.95424		
6	19	0.77815	1.27875	4.22877	2.83506
5.2	34	0.71600	1.53148		
4.2	64	0.62325	1.80618		
4.2	94	0.62325	1.97313		
4.2	124	0.62325	2.09342	2.58575	7.40421

De igual manera, en base a la forma logarítmica de la ecuación $I = Kt^n$, y con ayuda de los datos obtenidos en el Cuadro 25, se tiene la siguiente expresión:

$$\text{Log } I = \text{Log } K + n \text{ Log } t$$

Entonces:

$$4.22877 = 4 \text{ Log } K + n \cdot 2.83506 \quad (1)$$

$$2.58575 = 4 \text{ Log } K + n \cdot 7.40421 \quad (2)$$

Multiplicando por (-1) la segunda ecuación:

$$4.22877 = 4 \text{ Log } K + n \cdot 2.83506$$

$$(-1) \cdot 2.58575 = -4 \text{ Log } K - n \cdot 7.40421$$

Reduciendo términos semejantes:

$$1.64302 = 0 - n \cdot 4.56915$$

$$n = -\frac{1.64302}{4.56915}$$

$$n = -0.35959$$

Sustituyendo el valor de n en la primera ecuación se tiene:

$$4.22877 = 4 \text{ Log } K + (-0.35959) \cdot 2.83506$$

$$4.22877 = 4 \text{ Log } K - 1.01946$$

$$4.22877 + 1.01946 = 4 \text{ Log } K$$

$$5.24823 = 4 \text{ Log } K$$

Donde:

$$\text{Log } K = \frac{5.24823}{4} = 1.31206$$

Antilogaritmo:

$$K = 20.51429$$

Cálculo de la infiltración básica:

$$I_b = K(-600n)^n$$

Sustituyendo los valores se tiene la siguiente ecuación:

$$I_b = 20.51429(-600 * -0.35959)^{-0.35959}$$

$$I_b = 2.97 \text{ cm/h}$$

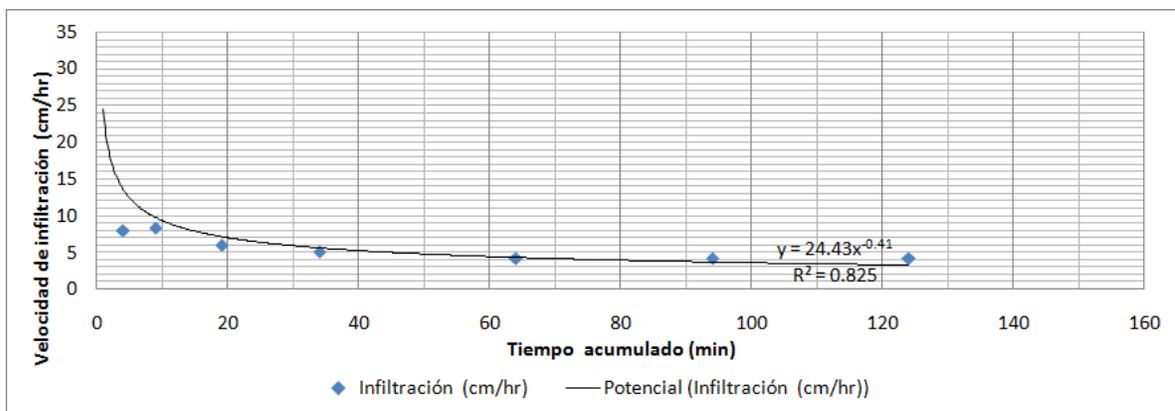


Figura 77. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis para el punto No. 2

La Figura 77, muestra como la curva se suaviza pareciendo ser una línea recta al final debido a que la velocidad de infiltración se estabilizó con el paso del tiempo, teniendo una infiltración básica de 2.97 cm/h. Además se despliega un coeficiente de regresión que indica cuanto se ajustan los datos al modelo, que para este caso es 82.5%.

c. Prueba de infiltración para el punto No. 3

En el Cuadro 26 se puede notar cómo se estabilizó la velocidad de infiltración a partir de 64 minutos de iniciada la prueba para el punto No. 3, ya que en las siguientes lecturas la infiltración fue la misma.

