

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE TIEMPOS PERDIDOS EN APLICACIONES DE RIEGO POR
ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN EL INGENIO
SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

WILLIAM ALEXANDER VELÁSQUEZ HERRERA

GUATEMALA, OCTUBRE 2020

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE TIEMPOS PERDIDOS EN APLICACIONES DE RIEGO POR
ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN EL INGENIO
SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

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

POR

WILLIAM ALEXANDER VELÁSQUEZ HERRERA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RECTOR

Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	P. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
VOCAL V	Bach. Sergio Wladimir González Paz
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

Guatemala, octubre 2020

Guatemala, 21 de octubre del 2020

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 titulado: “EVALUACIÓN DE TIEMPOS PERDIDOS EN APLICACIONES DE RIEGO POR ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*), DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO SANTA ANA, 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”



William Alexander Velásquez Herrera

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por darme la vida, la sabiduría y la oportunidad de alcanzar mis metas.

MIS PADRES: Félix Velásquez Figueróa y Paula Herrera Rodríguez, por su amor y por su incansable lucha para nuestra superación personal y profesional.

MIS HERMANOS: Osmar Darinel Velásquez Herrera, Floridalma Elizabeth y Helder Amilcar, por su apoyo incondicional, cariño, respeto y sus sabios consejos.

MIS ABUELAS: María del Socorro Figueróa (QEPD) y Abelina Rodríguez por su gran cariño, consejos y enseñanzas.

MIS AMIGOS: Gustavo Salazar, Yovany Reyes, Abiel Abac, Moisés Reyes, Sherlyn De León, Sergio Gonzales, Josué Santos, Javier Ruíz y demás amigos que hicieron de mi formación universitaria una etapa amena.

USTED: Con respeto.

AGRADECIMIENTOS

A:

GUATEMALA. Mi país por el que siempre lucharé.

MI MUNICIPIO UNIÓN CANTINIL. Tierra donde crecí.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. Alma Mater, por forjarme y darme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos.

FACULTAD DE AGRONOMÍA. Por prepararme académicamente.

INGENIO SANTA ANA. Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado.

EDGARDO QUIÑÓNEZ, EMILIO ROSALES, ÓSCAR CARDONA. Por el apoyo prestado en el Ejercicio Profesional Supervisado.

MIS ASESORES. Ing. Agr. David Juárez y Dr. Marco Fernández por su apoyo y comprensión en el desarrollo de este documento.

A USTED. Como forma de respeto.

Índice general

Título	Página
Índice de figuras	V
Índice de cuadros	VII
Resumen	IX
CAPÍTULO I	
DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE RIEGOS DE LA REGIÓN CUATRO DEL GRUPO INGENIO SANTA ANA, EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA	1
1.1 Presentación	3
1.2 Marco referencial	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 General	5
1.3.2 Específicos	5
1.4 Metodología	6
1.4.1 Realización de inventario.	6
1.4.2 Referenciación geográfica de fuentes de agua.	6
1.4.3 Estudio del aforo de fuentes de agua	7
1.4.4 Detección de problemáticas	7
1.4.5 Jerarquización de problemas	7
1.5 Resultados	8
1.5.1 Inventario general del equipo de riego de la región cuatro del Ingenio Santa Ana	9
1.5.2 Referenciación geográfica de las fuentes de agua	10
1.5.3 Estudio de las fuentes de agua utilizadas	12
1.5.4 Problemática encontrada	13
1.5.5 Jerarquización de problemas	19
1.6 Conclusiones	20
1.7 Recomendaciones	21
1.8 Bibliografía	22
1.9 Anexos	22
CAPÍTULO II	
EVALUACIÓN DE TIEMPOS PERDIDOS EN APLICACIONES DE RIEGO POR ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum spp.</i>) EN EL INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.	25
2.1 Presentación	27
2.2 Marco conceptual	28
2.2.1 Tiempos perdidos	28
2.2.2 Riego por aspersión	29

	Página	
2.2.3	Diagrama de Pareto	31
2.2.4	Análisis de costos	31
2.2.5	Trabajos realizados sobre tiempos perdidos en riego	35
2.3	Marco referencial	36
2.3.1	Condiciones climáticas	38
2.3.2	Fuentes de agua	39
2.3.3	Textura de suelos	44
2.3.4	Equipos de riego utilizados en la región cuatro del Ingenio Santa Ana	47
2.3.5	Operación de los equipos de riego por aspersión	50
2.3.6	Causas de tiempos perdidos	51
2.3.7	Traslado de equipo de riego	58
2.4	Objetivos	59
2.4.1	General	59
2.4.2	Específicos	59
2.5	Metodología	60
2.5.1	Caracterización de equipos de riego	60
2.5.2	Cuantificación de la magnitud de las causas de tiempos perdidos en riego de la región cuatro del Ingenio Santa Ana en la zafra 2016-2017	61
2.5.3	Priorización de causas de tiempos perdidos en equipos de riego por aspersión tipo cañón	61
2.5.4	Cuantificación de costos de tiempos perdidos	62
2.5.5	Propuesta de operación de equipos de riego por aspersión tipo cañón	64
2.6	Resultados y discusión	67
2.6.1	Caracterización de equipo de riego	67
2.6.2	Cuantificación de tiempos perdidos durante la zafra 2016-2017 en riego por aspersión tipo cañón para la región cuatro del Ingenio Santa Ana	80
2.6.3	Priorización de causas de tiempos perdidos	84
2.6.4.	Análisis de costos	89
2.6.5	Propuesta de mejora de operación de equipos de riego	97
2.6	Conclusiones	110
2.7	Recomendaciones	112
2.8	Bibliografía	114
2.9	Anexos	117
2.9.1	Curvas de eficiencia de motores de equipos de riego de motores John Deere modelos 4045Tf250 y 3029TF129	117
2.9.2	Causas documentadas de tiempos perdidos en la región cuatro del Ingenio Santa Ana en la zafra 2016-2017	119
2.9.3	Fichas técnicas de aspersores tipo cañón utilizado en la región cuatro del Ingenio Santa Ana	120
2.9.4	Descripción de textura de suelo por lote en la región cuatro del Ingenio Santa Ana.	122

CAPÍTULO III

SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DEL INGENIO SANTA ANA, GUATEMALA, C.A.	129
3.1 Presentación	131
3.2 Área de influencia	132
3.3 Objetivo	132
3.4 Servicios prestados	133
3.4.1 Servicio 1: evaluación de la calidad técnica de riego en la región cuatro del Ingenio Santa Ana	133
3.4.2 Servicio 2: realización de pruebas de uniformidad a los principales sistemas de riego en la región cuatro del ingenio santa ana.	139
3.4.3 Servicio 3: rediseño de equipos de riego por aspersion tipo cañón en el Ingenio Santa Ana	156
3.5 Bibliografía	171

Índice de figuras

Figura	Página
Figura 1. Organigrama de encargados de labores de riego y drenaje en el Ingenio Santa Ana	8
Figura 2. Árbol de problema para equipo en mal estado	14
Figura 3. Árbol de problema para la falta de equipos de riego	15
Figura 4. Árbol de problema para la escasez de agua	16
Figura 5. Árbol de problema para la suspensión de actividades de riego	17
Figura 6. Árbol de problema para la no utilización del balance hídrico	18
Figura 7A. Aspersor en mal estado operando en la región cuatro del ingenio Santa Ana	22
Figura 8A. Tubería en mal estado utilizada para el proceso de riego	23
Figura 9A. Área de cultivo de caña de azúcar con déficit hídrico causado por falta de equipos de riego para operar	23
Figura 10. Esquema general de un diagrama de Pareto	34
Figura 11. Gráfico comparativo entre la precipitación pluvial y la evapotranspiración potencial hasta el año 2017	39
Figura 12. Fuentes de agua en administración La Giralda, San José, Escuintla	42
Figura 13. Fuentes de agua administración Loma Linda, La Gomera, Escuintla	43
Figura 14. Textura de suelo por lote en administración La Giralda	45
Figura 15. Textura de suelos por lote administración Loma Linda	46
Figura 16. Simbología de una prueba de funcionamiento y/o capacidad operativa realizada	65
Figura 17. Caso uno de operación de equipos de riego, turno de riego uno	73
Figura 18. Caso uno de operación de equipos de riego, cambio de turno de riego	74
Figura 19. Caso uno de operación de equipos de riego, turno de riego dos	74
Figura 20. Caso dos de operación de equipos de riego, turno de riego uno	76
Figura 21. Caso dos de operación de equipos de riego, cambio de turno de riego	76
Figura 22. Caso dos de operación de equipos de riego, turno de riego dos	77
Figura 23. Caso tres de operación de equipos de riego, turno de riego uno	77
Figura 24. Cambio de turno de riego	78
Figura 25. Caso tres de operación de equipos de riego, turno de riego dos	79
Figura 26. Diagrama de Pareto para las causas de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en administración La Giralda, San José, Escuintla	86
Figura 27. Diagrama de Pareto para las causas de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en administración Loma Linda, La Gomera, Escuintla	. 86
Figura 28. Árbol de problema de planificación de riego en la región cuatro del Ingenio Santa Ana	.88
Figura 29. Caso propuesto de operación a corto plazo, turno de riego uno	101
Figura 30. Caso propuesto de operación a corto plazo, cambio de turno de riego	102
Figura 31. Bloques de riego en la administración La Giralda	107
Figura 32. Bloques de riego, administración Loma Linda	108
Figura 33A. Curva de desempeño para motor John Deere 4045TF250	117
Figura 34A. Curva de desempeño para motor John Deere 3029TF129	118

	Página
Figura 35. Fugas de agua en tuberías y accesorios	138
Figura 36. Distribución de tuberías con quiebres	138
Figura 37. Distribución de aspersores para un marco de riego de 45 m x 45 m	141
Figura 38. Resultado prueba de uniformidad equipo 294-0042	146
Figura 39. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego aplicado en equipo 294-0042	146
Figura 40. Resultado prueba de uniformidad equipo 294-0058	147
Figura 41. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 294 – 0058	147
Figura 42. Resultado prueba de uniformidad equipo 294-00153	148
Figura 43. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 294 – 0153	148
Figura 44. Resultado prueba de uniformidad equipo 294-0188	149
Figura 45. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 294 – 0188	149
Figura 46. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 5294-0001	150
Figura 47. Resultado prueba de uniformidad equipo 5294-0001	150
Figura 48. Resultado prueba de uniformidad equipo 307-0022	151
Figura 49. Análisis tridimensional de la distribución de la lámina de riego en el equipo 266-0001	152
Figura 50. Fotografías de pruebas de uniformidad realizadas en equipos de riego por aspersión tipo cañón	154
Figura 51. Prueba de uniformidad realizada en pivote central	155
Figura 52. Prueba de funcionamiento de operación de equipos de riego con 6 aspersores Komet Twin 101	170

Índice de cuadros

Cuadro		Página
Cuadro 1.	Inventario sintetizado de equipo de riego	9
Cuadro 2.	Referenciación geográfica de puntos de bombeo	11
Cuadro 3.	Extracción de agua de ríos en la región cuatro del Ingenio Santa Ana	12
Cuadro 4.	Volúmenes de agua derivados en algunas fincas de la región cuatro	13
Cuadro 5.	Matriz de priorización	19
Cuadro 6.	Fincas pertenecientes a la región cuatro del Ingenio Santa Ana	37
Cuadro 7.	Distribución de áreas de riego por tipo de sistema utilizado	38
Cuadro 8.	Descripción de reservorios de la región cuatro del ingenio Santa Ana	40
Cuadro 9.	Descripción de puntos de bombeo ubicados en cuencas dentro de la región cuatro	41
Cuadro 10.	Principales fallas mecánicas en equipos de bombeo	54
Cuadro 11.	Mantenimiento preventivo de equipos de riego	55
Cuadro 12.	Descripción de costos de maquinaria para traslado de equipo de riego	63
Cuadro 13.	Descripción de los equipos de bombeo de la región cuatro	68
Cuadro 14.	Utilización de equipos de riego, administración La Giralda	70
Cuadro 15.	Utilización de equipos de riego, administración Loma Linda	71
Cuadro 16.	Simbología de diagramas de operación de equipos de riego por aspersión	72
Cuadro 17.	Descripción de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en administración La Giralda, San José, Escuintla	82
Cuadro 18.	Descripción de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en administración Loma Linda, La Gomera, Escuintla	83
Cuadro 19.	Costos de mano de obra de acuerdo a las categorías de equipos de riego	90
Cuadro 20.	Costos de mantenimiento de equipos de riego en la región cuatro del Ingenio Santa Ana	91
Cuadro 21.	Valor de la renta de equipos de bombeo para riego	91
Cuadro 22.	Consumo de combustible por equipos de riego por aspersión	92
Cuadro 23.	Costo de insumos para equipos de riego	93
Cuadro 24.	Costos de operación y de tiempos perdidos de los equipos de riego	95
Cuadro 25.	Descripción de costos de combustible y mano de obra de maquinaria para traslado de equipo de riego	96
Cuadro 26.	Significancia de tiempos perdidos en base al costo	97
Cuadro 27.	Resultados de pruebas de eficiencia	99
Cuadro 28.	Valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente e Infiltración estándar de texturas de suelos	103
Cuadro 29.	Descripción de los bloques de riego propuestos en la región cuatro del Ingenio Santa Ana	105
Cuadro 30.	Área sin equipo de riego asignado	106
Cuadro 31A.	Causas documentadas de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en la región cuatro del Ingenio Santa Ana	119
Cuadro 32A.	Ficha técnica de aspersor Komet Twin 101 con boquilla de 0.95 in	120
Cuadro 33A.	Ficha técnica de aspersor Nelson serie F100 con boquilla de 1 in	120

	Página
Cuadro 34A. Ficha técnica de aspersor Nelson serie F150 con boquillas de 0.95 in y 1 in	121
Cuadro 35A. Ficha técnica de aspersor Nelson F200 con boquilla de 1.05 in	121
Cuadro 36A. Ficha técnica para aspersor Mariner con boquilla de 1.05 in	121
Cuadro 37A. Textura de suelos en administración Loma Linda	122
Cuadro 38A. Textura de suelos por lote en administración La Giralda	123
Cuadro 39A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura Arenosa	124
Cuadro 40A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franco arenosa	125
Cuadro 41A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franca	125
Cuadro 42A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franco arcillosa	126
Cuadro 43A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franca arcillo arenosa	126
Cuadro 44A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franca arcillosa	127
Cuadro 45. Descripción de parámetros para evaluación de la calidad técnica de riego	134
Cuadro 46. Primera revisión de la calidad técnica de riego	136
Cuadro 47. Segunda revisión de la calidad técnica de riego	136
Cuadro 48. Tercera revisión de la calidad técnica de riego	137
Cuadro 49. Resultados de la prueba de uniformidad en pivote central	152
Cuadro 50. Datos de campo utilizados para el rediseño de equipos de riego	158
Cuadro 51. Diseño agronómico de sistemas de riego	162
Cuadro 52. Diseño hidráulico de sistemas de riego diseñados	163

**EVALUACIÓN DE TIEMPOS PERDIDOS EN APLICACIONES DE RIEGO POR
ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.), DIAGNÓSTICO
Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA,
GUATEMALA, C.A.**

Resumen

El Ejercicio Profesional Supervisado fue realizado en el Departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Santa Ana, el cual es el encargado de coordinar y evaluar las actividades de riego y drenaje en las diferentes áreas productivas. El uso del agua es uno de los factores de mayor importancia en la producción de caña de azúcar, debido a la escasez de la misma se debe hacer un uso eficiente, lo que requiere de la aplicación de técnicas y equipos adecuados.

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado se realizó una investigación titulada “Evaluación de tiempos perdidos en aplicaciones de riego por aspersión tipo cañón en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el Ingenio Santa Ana”. Dicha investigación se llevó a cabo en las fincas administradas por el Ingenio Santa Ana, en los municipios de San José y La Gomera. Entre los resultados de la investigación se pueden mencionar la cuantificación de 21,493 horas perdidas, en 21 equipos de riego por aspersión tipo cañón con causa principal de traslados de equipo de riego. También se estimó el costo total de los tiempos perdidos en un valor de Q. 1,302,562.56 representando un 20.18 % de la labor de riego.

Los servicios con los cuales se apoyó al Departamento de Ingeniería Agrícola durante el Ejercicio Profesional Supervisado fueron los siguientes:

- a) Evaluación de la calidad técnica de riego en los equipos por aspersión, mini aspersión y pivote central donde se determinó semanalmente los parámetros de operación del equipo de bombeo, la distribución y estado de la tubería utilizada y limpieza en el área de trabajo.

- b) Realización de pruebas de uniformidad en cinco equipos por aspersión tipo cañón, un equipo de mini aspersión y un equipo mecanizado tipo pivote central, obteniendo valores de eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad de la lámina de riego aplicada, eficiencia de conducción en la red de distribución, entre otros.

- c) Rediseño de equipos de riego por aspersión tipo cañón, trabajándose cinco equipos estableciéndose parámetros agronómicos e hidráulicos de operación y metodologías movimiento de tuberías, haciendo eficiente el uso del tiempo y utilizando la máxima cantidad de aspersores por cada equipo, en fincas La Aurora, Orinoco, Santa Matilde, Relicario, Paso Antonio Pantaleón, Iguazú y Palo Pinta.



CAPÍTULO I:

**DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE RIEGOS DE LA REGIÓN CUATRO DEL GRUPO
INGENIO SANTA ANA, EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**

1.1 Presentación

Se realizó el diagnóstico del área de riegos en la región cuatro del Ingenio Santa Ana, la cual cuenta con 31 fincas productoras de caña de azúcar en los municipios de San José y La Gomera, en el departamento de Escuintla.

Como parte de los resultados obtenidos se contabilizaron los accesorios y tubería utilizados en los equipos de riego por aspersión, se georeferenciaron las fuentes de agua, se estudiaron los caudales derivados de ríos, se detectaron y priorizaron problemas.

En la región cuatro del Ingenio Sana Ana existe poco conocimiento en la aplicación de láminas de riego, utilizándose tiempos de riego similares en distintos tipos de suelo y estados fenológicos del cultivo de caña de azúcar. Por otra parte, los equipos de riego han sido utilizados por muchas temporadas productivas, por lo que éstos ocasionalmente presentan desperfectos en el funcionamiento.

Se determinaron los problemas en la labor de riego como el mal estado de los equipos de riego, así como la escasez de los mismos para cubrir toda la demanda hídrica de la zona productiva, la escasez de agua, paros frecuentes en las labores de riego y la no utilización del balance hídrico para la aplicación de láminas de riego.

1.2 Marco referencial

El Grupo Corporativo Santa Ana está ubicado en el interior de la finca Cerritos, en el kilómetro 64.5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa. En esta empresa se produce azúcar, melaza y energía eléctrica, teniendo a su cargo un área aproximada de 26,000 ha de cultivo de caña de azúcar divididas en siete regiones administrativas (Ingenio Santa Ana, 2019).

Dentro del área Agrícola Ingenio Santa Ana se tiene una estructura administrativa que cuenta con el departamento de Ingeniería Agrícola, el Departamento de Investigación, Departamento de Cosecha y Departamento de Protección Vegetal, los cuales se encargan de planificar y ejecutar el manejo agrícola del cultivo.

En el departamento de Ingeniería agrícola se administran las labores de riego, las cuales tienen un alto valor significativo por su importancia en el desarrollo del cultivo, el alto costo que representa y la escasez de agua que puede interferir en la óptima ejecución de dicha labor.

En cada región administrativa existen diferentes sistemas de riego entre los que se mencionan el riego por aspersión tipo cañón, riego por mini aspersión y riego mecanizado por pivote central. El presente diagnóstico del área de riegos de la región cuatro del Ingenio Santa Ana, describe el equipo utilizado, las fuentes de agua y la problemática encontrada.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Conocer el equipo de los diferentes sistemas de riego implementados en la región cuatro del Ingenio Santa Ana así como fuentes de agua y el funcionamiento de los sistemas de riego con la finalidad de gestionar los recursos necesarios para el buen funcionamiento de los sistemas.

1.3.2 Específicos

1. Inventariar el equipo de cada uno de los diferentes sistemas de riego y su funcionamiento.
2. Georeferenciar las fuentes de agua utilizadas para fines de riego.
3. Estudio de aforo de las fuentes de agua utilizadas.
4. Detectar la problemática de los diferentes sistemas de riego.
5. Jerarquizar la problemática encontrada.

1.4 Metodología

1.4.1 Realización de inventario.

Para este fin se consultó a mayordomos y caporales de riego sobre bases de datos de los equipos y accesorios en riego de su área de trabajo, de lo cual se obtuvieron fichas de control de movilización de equipo y accesorios, los cuales fueron utilizados para generar un inventario del equipo disponible.

Dentro de la información recolectada se tomó el código de accesorio, correlativo, descripción, medida, marca y estatus del mismo.

Los datos fueron tabulados en una hoja de datos en el software Microsoft Excel[®] para su análisis, siguiendo un formato previamente establecido, con la finalidad de su futura utilización por parte de mayordomos y caporales de riego.

1.4.2 Referenciación geográfica de fuentes de agua.

En este caso se visitó cada punto de bombeo y en las fuentes de agua disponibles para riego. En cada punto se sacó las coordenadas de Latitud y Longitud utilizando el software Avenza Maps[®].

Con los datos obtenidos se hizo una representación gráfica de los puntos de bombeo, además de la descripción de sus coordenadas de Latitud y Longitud en una tabla, todo esto para hacer una referencia de la localización del agua con fines de diseño de sistemas de riego.

1.4.3 Estudio del aforo de fuentes de agua

Para este proceso se estudió el volumen de agua usado en ríos y derivas, de acuerdo a requerimientos por parte del área de riego, para determinar agua utilizada de fuentes tipo ríos y el impacto a estos desde el punto de vista ambiental.

1.4.4 Detección de problemáticas

Para esta actividad se tomó en cuenta la opinión de mayordomos y operadores de riego, además de la percepción personal para ver puntos de mayor afección en el proceso de irrigación en la región cuatro.

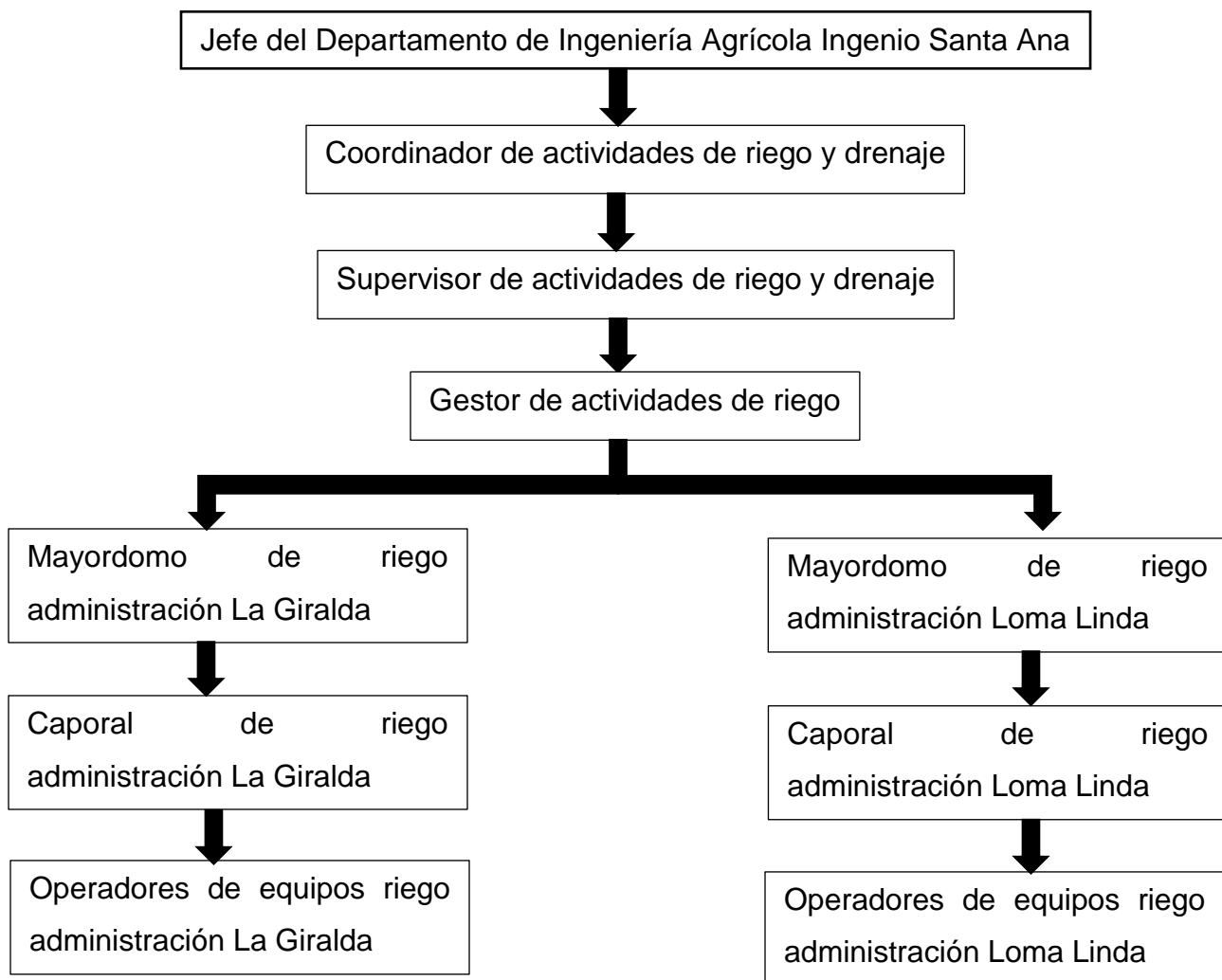
Los problemas encontrados se desarrollarán mediante la técnica de árboles de problemas, enfocándose en las causas y efectos de los mismos.