Cuadro 26. Resultados de la prueba de infiltración obtenidos del punto No. 3

PRUEBA DE INFILTRACIÓN No. 3 31/06/2013						
No. Lectura	Hora	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia de lectura (cm)	Infiltración (cm/h)
1	11:38	0	0	28.8	0	0
2	11:39	1	1	28.5	0.3	18
3	11:42	3	4	28	0.5	10
4	11:47	5	9	27.7	0.3	3.6
5	11:57	10	19	27.4	0.3	1.8
6	12:12	15	34	26.8	0.6	2.4
7	12:42	30	64	25.9	0.9	1.8
8	13:12	30	94	25	0.9	1.8
9	13:42	30	124	24.1	0.9	1.8

Cuadro 27. Obtención del modelo de Kostiakov-Lewis a partir de los datos del punto No. 3

Infiltración (cm/h)	Tiempo acumulado (min)	Log Infiltración	Log Tiempo acumulado	Suma Log Infiltración	Suma Log Tiempo acumulado
18	1	1.25527	0.00000		
10	4	1.00000	0.60206		
3.6	9	0.55630	0.95424		
1.8	19	0.25527	1.27875	3.06685	2.83506
2.4	34	0.38021	1.53148		
1.8	64	0.25527	1.80618		
1.8	94	0.25527	1.97313		
1.8	124	0.25527	2.09342	1.14603	7.40421

En base a los datos obtenidos en el cuadro 27 y con ayuda de la forma logarítmica de la ecuación $I = Kt^n$, se tiene el siguiente modelo matemático:

$$\text{Log } I = \text{Log } K + n \text{ Log } t$$

Entonces:

$$3.06685 = 4 \text{ Log } K + n \cdot 2.83506 \quad (1)$$

$$1.14603 = 4 \text{ Log } K + n \cdot 7.40421 \quad (2)$$

Multiplicando por (-1) la segunda ecuación:

$$3.06685 = 4 \text{ Log } K + n \cdot 2.83506$$

$$(-1) - 1.14603 = -4 \text{ Log } K - n 7.40421$$

Reduciendo términos semejantes:

$$1.92082 = 0 - n 4.56915$$

$$n = -\frac{1.92082}{4.56915}$$

$$n = -0.42039$$

Sustituyendo el valor de n en la primera ecuación se tiene:

$$3.06685 = 4 \text{ Log } K + (-0.42039) 2.83506$$

$$3.06685 = 4 \text{ Log } K - 1.19182$$

$$3.06685 + 1.19182 = 4 \text{ Log } K$$

$$4.25867 = 4 \text{ Log } K$$

Donde:

$$\text{Log } K = \frac{4.25867}{4} = 1.06467$$

Antilogaritmo:

$$K = 11.60561$$

Cálculo de la infiltración básica:

$$I_b = K(-600n)^n$$

Sustituyendo los valores se tiene la siguiente ecuación:

$$I_b = 11.60561(-600 * -0.42039)^{-0.42039}$$

$$I_b = 1.13 \text{ cm/h}$$

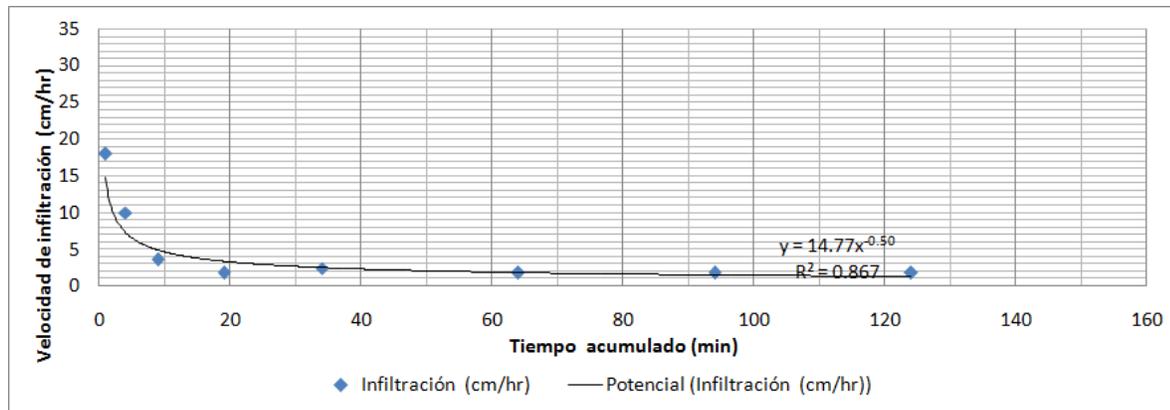


Figura 78. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis para el punto No. 3

En la Figura 78, se ilustra como la curva de velocidad de infiltración se suaviza pareciendo ser una línea recta al final debido a su estabilización con el paso del tiempo, teniendo una infiltración básica de 1.13 cm/h.

Asimismo la gráfica cuenta con un coeficiente de regresión de 0.867, lo que indica que los datos se ajustan al modelo en un 86.7%.

d. Prueba de infiltración para el punto No. 4

A continuación en el Cuadro 28, se observa cómo se estabiliza la velocidad de infiltración luego de 64 minutos de iniciada la prueba para el punto No. 4, ya que en las próximas lecturas la infiltración fue la similar.

Cuadro 28. Resultados de la prueba de infiltración obtenidos del punto No. 4

PRUEBA DE INFILTRACIÓN No. 4 07/06/2013						
No. Lectura	Hora	Intervalo de tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia de lectura (cm)	Infiltración (cm/h)
1	15:13	0	0	30.4	0	0
2	15:14	1	1	30.1	0.3	18
3	15:17	3	4	29.8	0.3	6
4	15:22	5	9	29.4	0.4	4.8
5	15:32	10	19	28.9	0.5	3
6	15:47	15	34	28	0.9	3.6
7	16:17	30	64	26.4	1.6	3.2
8	16:47	30	94	24.8	1.6	3.2
9	17:17	30	124	23.3	1.5	3

Cuadro 29. Obtención del modelo de Kostiakov-Lewis a partir de los datos del punto No. 4

Infiltración (cm/h)	Tiempo acumulado (min)	Log Infiltración	Log Tiempo acumulado	Suma Log Infiltración	Suma Log Tiempo acumulado
18	1	1.25527	0.00000		
6	4	0.77815	0.60206		
4.8	9	0.68124	0.95424		
3	19	0.47712	1.27875	3.19179	2.83506
3.6	34	0.55630	1.53148		
3.2	64	0.50515	1.80618		
3.2	94	0.50515	1.97313		
3	124	0.47712	2.09342	2.04372	7.40421

Basándose en la forma logarítmica de la ecuación $I = Kt^n$, y con ayuda de los datos obtenidos en el cuadro 29, se tiene la siguiente expresión:

$$\text{Log } I = \text{Log } K + n \text{ Log } t$$

Entonces:

$$3.19179 = 4 \text{ Log } K + n \ 2.83506$$

$$2.04372 = 4 \text{ Log } K + n \ 7.40421$$

Multiplicando por (-1) la segunda ecuación:

$$3.19179 = 4 \text{ Log } K + n \ 2.83506$$

$$(-1) -2.04372 = -4 \text{ Log } K - n \ 7.40421$$

Reduciendo términos semejantes:

$$1.14806 = 0 - n \ 4.56915$$

$$n = -\frac{1.14806}{4.56915}$$

$$n = -0.25126$$

Sustituyendo el valor de n en la primera ecuación se tiene:

$$3.19179 = 4 \text{ Log K} + (-0.25126) 2.83506$$

$$3.19179 = 4 \text{ Log K} - 0.71235$$

$$3.19179 + 0.71235 = 4 \text{ Log K}$$

$$3.90413 = 4 \text{ Log K}$$

Donde:

$$\text{Log K} = \frac{3.90413}{4} = 1.06467$$

Antilogaritmo:

$$K = 9.46315$$

Cálculo de la infiltración básica:

$$I_b = K(-600n)^n$$

Sustituyendo los valores se tiene la siguiente ecuación:

$$I_b = 9.46315(-600 * -0.25126)^{-0.25126}$$

$$I_b = 2.68 \text{ cm/h}$$

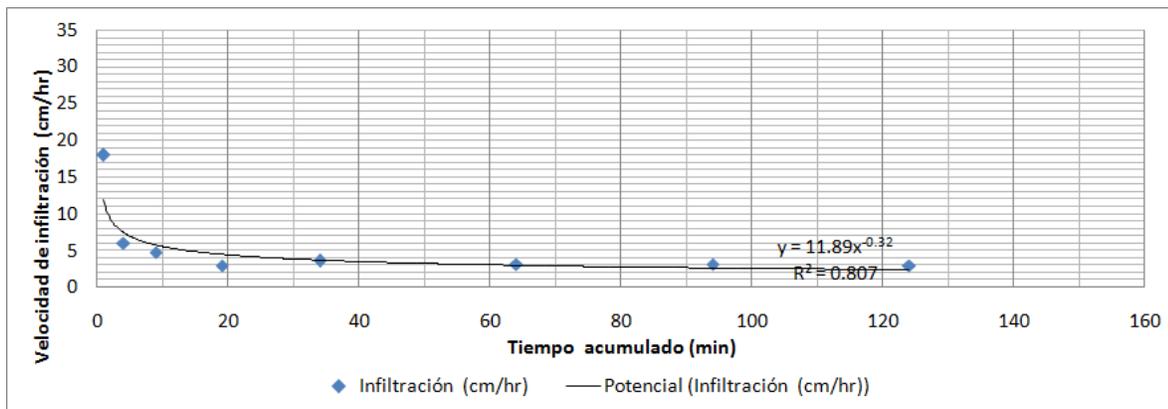


Figura 79. Curva de velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis para el punto No. 4

En la Figura 79, se ilustra como la curva de velocidad de infiltración presenta un comportamiento lineal al final debido a que con el paso del tiempo se estabilizó, teniendo una infiltración básica de 2.68 cm/h.

La gráfica muestra un coeficiente de regresión de 0.807, lo que indica que los datos se ajustan al modelo en un 80.7%.

3.4.2.5 Conclusiones

La lámina de riego promedio que requiere la finca Eslovaquia en base a la velocidad de infiltración a partir de la ecuación de Kostiakov-Lewis es de 3.08 cm/h.

3.4.2.6 Bibliografía

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2012. El cultivo de la caña de azúcar. Guatemala, Artemis Edinter. 479 p.
2. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 368 p.

3.4.3 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE LA SOLUCIÓN DE CLORO AL 10% NECESARIA PARA CORREGIR LA PRESENCIA DE HIERRO EN EL MÓDULO NORTE DE LA FINCA ESLOVAQUIA, GUAZACAPÁN, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A.

3.4.3.1 Introducción

Para el año 2013 el Ingenio Magdalena implementó una nueva tecnología conocida como riego por goteo la cual es más eficiente que las utilizadas con anterioridad, pero por muy eficientes que sean los sistemas de riego, no se descarta que existan reacciones químicas internas que perjudiquen el fluido del agua.

Por esta razón es recomendable auxiliarse de un análisis de laboratorio para evaluar el comportamiento de los minerales existentes en las fuentes de agua, y prevenir problemas en un futuro.

La finca Eslovaquia no fue la excepción, debido que los resultados obtenidos por medio de los análisis de laboratorio, específicamente en el pozo del módulo norte, reflejaron que las concentraciones de hierro superaban el límite permisible correspondiente a 0.3 ppm.

Debido a que existen diferentes métodos para el control y disminución del hierro a los límites permisibles, se realizó el método con base en la solución con cloro, para contrarrestar los problemas de hierro.

3.4.3.2 Objetivo específico

Determinar la cantidad de solución de cloro al 10% necesaria para corregir la presencia de hierro en el módulo Norte de la finca Eslovaquia.

3.4.3.3 Metodología

1. En base a los análisis de agua previamente realizados, se sugirió utilizar solución de cloro al 10% para oxidar el hierro. Para esto fue necesario instalar una bomba independiente alimentada con corriente alterna, como la que se muestra en la Figura 80. Fue necesario que la bomba tuviera un indicador del caudal entregado al sistema.

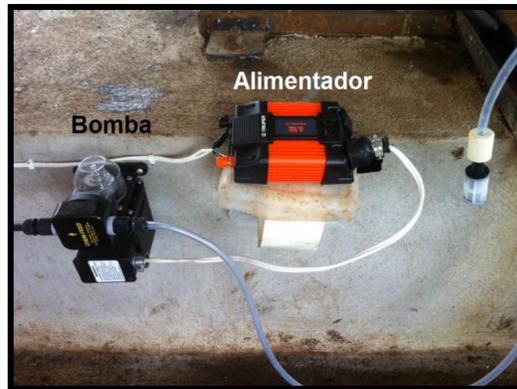


Figura 80. Bomba independiente para inyectar cloro al sistema.

2. Además del equipo de bombeo de cloro, fue necesario instalar un equipo de filtrado que lograra sedimentar el hierro oxidado, tal como filtros de grava, ilustrados en la Figura 81, que al capturar el hierro lo expulsaran por medio de un retrolavado.



Figura 81. Equipo de filtrado de grava.

3. Por último fueron necesarios unos instrumentos de cuantificación basados en un fotómetro para realizar medidas precisas y sencillas de concentraciones en partes por millón, como los mostrados en la Figura 82, además de unos reactivos específicos para cada mineral.