1.4.5 Jerarquización de problemas

Se utilizó una matriz de ponderación enfocándose en aspectos técnicos, utilización del recurso hídrico y aspecto económico. Cada problema fue evaluado con una nota máxima de 10 puntos del aspecto técnico, 10 puntos en la utilización del recurso hídrico y 10 puntos del aspecto técnico, para hacer un total de 30 puntos.

1.5 Resultados

La región cuatro del Ingenio Santa Ana cuenta con una extensión de 2,599.27 ha, divididas en 31 fincas productoras de caña de azúcar (Ingenio Santa Ana, 2017), distribuidas en dos administraciones, Loma Linda, la cual está ubicada en el municipio de La Gomera y La Giralda, ubicada en el municipio de San José. Las labores de riego son administradas conforme el organigrama mostrado en la figura 1.



Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017.

Figura 1. Organigrama de encargados de labores de riego y drenaje en el Ingenio Santa Ana.

1.5.1 Inventario general del equipo de riego de la región cuatro del Ingenio Santa Ana

Para facilitar el análisis e interpretación de datos, en la elaboración del inventario del equipo de riego se separó por sedes administrativas y por equipos de bombeo, que opera con cierta cantidad de accesorios, como se ve en la cuadro 1.

Cuadro 1. Inventario sintetizado de equipo de riego

Categoría – correlativo del equipo de bombeo	Llave de línea	Aspersor	Codo de 90 grados	Codo abrevávlula	Hidrante	Manguera de succión	Pichacha	Tapón	Tubo de aluminio	Flange de entrada	Flange de salida
Sede administrativa La Giralda											
269-0003	2	4	2	4	25	1	1	6	250	1	1
294-0042	2	3	1	4	20	1	1	5	180	1	1
394-0025	2	2	1	3	18	1	1	3	133	1	1
294-0057	2	4	0	4	19	1	1	4	180	1	1
294-0058	2	4	1	4	21	1	1	4	198	1	1
394-0027	2	2	2	2	18	1	1	5	140	1	1
294-0054	2	4	1	4	18	1	1	6	174	1	1
294-0173	4	4	1	3	15	1	1	4	122	1	1
294-0041	2	4	1	4	20	1	1	5	197	1	1
394-0003		2	1	4	16	1	1	4	118	1	1
294-0007	2	4	1	4	20	1	1	5	140	1	1
Sede administrativa Loma Linda											
394-0024	2	2	1	2	18	1	1	5	150	1	1
294-0153	4	4	1	4	20	1	1	4	200	1	1
394-0001	2	2	2	2	18	1	1	3	183	1	1
294-0055	4	4	1	4	20	1	1	5	200	1	1
294-0130	4	4	1	3	20	1	1	4	189	1	1
394-0002	2	2	1	2	18	1	1	3	150	1	1
5294-0001	4	4	1	4	20	1	1	4	176	1	1
294-0188	4	4	1	4	15	1	1	4	175	1	1
394-0004	2	2	1	2	15	1	1	3	149	1	1

Como se observa en el cuadro 1, la forma de distribución del equipo de riego toma como base un equipo de bombeo, a la cual se le asigna cierta cantidad de accesorios, entre los que se pueden mencionar la tubería, llaves de línea, codos, hidrantes, mangueras de succión, pichachas y tapones. La cantidad de accesorios depende de la capacidad del equipo de bombeo, teniendo como referencia una cantidad estándar de descarga de 400 gal/min para equipos con categoría de inventario 394, 800 gal/min para equipos con categorías de inventario 294 y 5294, y 1000 gal/min para equipos con categoría 269.

1.5.2 Referenciación geográfica de las fuentes de agua

Se contabilizó un total de 34 puntos de bombeo distribuidos en 11 fincas, los cuales quedan descritos en el cuadro 2, donde se puede observar la extracción de agua principalmente de pocetas, también conocidas como norias o reservorios, en ríos y en pozos artesanales.

Cuadro 2. Referenciación geográfica de puntos de bombeo

Administración	Finca	Punto de bombeo	Descripción	Georeferenciación	
				Latitud	Longitud
La Giralda	La Giralda	1	Poceta	13.98120	-90.93413
		2	Poceta	13.97267	-93531
		3	Poceta	13.96590	-90.92866
		4	Poceta	13.97193	-90.92476
		5	Río	13.97545	-90.92481
		6	Río	13.97859	-90.92489
		7	Poceta	13.98397	-90.92397
		8	Poceta	13.98953	-90.92483
		9	Río	13.99226	-90.91514
		10	Río	13.98810	-90.9155
		11	Pozo artesanal	13.97573	-90.91404
		12	Poceta	13.96977	-90.91741
		13	Poceta	13.96231	-90.91722
	Botón Blanco II	14	Río	13.99480	-90.8676
	La Floresta	15	Río	13.99480	-90.86755
	Santa Clara	16	Deriva	14.02909	-90.88385
		17	Poceta	14.02579	-90.88407
		18	Poceta	14.02547	-90.88422
		19	Poceta	14.02226	-90.88296
	El Bosque	20	Riachuelo	13.9339	-90.88215
		21	Riachuelo	13.92664	-90.88431
	22	Poceta	13.92156	-90.8856	
	Maria Deli	23	Río	13.92664	-90.88431
Loma Linda	El Esfuerzo La Gomera	24	Poceta	14.0855	-91.08344
	Argentina	24	Pozo artesanal	14.07356	-91.07295
	Loma Linda	26	Poceta	14.0328	-91.09266
		27	Poceta	14.03355	-91.08888
		28	Poceta	14.03286	-91.08211
		29	Poceta	14.02425	-91.08434
	Las Victorias	30	Poceta	14.0453	-91.10078
		31	Poceta	14.05562	-91.095
		32	Poceta	14.06139	-91.08771
		33	Poceta	14.05649	-91.08803
	Chapulco	34	Río	14.04213	-91.05312

1.5.3 Estudio de las fuentes de agua utilizadas

Se determinó el área abastecida por cada fuente de agua utilizada. En el cuadro 3 se presenta un listado de ríos donde se toma agua para el proceso de riego en la región cuatro. Dentro de las principales fuentes utilizadas están los ríos Achiguate, Maguelles y Cristalino en el municipio de San José y en los ríos Acome y Seco en el municipio de La Gomera. El volumen de extracción disminuye a medida que avanza la época seca, encontrando puntos críticos en los meses de marzo, abril y mayo, especialmente en los reservorios, lo cual se manifiesta en el secado de los mismos.

Cuadro 3. Extracción de agua de ríos en la región cuatro del Ingenio Santa Ana

Finca	Área abastecida (ha)	Río
Santa Clara	176.82	Achiguate y nacedero El Limo
Chapulco	94.26	Acome
El Recuerdo	126.29	Nacido Cristalino
Santa Teresa	60.43	Nacido Cristalino
La Giralda	640.81	Achiguate, Canal Las Guavinas
El Bosque	82.59	Maguelles
El Porvenir Valladares	33.06	Maguelles
Las Victorias	324.11	Seco
El Jazmín	34.42	Achiguate y Nacedero el Limo
La Fronda	188.29	Acome
Loma Linda	179.96	Acome

Fuente: Morales, 2018; Cárdenas, 2018.

Algunos de los caudales derivados de los ríos dentro de la región cuatro se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Volúmenes de agua derivados en algunas fincas de la región cuatro.

No.	Finca	Caudal derivado	Fuente
1	Loma Linda	0.12 m ³ /s	Rio Acome
2	Chapulco	0.65 m ³ /s	Rio Acome
3	La fronda	0.57 m ³ /s	Rio Acome
4	Santa Clara	0.27 m ³ /s	Rio Achiguate

Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017.

El tiempo de utilización de los caudales derivados de ríos es de aproximadamente 20 h/día para la época seca, el cual es la meta de operación diaria en los equipos de riego.

1.5.4 Problemática encontrada

Al analizar los sistemas de riego utilizados y la metodología de trabajo que se utilizó para operarlos se encontraron las siguientes limitantes, equipos en mal estado, falta de equipos de riego, escasez de agua, paro de labores por diferentes causas y la no utilización de aspectos técnicos para la operación de equipos de riego. Dichos problemas fueron analizados mediante la técnica de árbol de problemas, los cuales se muestran en las figuras 2, 3, 4, 5 y 6.

A. Equipo en mal estado.

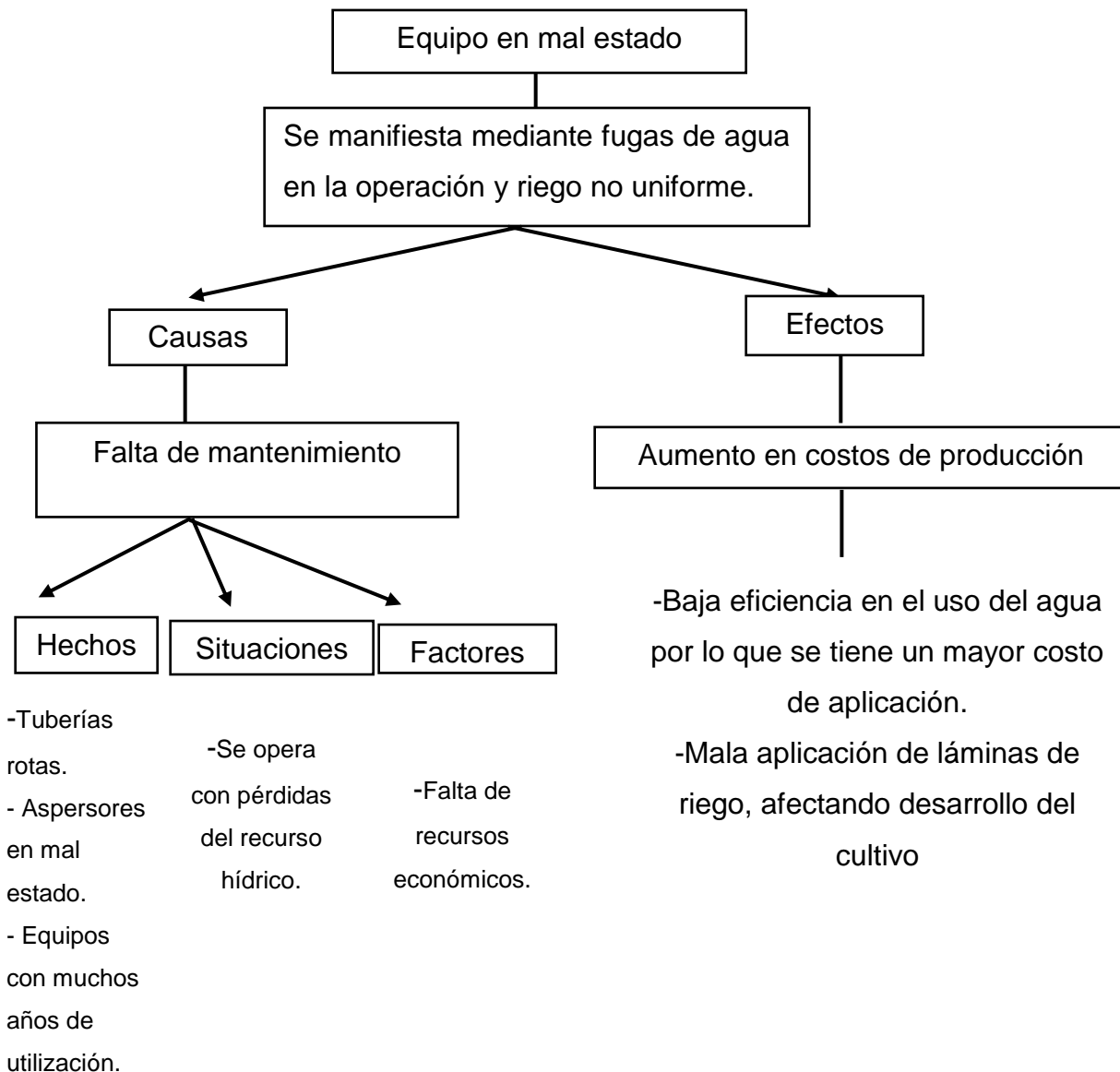


Figura 2. Árbol de problema para equipo en mal estado.

B. Escasez de equipos de riego.

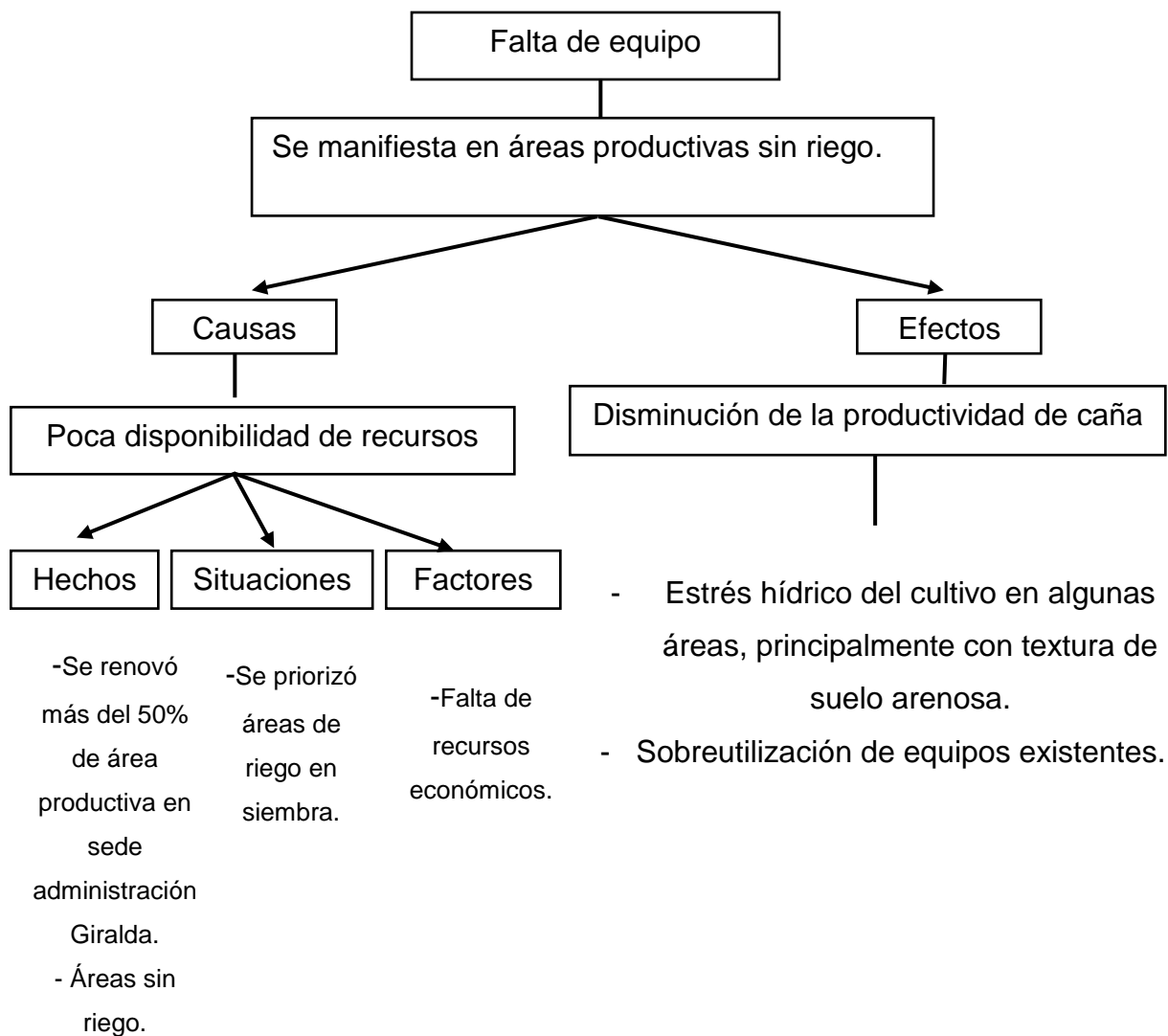


Figura 3. Árbol de problema para la falta de equipos de riego.

C. Escasez de agua para irrigación.

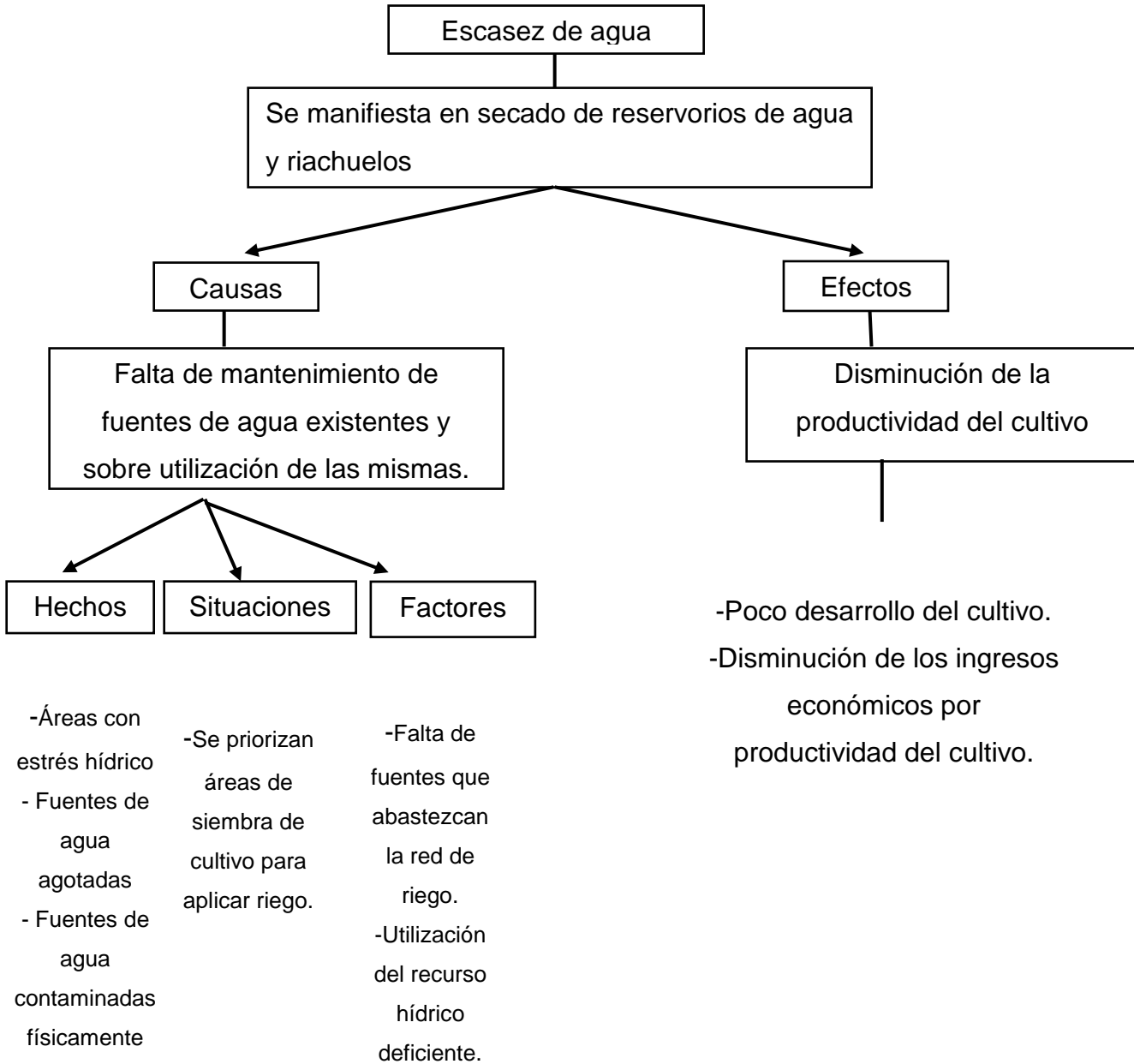


Figura 4. Árbol de problema para la escasez de agua.

D. Suspensión del riego.

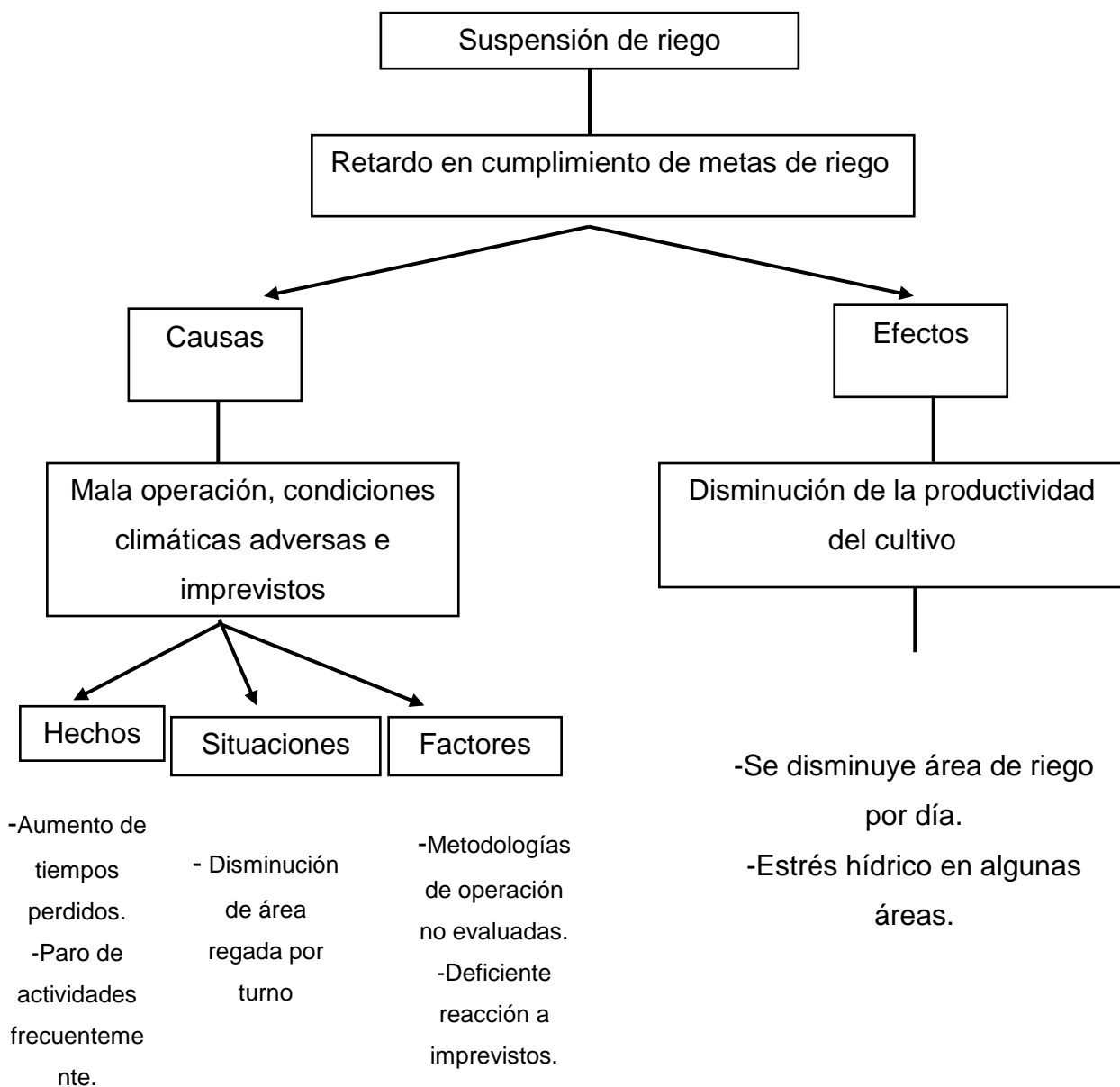


Figura 5. Árbol de problema para la suspensión de actividades de riego.