Figura 82. Medidor portátil de partes por millón para hierro y cloro libre.

En este caso se contabilizó el cloro utilizado, y se observó el comportamiento del hierro en la entrada y salida del sistema.

Estos medidores son de la casa HANNA Instruments, y existen específicos para cada mineral. En su interior hay un depósito de 10 ml. en donde se coloca la muestra con el contenido de un sobre de reactivo y al pulsar el botón despliega la concentración en ppm del mineral, como se muestra en la Figura 83.



Figura 83. Vista interna del medidor portátil para cloro libre.

4. Antes de empezar el tratamiento, con ayuda de una probeta se aforó la bomba debido a que tenía diferentes escalas de bombeo, teniendo capacidad de hasta un galón por hora. A continuación, en el Cuadro 30, se muestran los caudales entregados en las diferentes escalas de la bomba.

Cuadro 30. Resultados del aforo de la bomba en sus diferentes escalas de descarga.

Escala	Tiempo (min)	Descarga (ml.)	Descarga (GPH)
1	5	95	0.30
2	5	145	0.46
3	5	220	0.70
4	5	280	0.88
5	5	290	0.92
6	5	320	1.01

Concluido el aforo, se tomó la decisión de utilizar la bomba con la perilla en la escala 2, debido a que en esta posición descargó 1,740 ml. al cabo de una hora, dato más próximo al sugerido que fue de medio galón de cloro por hora.

5. Teniendo todo listo se arrancó el sistema de bombeo del pozo en el módulo norte, se tomó una muestra de agua antes de que ésta llegara a los filtros de grava, y otra después de que los pasara, como se muestra en la Figura 84, presentando 0.32 y 0.51 ppm de hierro respectivamente.



Figura 84. Muestra de agua antes de pasar por el sistema de filtrado.

Luego se anotó el caudal del sistema y dejó fluir el agua durante una hora para que se equilibrara el comportamiento del pozo en cuanto a calidad de agua. Pasado este tiempo la lectura fue de 0.43 ppm.

6. La dosis de cloro sugerida por el laboratorio para controlar el hierro fue de 1:1 (parte por millón de Cl por cada una de Fe), entonces con ayuda de los caudales de la bomba se calculó cual entregaría alrededor de 0.4 ppm de hierro, conforme a la lectura. Para determinar esto se hizo un cálculo estequiométrico como el que despliega a continuación:

$$\frac{145 \text{ gr Sol}}{5 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{hr}} = \frac{1,740 \text{ gr Sol}}{\text{hr}}$$

$$\frac{10 \text{ gr Cl}}{100 \text{ gr Sol}} * \frac{1,740 \text{ gr Sol}}{\text{hr}} = 174 \text{ gr Cl}$$

$$\frac{395 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}}{\text{hr}} * \frac{1,000 \text{ lts H}_2\text{O}}{\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}} = 395,000 \text{ L H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ ppm} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\frac{174 \text{ gr Cl}}{395,000 \text{ L H}_2\text{O}} * \frac{1,000 \text{ mg Cl}}{\text{gr Cl}} * = \mathbf{0.44 \text{ ppm Cl}}$$

7. Se inició el proceso de inyección del cloro al sistema a razón de aproximadamente 0.5 GPM, como se ilustra en la Figura 85, y el equipo se dejó nuevamente trabajando durante otra hora para que el cloro oxidara el hierro.