E. Aplicación de riego sin tomar en cuenta balance hídrico de plantas.

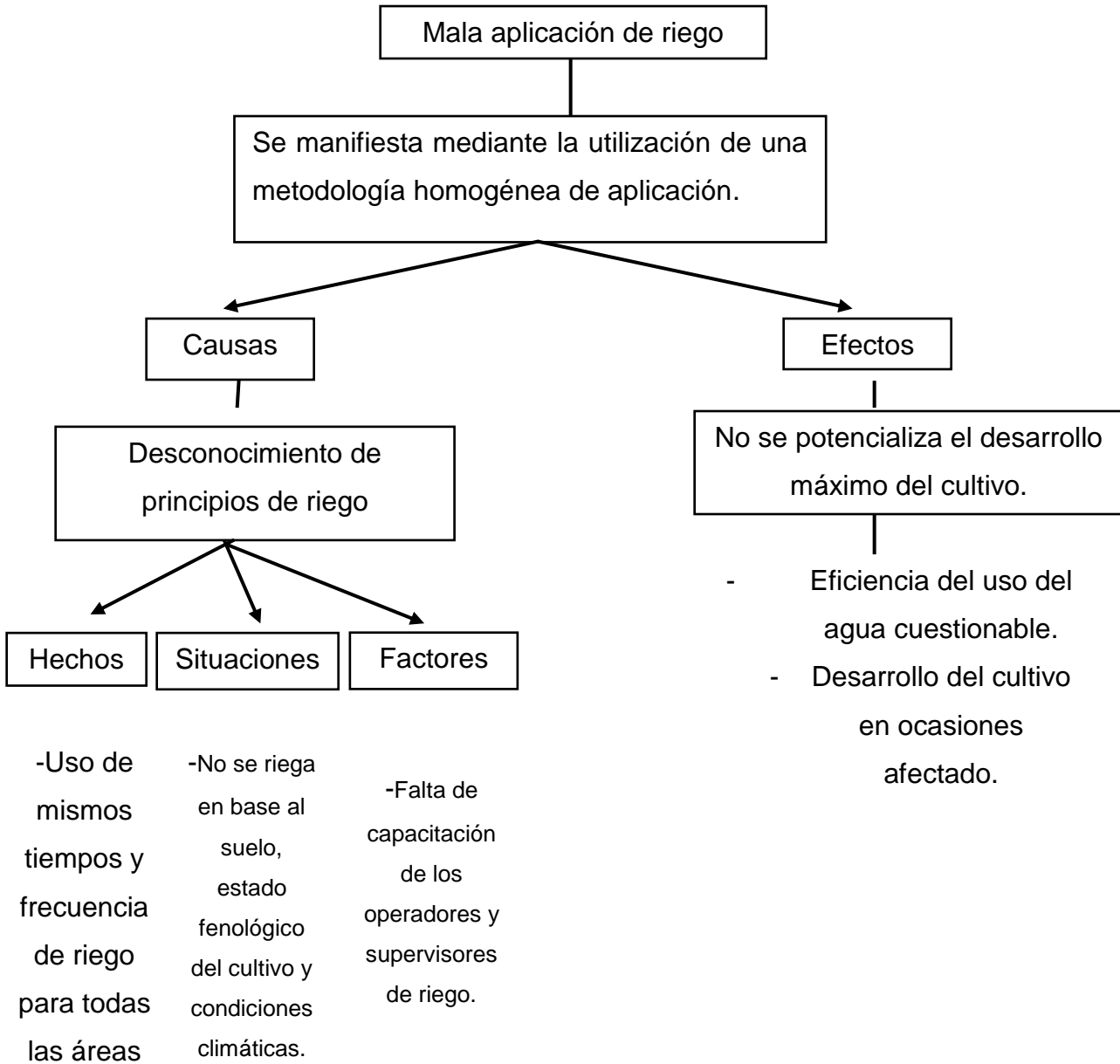


Figura 6. Árbol de problema para la no utilización del balance hídrico.

1.5.5 Jerarquización de problemas

Para jerarquizar problemas de acuerdo a su nivel de incidencia se utilizó una matriz de priorización mostrada en el cuadro 5. Cada calificación de cada aspecto estará dada sobre 10 puntos, para hacer un total de 30 puntos, el cual será el total en el que se basará la jerarquización de problemas.

Cuadro 5. Matriz de priorización.

Problema detectado	Aspecto técnico	Aspecto uso del agua	Aspecto económico	Punteo
Equipo en mal estado	9	8	8	25/30
Falta de equipo	6	7	6	19/30
Escasez de agua para riego	9	10	7	26/30
Suspensión de riego	8	8	10	26/30
No se utiliza balance hídrico	10	8	6	24/30

De acuerdo con la calificación dada, los problemas de suspensión de riego y escasez de agua son los problemas más incidentes, seguido por el problema del equipo en mal estado. Estos problemas deben ser tratados lo más antes posible para el aprovechamiento eficiente del agua y mejoramiento del proceso de riego.

Estos problemas reflejan la situación deficiente del proceso de irrigación en la región cuatro del Ingenio Santa Ana, por lo que se debe crear metodologías eficientes en la operación de equipos de riego, mejorar la eficiencia en la utilización del recurso hídrico y erradicar las causas de paros en las labores de riego.

1.6 Conclusiones

1. Existe baja disponibilidad de equipos de riego y en su mayoría, mal estado de los mismos, comprometiendo el óptimo desarrollo del cultivo.
2. Las fuentes de agua dentro de la región cuatro del Ingenio Santa Ana se componen de ríos, reservorios y pozos artesanales, que abastecen hasta 2,477 ha, lo que representa un 95.3 % del área productiva, teniendo en cuenta que es un riego de auxilio.
3. El volumen de utilización de agua varía de acuerdo a la fuente utilizada, utilizándose en mayor medida los reservorios, que abastecen un equipo de bombeo por cada uno y en ríos que permite una mayor utilización del recurso agua.
4. Dentro de las problemáticas encontradas se pueden mencionar la escasez y el mal estado de los equipos de riego utilizados, la frecuente suspensión de las actividades de riego y la falta de utilización de los aspectos de balance hídrico para determinación de tiempos de riego.

1.7 Recomendaciones

1. Se recomienda evaluar la viabilidad económica y técnica para aumentar el número de equipos de riego para satisfacer la demanda hídrica del cultivo.
2. Se recomienda darle mantenimiento a las fuentes de agua como reservorios, crear nuevas fuentes de agua ubicadas estratégicamente para facilitar la distribución de accesorios.
3. Se recomienda manejar de forma sustentable el recurso agua a través de la planificación de volúmenes de extracción de agua, la mejora de la eficiencia de aplicación de los equipos de riego existentes y la implementación de nuevos equipos más eficientes en el uso del recurso hídrico.
4. Se recomienda capacitar a los coordinadores y ejecutores de las labores de riego en temas de balance hídrico para hacer un proceso más eficiente.
5. Se recomienda mejorar las estrategias para la reducción de tiempos perdidos en la labor de riego.

1.8 Bibliografía

1. Cárdenas, M. 2017. Fuentes de agua y su utilización en la administración Loma Linda (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana, Departamento de Riegos.
2. Ingenio Santa Ana. 2019. Nuestros productos (en línea). Consultado 11 Nov. 2019. Disponible en https://www.santaana.com.gt/web/guest/productos?p_p_id=15&p_p_action=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=&p_p_col_pos=0&p_p_col_count=1&
3. Ingenio Santa Ana. Departamento de Ingeniería Agrícola, Guatemala. 2017. Descripción del área de riego. Escuintla, Guatemala.
4. Morales, M. 2017. Fuentes de agua y su utilización en la administración La Giralda. (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana, Departamento de Riegos.

 Rolando Barrios

1.9 Anexos



Figura 7A. Aspensor en mal estado operando en la región cuatro del ingenio Santa Ana.



Figura 8A. Tubería en mal estado utilizada para el proceso de riego.



Figura 9A. Área de cultivo de caña de azúcar con déficit hídrico causado por falta de equipos de riego para operar.



2.1 Presentación

Se realizó una investigación de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en la región cuatro del Ingenio Santa Ana durante la zafra 2016-2017, donde se logró realizar una caracterización de los equipos de riego, se determinó la magnitud en horas de las causas que generan los tiempos perdidos en riego por aspersión y se obtuvo un análisis de costos para los mismos para determinar el impacto económico de los tiempos no efectivos de riego.

La descripción de los equipos de riego por aspersión fue realizada recolectando información de marcas y modelos de los componentes de los equipos de bombeo, tubería y accesorios, además de realizarse un total de 12 pruebas de funcionamiento y capacidad operativa en los equipos utilizados.

Posteriormente se realizó la determinación de las causas de tiempos perdidos, las cuales van desde problemas de origen antropológico por la poca capacitación con que cuentan los operarios de riego, factores ambientales como la falta de agua, el viento y la lluvia, y estados de los equipos de riego. La información obtenida se sometió a un análisis de priorización mediante diagramas de Pareto para determinar las principales causas de tiempos perdidos, con el propósito de realizar un procedimiento para la reducción de tiempos perdidos de las principales causas de tiempo perdido evaluadas.

Con la investigación se logró determinar que para 23 equipos de riego por aspersión tipo cañón evaluados se perdió un total de 21,493 h en riego para la región cuatro del Ingenio Santa Ana en la zafra 2016-2017, significando un 42.94 % de las horas disponibles para ejecutar esta labor, teniendo un costo estimado Q. 1,302,562.56 significando un 20.18 % del valor total de la labor de riego por aspersión tipo cañón.

Por último se propusieron estrategias de operación de equipos de riego por aspersión en cuanto a tiempo de riego por turno, número de aspersores a trabajar por turno de riego, estrategias de reducción de tiempos perdidos en traslado de equipo de riego, además de estrategias de adaptación a fallas mecánicas y factores ambientales adversos.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Tiempos perdidos

El tiempo perdido en la producción hace referencia al tiempo que se utiliza de forma ineficaz y que conlleva al paro de labores por causas no programadas, lo cual incurre directamente en el aumento de costos mediante el retraso de actividades, además de ser un tiempo remunerado sin ser horas productivas para las empresas (Ojeda Ramírez et al., 2005).

Los tiempos perdidos pueden ser generados por causas antropológicas, es decir, el comportamiento de los trabajadores, por causas ambientales, siendo factores del medio ambiente que obligan a detener las labores, en el caso de riego por aspersión tipo cañón, factores como el viento y la falta de agua pueden afectar grandemente las labores (Ojeda Ramírez et al., 2005).

Cuando se trabaja con recurso humano y maquinaria, y en cualquier proceso en general, siempre existe la posibilidad de que ocurran fallas operacionales, pueden detener las labores por lo que se debe reconocer que existe una gran cantidad de tiempos perdidos o muertos, lo cual indica que existe una improductividad latente en cada proceso, la cual debe ser mejorada para avanzar en el desarrollo de las actividades, ya que el objetivo es que hayan cero fallos en la operación de cualquier proceso, aunque se sabe que es utópico, pues tarde o temprano ocurrirán paros en el proceso productivo por innumerables causas (González Fernández, 2005).

2.2.2 Riego por aspersión

El riego por aspersión es un método de riego que simula una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela, teniendo como objetivo que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae (Tarjuelo, 2005).

Los sistemas de riego por aspersión pueden ser convencionales, cuando se requiere de operadores para su funcionamiento y auto controlables, cuando se operan de forma mecanizada. Para el caso de los sistemas convencionales, existen de tres tipos: sistemas fijos, cuando las tuberías principales y laterales están enterradas, además de tener la unidad de bombeo fija; sistemas semifijos, cuando únicamente las tuberías principales están enterradas, mientras las tuberías laterales son móviles, y, sistemas móviles, cuando todo el sistema es móvil, incluyendo estación de bombeo, tuberías y aspersores (Pinto Rodríguez, 2016).

Todos los sistemas por aspersión utilizan dispositivos de emisión o descarga, en los que la presión disponible en el lateral induce el caudal de salida (Tarjuelo, 1991).

Los componentes para un sistema por aspersión móvil son los siguientes:

A. Unidad de bombeo

El equipo de bombeo proporciona la presión necesaria para poder asperjar el agua en el terreno. Las instalaciones del equipo de bombeo pueden ser fijas o móviles (Sandoval Illescas, 2007). La unidad de bombeo tiene dos funciones, siendo la primera de ellas la aspiración de agua desde el punto de suministro y la segunda la impulsión de la misma hacia todos los puntos de riego (Pinto, 2016).

B. Tuberías principales con hidrantes

Sirve para transportar el agua a presión desde el lugar de bombeo hasta el terreno donde cumple la función de alimentar las líneas laterales de distribución (Sandoval Illescas, 2007).

C. Tubería lateral

Son tuberías que tienen la función de distribuir el agua en las parcelas de riego. En ellas están colocados los elevadores que contienen a los aspersores (Sandoval Illescas, 2007). A cada riego realizado por una tubería lateral se le llama postura (Pinto Rodríguez, 2016).

D. Aspersor

Dispositivo encargado de lanzar el agua a la atmósfera en forma de gotas y distribuir el agua en el área de riego, teniendo en la mayoría de casos un movimiento giratorio (Pinto Rodríguez, 2016).