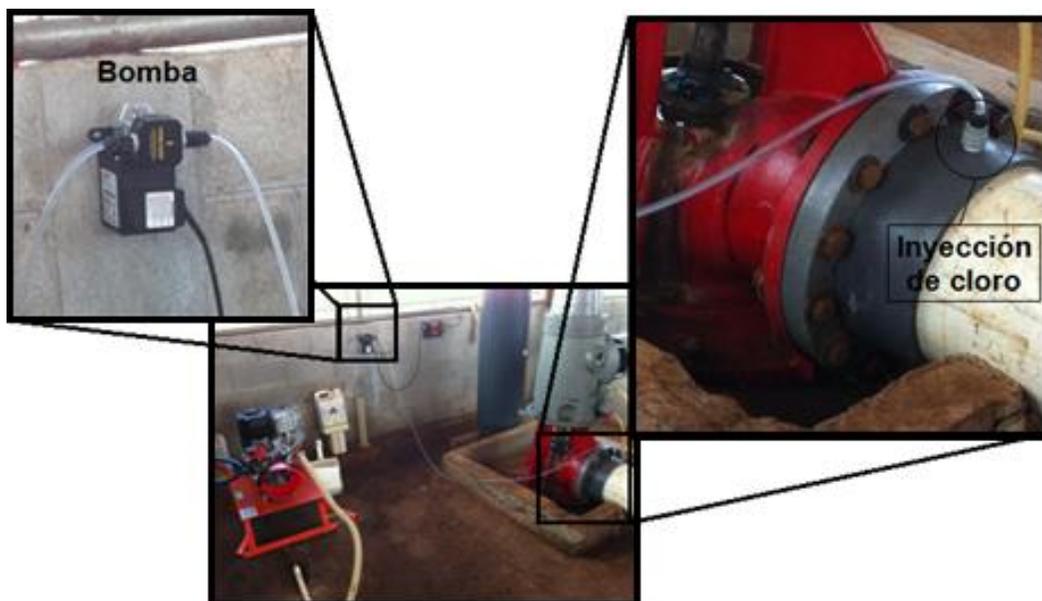


Figura 85. Ubicación de la inyección del cloro en la tubería.

8. Al transcurrir este tiempo se volvió a tomar una muestra de agua después de pasar por los filtros de grava, para observar el comportamiento del hierro y del cloro en el sistema.

3.4.3.4 Resultados

Los resultados obtenidos al final del tratamiento se despliegan a continuación, en el Cuadro 31.

Cuadro 31. Resultados del tratamiento de inyección de cloro.

Muestra	Hora	[Fe] ppm	Caudal (m ³ /h)	Lugar de muestra	[Cl libre] ppm
1	13:20	0.32	395	Antes de filtros	--
2	13:23	0.51	395	Después de filtros	--
Inyección de cloro al 10%					
3	14:22	0.43	395	Antes de filtros	--
4	14:24	0.21	395	Después de filtros	0.07

Se puede apreciar que en las muestras 1 y 2, tomadas antes de los filtros de grava (13:20) y después de éstos (13:23), respectivamente, las concentraciones de hierro estuvieron por encima de las 0.3 ppm.

Luego de una hora de estar operando el equipo, se tomó la muestra 3, presentando el mismo problema de hierro. Al mismo tiempo se inyectó cloro al sistema durante una hora y al cabo de 60 minutos de estar operando el equipo con cloro, se tomó la muestra 4 presentando una disminución de la concentración de hierro a 0.21 ppm, estando dentro de los límites permisibles, debido a que el cloro ayudó a oxidar el hierro, y los filtros de grava a decantarlo.

De manera que si la cantidad de cloro libre era cero o muy baja según la concentración inicial, quiere decir que se consumió por completo, entonces:

- Si el hierro bajó a valores óptimos para el goteo, es porque la cantidad de cloro fue suficiente.
- Si la cantidad de hierro es alta, significa que la cantidad de cloro fue insuficiente por lo que se recomienda repetir el procedimiento aumentando la cantidad de cloro.

Por otro lado, si la cantidad de cloro libre es media o alta según la concentración inicial, entonces:

- Si el hierro bajó a valores óptimos para el goteo es porque la cantidad usada fue suficiente para oxidar y precipitar el hierro.
- Si el hierro es alto, es porque las reacciones no se llegaron a completar dentro del filtro por lo que se recomienda aumentar la cantidad de filtros de grava.

Para este caso, la concentración de cloro libre fue 0.07 ppm que fueron las que no se consumieron, teniendo la concentración de hierro dentro de los límites permisibles para el riego por goteo.

3.4.3.5 Conclusiones

La cantidad de solución de cloro al 10% necesaria para disminuir los valores de hierro en la finca Eslovaquia es de 1,740 ml. por hora, equivalente a medio galón de cloro, con esta dosificación la concentración de partes por millón de hierro cambió de 0.43 a 0.21 llegando a estar dentro del límite permisible.

3.4.3.6 Recomendaciones

1. Es importante que para la limpieza del kit de medición se utilice agua destilada, ya que si se usa el agua del pozo generaría un error por el hierro que esta contiene.
2. Se sugiere repetir la metodología cada seis meses ya que los niveles de hierro pueden variar con el paso del tiempo llegando a perjudicar el sistema de riego, la fertilidad del suelo, entre otros.
3. Por la misma razón se recomienda hacer un análisis de suelos para verificar que la cantidad de cloro libre no sea ofensivo a la fertilidad del suelo. Si el cloro libre fuera más alto en pruebas posteriores, habría que utilizar una solución menos concentrada.