E. Tablero de control

Todos los equipos de bombeo cuentan con un tablero de control donde se revisan los estados de operación del motor. Dicho tablero cuenta con tacómetro de revoluciones por minuto del motor, medidor de temperatura, medidor de presión de aceite, interruptor de encendido y apagado.

2.2.3 Análisis de costos

Un costo es un recurso sacrificado o perdido para la obtención de un objetivo en específico, el cual se mide generalmente con una cantidad monetaria que debe pagarse por la adquisición de un bien o servicio. Los costos se consideran reales aquellos costos de los cuales no se tiene certeza de su aparición, en contraparte de los costos presupuestados, los cuales son aquellos que han sido previstos en la planificación de actividades (Horngren et al., 2007).

A. Contabilidad de costos

La contabilidad de costos hace está relacionada con la estimación de los costos, los métodos de asignación y la determinación de bienes y servicios (Cuevas Villegas, 2001). La contabilidad de costos también es definida como técnica de medición y análisis del resultado interno de una actividad empresarial, siendo una herramienta útil para los empresarios en el proceso de toma de decisiones (Rocafort Nicolau y Ferrer Grau, 2010).

B. Clasificación de costos

La característica principal de los costos es la relación que presenten con un objeto, por lo que se pueden identificar en costos directos, aquellos que se pueden identificar específica y exclusivamente con un objeto de costo dado de una manera económicamente factible, en contraste con los costos indirectos, los cuales no pueden identificarse de una manera económicamente factible (Jimenez Boulanger y Espinoza Gutierrez, 2007).

a. Costos directos

Son los costos que están directamente relacionados con una labor de producción de un bien o servicio. Entre estos se pueden mencionar los siguientes:

i. Mano de obra

De acuerdo con (Álvarez Cardona, 2004), cuando se trata de un operario de nómina, se deben incluir todos los valores que conforman el sueldo total en un periodo de tiempo específico, incluyendo el salario base, prestaciones legales y extralegales, bonificaciones, entre otros.

ii. Costos de mantenimiento

El mantenimiento preventivo consiste en una serie de operaciones que se hacen en la maquinaria para evitar que se produzcan daños en las piezas o para sustituirlas antes de fallar (Murillo García, 1987). Hace referencia a los costos de mantenimiento preventivo es decir a los insumos utilizados para el funcionamiento de los equipos, como aceites y grasas.

La vida útil de un equipo varía mucho de la intensidad de la utilización, el modo de utilización y el mantenimiento preventivo y correctivo que se realice, en términos generales se establece una vida útil de 10 años para maquinaria (Orbe, Gilberto y Plaza, 1988).

iii. Costos de reparación

Para el caso de tiempos perdidos generados por fallas, se generan costos de reparación o mantenimiento inoportuno, el cual además de generar pérdida de tiempo por demoras en solicitud de reparación y en la reparación misma (Álvarez Cardona, 2004). Estos costos se dan por el valor de las piezas de repuesto, la mano de obra utilizada para instalar las piezas de reemplazo y para acondicionar piezas como resultado del desgaste (Dávila Cárdenas, 2005).

iv. Alquiler de equipo

Se refiere a la erogación de una cantidad monetaria a casusa de la utilización de un bien o servicio cuya propiedad no es del ente que la utiliza.

b. Costos indirectos

Los costos indirectos comprenden los costos a causa de transporte de equipo de riego. El costo por transporte de cargas incluye el costo de mano de obra de conductor y auxiliares, además del costo de combustible, mantenimiento y reparación de la maquinaria utilizada. El costo está determinado por el costo unitario por hora laborada multiplicada por las horas laboradas en los casos de mano de obra, combustible y mantenimiento (Paez Castillo, 2012).

2.2.4 Diagrama de Pareto

De acuerdo con Soto (2006) el diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades. Mediante el diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves.

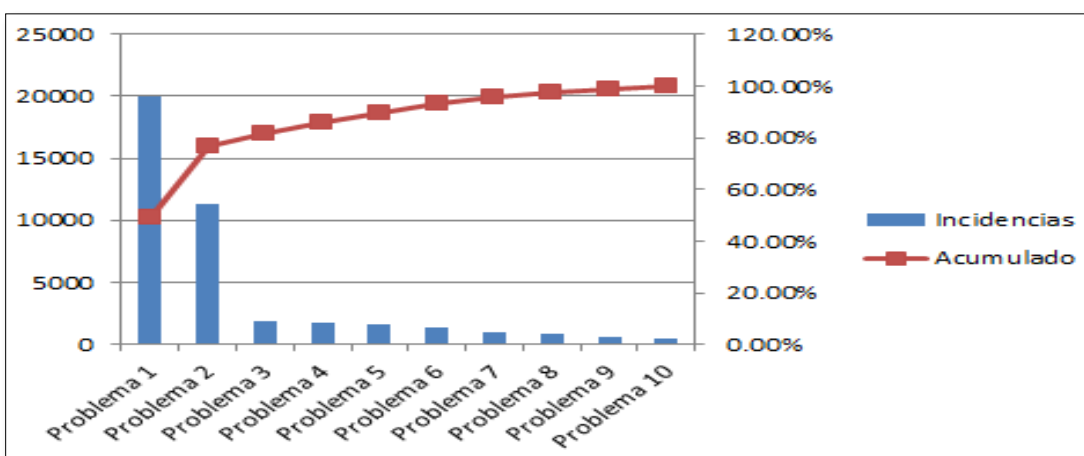
La gráfica es muy útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar acabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos (Soto, 2006).

Este principio es una buena guía al hacer un estudio de calidad, costos o competitividad, pues indica las medidas a tomar en primera instancia, los cuales es trabajar en los problemas que generan la mayor cantidad de pérdidas, por lo que problemas pequeños pueden ser dejados para resolverse después de resueltos los problemas con mayor afección (Mercado, 1991), además de ser muy útil en aplicaciones empresariales, en ámbitos de la gestión personal y la búsqueda de la eficacia (Soto, 2006).

Para la comprensión del diagrama de Pareto es muy importante analizar el de la distribución de la pérdida, lo que se refiere a que la mayoría de las pérdidas se deberán a unos pocos tipos de defectos y estos defectos pueden atribuirse a un número muy pequeño de causas (Kume, 2005).

Los diagramas de Pareto pueden ser diagramas de fenómenos cuando se presentan resultados indeseables y diagramas de causas donde se presentan las causas que originan los problemas en el funcionamiento de una empresa, y que permite hacer correcciones preventivas (Kume, 2005).

En la figura 10 se puede ver un esquema general de un diagrama de Pareto, el cual es un gráfico combinado que ordena los problemas, en este caso, las causas de tiempos perdidos en orden descendente en cuanto incidencia, para su priorización y enfoque.



Fuente: Ortiz, 2017.

Figura 10. Esquema general de un diagrama de Pareto.

Para construir un Diagrama de Pareto, de acuerdo con (Galgano, 1995) se deben realizar siete fases, las cuales son las siguientes:

- Decidir cómo clasificar los datos.
- Elegir el periodo de observación del fenómeno.
- Obtener los datos y ordenarlos.
- Preparar los ejes cartesianos del diagrama.
- Diseñar el diagrama.
- Construir la línea acumulada: la línea de frecuencia acumulada se traza desde el punto $X, Y = 0$ de la gráfica de tal manera de sumar las frecuencias reales.
- Añadir informaciones básicas: En esta fase se deben añadir datos fundamentales para la comprensión del gráfico como el título, nombre del colector de datos, fecha, periodo analizado y unas breves notas.

2.2.5 Trabajos realizados sobre tiempos perdidos en riego

En Guatemala se han realizado pocos estudios de tiempos perdidos en labores de riego. Uno de estos trabajos fue realizado por (Barneond Azurdia, 2011) en el Ingenio Magdalena en sistemas de riego por aspersión tipo cañón, determinando que las principales causas generadoras de tiempos perdidos fueron, la instalación de equipos de riego, fallas mecánicas, falta de área, traslado de maquinaria y falta de transporte.

Otro trabajo realizado para estudiar tiempos perdidos en riego fue realizado por (Fuentes, 2007), en el cuál se hizo un estudio comparativo en sistemas de riego mecanizado de avance frontal pivoteable y no pivoteable en el Ingenio Concepción, donde determinó que las principales causas de tiempos perdidos en sistema de riego por pivote central móvil fueron desperfectos mecánicos, fallas en generador, instalación de los equipos, falta de área, falta de agua y maquinaria para movimiento, mientras que en los sistemas de riego tipo avance frontal, las causas de tiempos perdidos más comunes fueron la falla de la estructura, limpieza del canal, contaminación de la fuente de agua y fallas mecánicas.

Los estudios sobre tiempos perdidos se han realizado en la mayoría de los campos de la industria de la manufactura con la finalidad de aumentar la eficiencia de las labores productivas mediante el máximo aprovechamiento del tiempo posible. Este tipo de estudios permiten elaborar estrategias mediante la identificación de los principales problemas que aquejan la producción de X producto y la reducción de éstos.

2.3 Marco referencial

La región cuatro del Ingenio Santa Ana cuenta con una extensión de 2,599.27 ha, divididas en 31 fincas productoras de caña de azúcar ubicadas en los municipios de La Gomera y San José, departamento de Escuintla. Las fincas pertenecientes a esta región se muestran en el cuadro 6.

Las fincas están agrupadas en dos administraciones, la primera de ellas la administración La Giralda, ubicada en el municipio de San José cuenta con 1,646.70 ha, de las cuales el 93.84 % del área cuenta con riego, la mayoría del mismo por aspersión tipo cañón. Para el caso de la administración Loma Linda, ubicada en el municipio de La Gomera, cuenta con 931.80 ha, de las cuales el 97.80 % recibe riego, de la misma manera con riego por aspersión tipo cañón como sistema de riego predominante.

Cuadro 6. Fincas pertenecientes a la región cuatro del Ingenio Santa Ana.

Administración	No.	Nombre Finca	Área (ha)	Área bajo riego (ha)
La Giralda	1	Botón Blanco II	84.47	84.47
	2	Santa Clara	173.54	173.54
	3	El Sacramento	104.64	104.64
	4	El Jazmín	36.55	36.55
	5	María Deli	17.33	17.33
	6	El Relicario (San José)	30.64	0.00
	7	El Porvenir Valladares	28.25	28.25
	8	El Prado	48.47	48.47
	9	El Bosque	81.40	81.40
	10	La Giralda	698.24	698.24
	11	La Perla	20.55	20.55
	12	Botón Blanco	22.45	0.00
	13	El Recuerdo	129.10	129.10
	14	Santa Teresa (Pto. San José)	55.27	55.27
	15	Las Morenas	30.19	30.19
	16	Floresta	37.27	37.27
	17	Carlos Amaya	11.84	0.00
	18	Luis Walters (Santa Isabel)	13.66	0.00
	19	Elba Godoy	5.21	0.00
	20	Lorena María	4.80	0.00
	21	Telma Godoy	10.05	0.00
	22	Byron Rosales	2.77	0.00
Loma Linda	23	Argentina	21.07	21.07
	24	La Fronda	184.09	184.09
	25	Loma Linda	180.95	180.95
	26	Las Victorias	340.52	340.52
	27	El Relicario La Gomera	16.32	16.32
	28	Chapulco	93.73	93.73
	29	El Triunfo	55.87	55.87
	30	El Esfuerzo	39.28	39.28
	31	El Tesoro	20.75	0.00
Áreas totales			2,599.27	2,477.1

Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017b.

Dentro de la región cuatro del Ingenio Santa Ana existen tres sistemas de riego por aspersión, los cuales se pueden visualizar en el cuadro 7. Los sistemas de riego por aspersión empleados incluyen sistemas de riego tipo cañón que cubren un 86.36 % de los equipos, mini-aspersión con un 9.09 % y tipo mecanizado tipo pivote central con un 4.55 % de los mismos. Con estos sistemas se riega un total de 2477.10 ha que representan un total de 95.3 % de área total a la que se le aplica riego, aunque se aplica riego de subsistencia.

Cuadro 7. Distribución de áreas de riego por tipo de sistema utilizado.

Tipo sistema de riego	Área (ha)
Aspersión tipo cañón	2100.28
Mini-aspersión	212.28
Pivote Central	164.54
Área total bajo riego	2477.10

Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017a.

2.3.1 Condiciones climáticas

Los datos de las condiciones climáticas de la región cuatro fueron extraídos de la estación meteorológica La Giralda, de la cadena de estaciones meteorológicas del Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático –ICC- teniendo como datos generales un promedio de temperatura de 26.62 °C, una precipitación pluvial mensual de 0 mm – 50 mm en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre, mientras que en la época lluviosa se tiene una precipitación pluvial de aproximadamente 300 mm - 400 mm en los meses de mayor incidencia.

En la figura 11 se presenta el comportamiento de la precipitación pluvial, respecto de la evapotranspiración, donde se puede observar demanda de riego, es decir un valor de evapotranspiración mayor a la precipitación pluvial en los meses de enero a mayo y en septiembre, este último por la presencia de canícula. Para calcular el valor de la evapotranspiración se utilizó el método PENMAN MONTHEIT.

Cuadro 8. Descripción de reservorios de la región cuatro del ingenio Santa Ana.

Georeferenciación (grados decimales)		Ubicación de reservorio	Altitud (m s.n.m.)	Prof. (m)	Fecha de extracción		Extracción (h/día)
Latitud	Longitud	Finca			Inicio	Final	
-91.070755	14.004667	La Fronda	13	8	15-nov	15-may	6- 18
-91.082182	14.032743	Loma Linda	15	6	15-nov	15-may	8- 18
-91.068344	13.997647	La Fronda	8	8	15-nov	15-may	5- 18
-91.065159	14.004662	La Fronda	11	8	15-nov	15-may	6- 18
-91.069192	14.001418	La Fronda	11	8	15-nov	15-may	6. 18
-90.874923	14.026317	Santa Clara	26	7	20-nov	15-may	10- 18
-90.883377	14.02222	Santa Clara	24	7	20-nov	15-may	8-18
-90.884253	14.025996	Santa Clara	26	7	20-nov	15-may	8-18
-90.90297	13.992	El Prado	19	8	1-dic	15-may	6-18
-90.918543	13.99097	La Giralda	19	8	1-dic	15-may	10-18
-90.934681	13.981129	La Giralda	15	8	1-dic	15-may	10-18
-90.928666	13.965722	La Giralda	10	8	1-dic	15-may	8-18
-90.934263	13.972308	La Giralda	12	8	1-dic	15-may	8-18
-90.867635	13.994951	Botón Blanco II	17	7	1-dic	15-may	6-18
-90.919314	13.973947	La Giralda	13	8	1-dic	15-may	6-18
-91.084262	14.024242	Loma Linda	12	6	15-nov	15-may	6-18
-91.088854	14.033502	Loma Linda	16	6	15-nov	15-may	6-18
-91.092566	14.032918	Loma Linda	15	6	15-nov	15-may	6-18
-91.088147	14.056521	Las Victorias	21	6	15-nov	15-may	6-18
-91.09502	14.055705	Las Victorias	21	6	15-nov	15-may	6-18
-91.087658	14.061507	Las Victorias	22	6	15-nov	15-may	6-18
-91.100615	14.045157	Las Victorias	18	6	15-nov	15-may	8-18
-91.083339	14.08539	El Esfuerzo La Gomera	31	6	15-nov	15-may	6-18

Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017a.

Para el caso de extracción de ríos y riachuelos, se cuentan con varios puntos de bombeo instalados en algunas cuencas presentes dentro del área productiva, siendo estas las que se muestran en el cuadro 9.

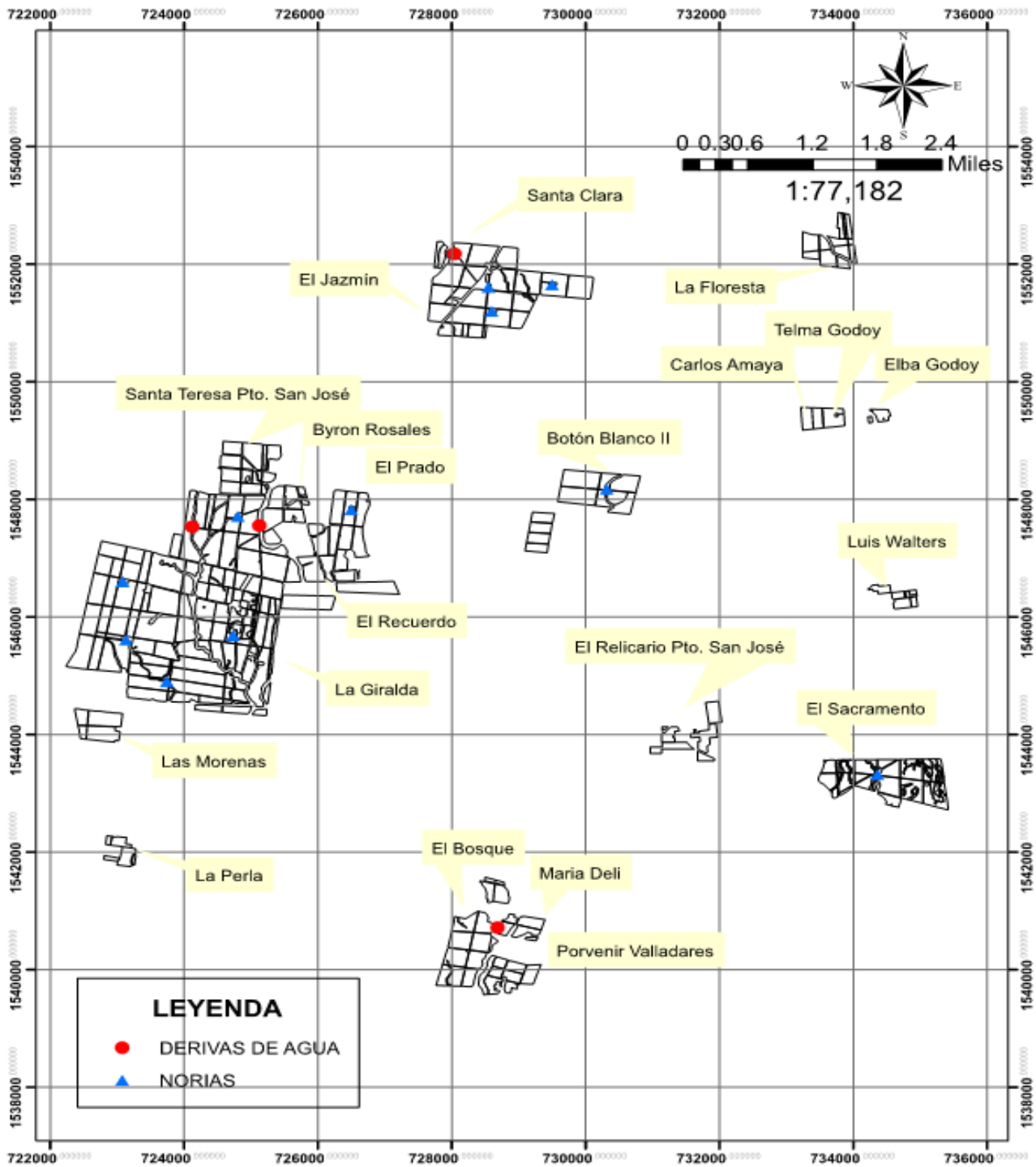
Cuadro 9. Descripción de puntos de bombeo ubicados en cuencas dentro de la región cuatro.

Cuenca	Latitud	Longitud	Fecha inicial extracción	Fecha final de extracción	Extracción (h/día)
Achiguate	13.927707	-90.883521	1-dic	15-may	8-18
Achiguate	14.031915	-90.888898	1-dic	15-may	8-18
Achiguate	13.989696	-90.915897	15-dic	15-may	8-18
Acome	14.044042	-91.053651	20-nov	15-may	8-18
Achiguate	13.927707	-90.883521	1-dic	15-may	8-18
Acome	14.058803	-91.102776	15-nov	15-may	8-18
Achiguate	13.989696	-90.915897	15-dic	15-may	8-18
Acome	14.019574	-91.06933	20-nov	15-may	8-18
Acome	14.036086	-91.082364	20-nov	15-may	8-18
Achiguate	14.031915	-90.888898	15-nov	15-may	8-18
Achiguate	13.988693	-90.924914	1-dic	15-may	8-18

Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017a.

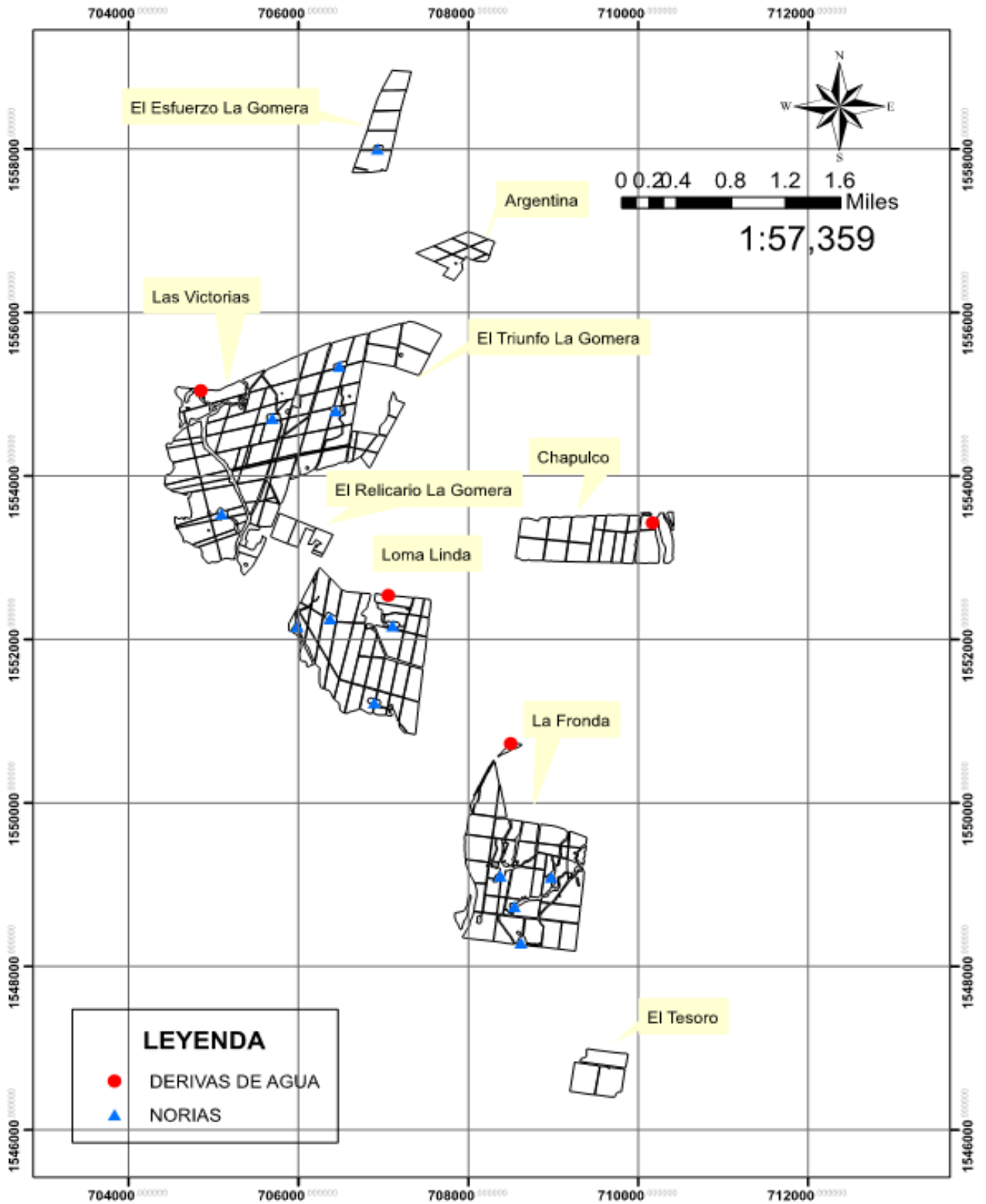
En las figuras 12 y 13 se puede visualizar la representación gráfica de las fuentes de agua dentro de la región cuatro del Ingenio Santa Ana separadas por administración y por tipo, es decir, reservorios y tomas de ríos.

Algunas fuentes de ríos son monitoreadas para no sobre explotar el recurso para fines de riego, por lo que el Instituto Privado para el Cambio Climático –ICC- realiza constantes aforos para regular el uso del agua. Los ríos monitoreados son los afluentes principales de la cuenca Achiguate y Acome.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 12. Fuentes de agua en administración La Giralda, San José, Esquintla.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 13. Fuentes de agua administración Loma Linda, La Gomera, Escuintla.

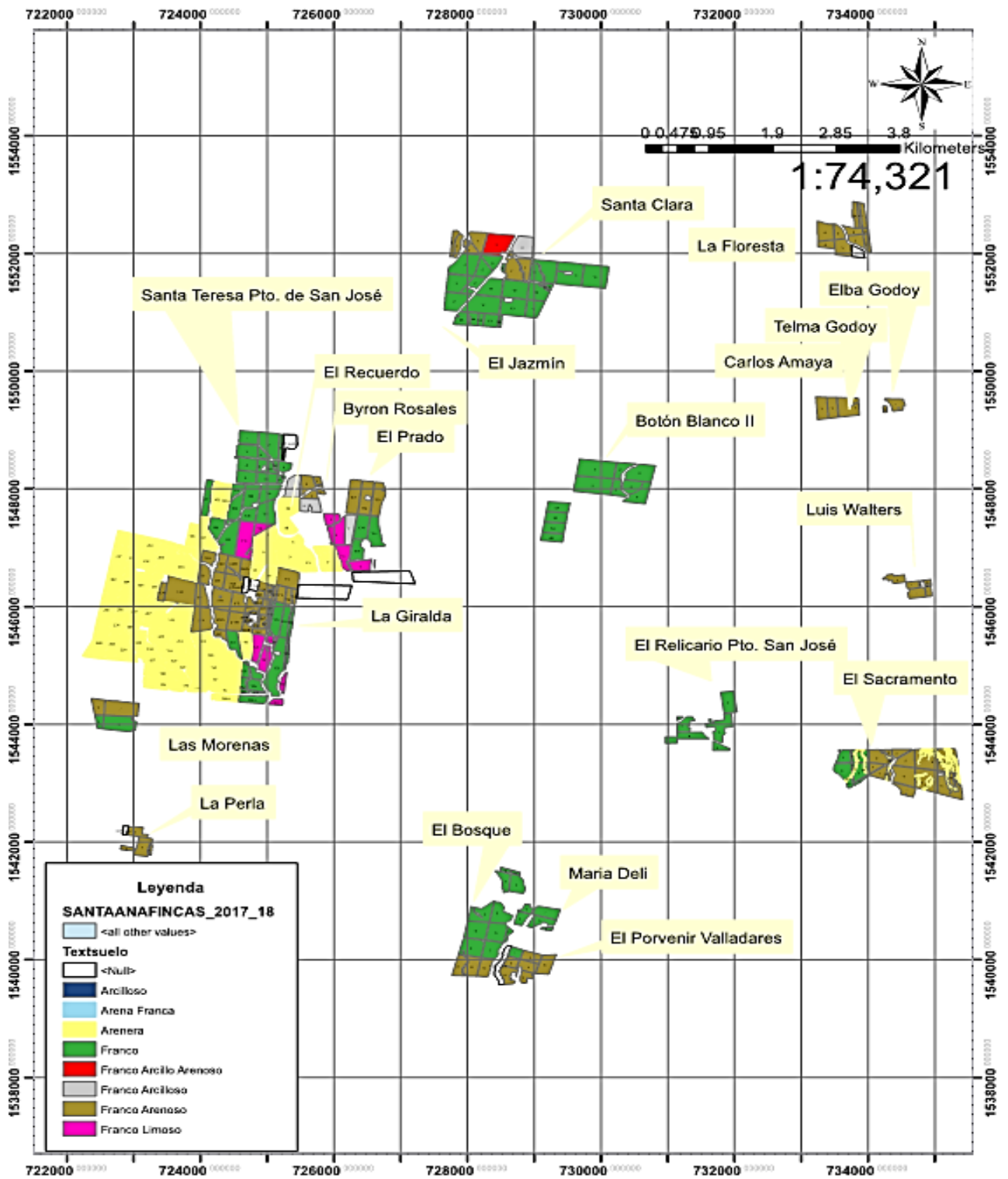
2.3.3 Textura de suelos

Información recopilada de análisis de suelos de características físicas realizados por lote en las fincas de la región cuatro del Ingenio Santa Ana, en donde se determinó las texturas de los mismos, parámetro indispensable para el diseño y operación de sistemas de riego. En las figuras 14 y 15 se muestra la representación gráfica de las clases texturales.

De forma general se puede visualizar que las texturas de mayor predominancia dentro del área de estudio son la franca y franca arenosa. En los cuadros 37A y 38A se puede ver detalle las texturas por lote del área de estudio.

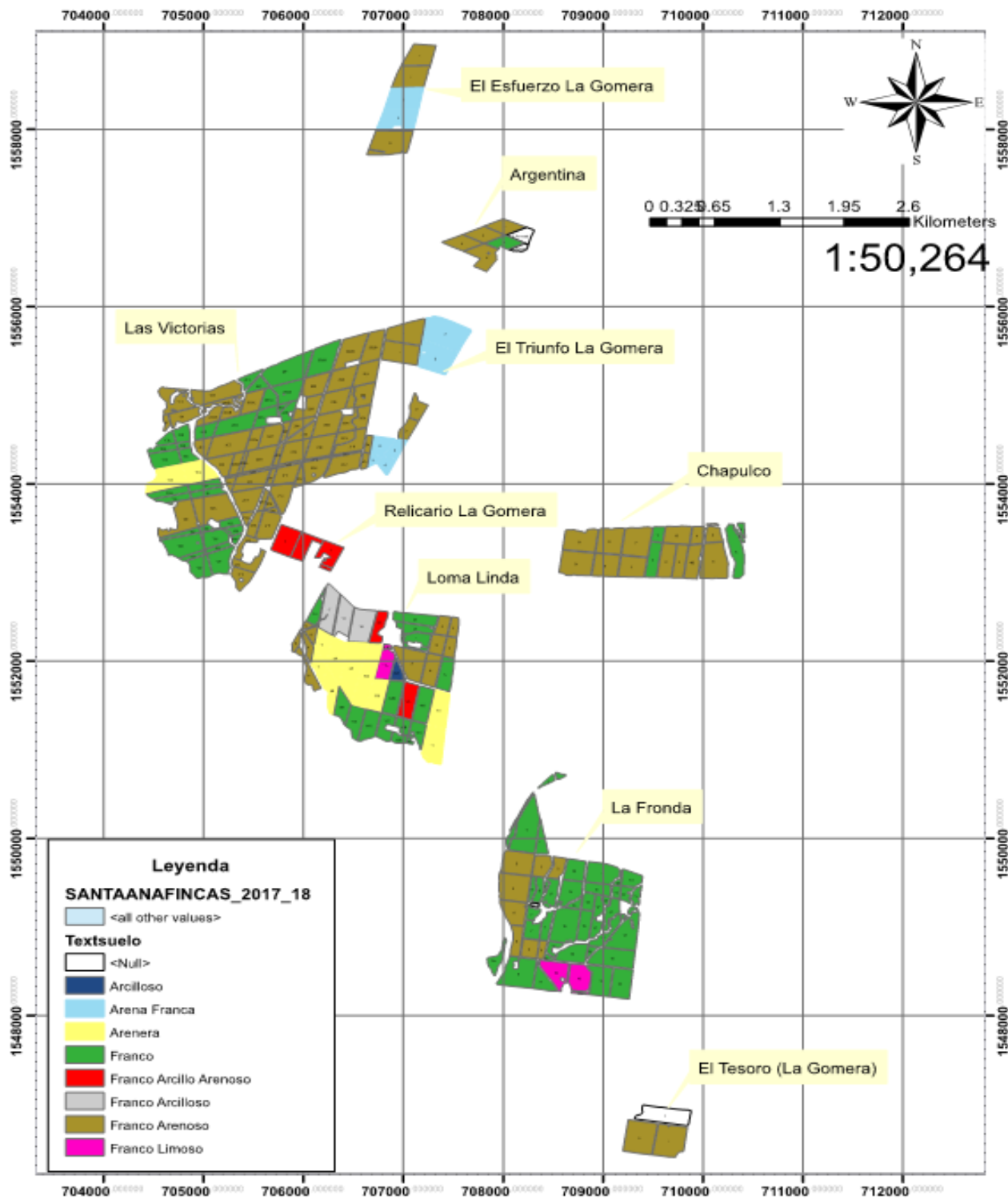
El método de determinación de las texturas de suelos por lote fue mediante la recolección histórica de análisis de suelos realizados en CENGICAÑA en el año 2016 y la asignación por aproximación de los lotes en donde no se tenía análisis previo. Dicho proceso fue realizado en el software ArcMap 10[®].

Con una textura de suelos predominantemente arenosa y franco arenosa se debe brindar un manejo de riego con frecuencias de riego cortas y tiempos de riego a aplicar dados por diseño agronómico para riegos (cuadros 39A al 44A), los cuales son más cortos en comparación a las demás clases texturales.



Fuente: elaboración propia con datos de CENGICAÑA, 2017.

Figura 14. Textura de suelo por lote en administración La Giralda.



Fuente: elaboración propia con datos de CENGICAÑA, 2017

Figura 15. Textura de suelos por lote administración Loma Linda.

2.3.4 Equipos de riego utilizados en la región cuatro del Ingenio Santa Ana

Los componentes de los equipos de bombeo de riego son: el motor, la bomba centrífuga, tuberías, aspersores y demás accesorios como hidrantes, llaves de línea, entre otros.

A. Equipos de bombeo

Los equipos de bombeo se clasifican en las siguientes categorías en el sistema de inventarios del Ingenio Santa Ana, tomando como bases sus características de potencia y pertenencia de los equipos. Las categorías de equipos de bombeo para aspersión existente en la región cuatro son las siguientes:

a. Equipos de mediana capacidad (categoría 294 en inventario interno)

Son equipos de riego por aspersión con un caudal promedio de descarga de 800 gal/min, con una potencia estimada de 80 Hp a 100 Hp. Generalmente están conformados por un motor John Deere de modelo 4045TF250 (figura 33A) y una bomba centrífuga que varía en marcas y modelos, estando en un rango de descarga promedio de 800 gal/min – 1,000 gal/min.

b. Equipos de baja capacidad (categoría 394 en inventario interno)

Son equipos de bombeo riego por aspersión con un caudal estándar de 400 gal/min con una potencia estimada de 60 Hp a 80 Hp. Usualmente estos equipos están formados por motores John Deere modelo 3029TF129 (figura 34A) con bombas centrífugas de diferentes marcas y modelos.

c. Equipos de mediana capacidad rentados (categoría 5294 en inventario interno)

Son equipos de riego por aspersión con un caudal promedio de descarga de 800 gal/min, con una potencia estimada de 80 Hp-100 Hp. La propiedad de estos equipos es ajena al Ingenio Santa Ana, por lo que se paga renta por su utilización. El equipo dentro de la región cuatro de esta categoría cuenta con un motor marca Jonh Deere de modelo 4045TF250 y una bomba centrífuga marca Caprari de modelo MEC-A5/100.

d. Equipos de alta capacidad (categoría 269 en inventario interno)

Esta categoría tiene un caudal estándar de descarga de 800 gal/min a 1,100 gal/min, utilizando gas propano como combustible. El equipo está compuesto por una bomba centrífuga marca Cornell de modelo 4HH-EM16.

B. Tuberías utilizadas

En las tuberías de conducción principal se utilizan tuberías de 6 in de diámetro de aluminio distribuidas por las casas comerciales nacionales, al igual que en para las tuberías laterales o ramales se utilizan tuberías de 6 in y 5 in. La longitud de las tuberías es de 9 m, con un calibre de 100 PSI.

C. Aspersores utilizados

Para sistemas de riego por aspersión tipo cañón, en la región cuatro se utilizan los siguientes tipos de aspersores:

a. Aspersores Nelson, modelos F100, F150 y F200

Estos aspersores trabajan con alta presión, son de giro lento y tienen un mecanismo de giro de choque. Actualmente se manejan varias series de este tipo de aspersores dentro de las que se pueden mencionar Nelson serie 100, serie 150 y serie 200 (Nelson Irrigation, 2018). A medida que aumenta el número de serie, así lo hace los requerimientos de presión de trabajo de los mismos además de aumentar el caudal de descarga y el diámetro de mojado como se puede observar en los cuadros 33A, 34A y 35A.

b. Aspersores Komet Twin 101

Estos aspersores tienen mecanismos de giro por choque y de giro semi lento. en comparación con otros aspersores tipo cañón, éstos tienen requerimientos de caudal y presión más bajos por lo que se hacen muy convenientes para utilizarlos cuando existen problemas de tuberías largas, cargas estáticas altas, entre otros (Komet Irrigation, 2017). El caudal de descarga ronda desde los 10 L/s hasta los 15 L/s, como se puede observar en el cuadro 32A.

c. Aspersores Mariner

Es un tipo de aspersor sectorial de giro lento, diseñado para trabajar con altas presiones, con giro de velocidad constante, pudiendo ser vuelta completa o por sectores. Este aspersor está provisto de toberas intercambiables y de un quiebrachorro que se puede regular a interferencia fija o intermitente (SIME, 2017). Las características de descarga y diámetro de mojado de este tipo de aspersores puede ser verificado en el cuadro 36A.

2.3.5 Operación de los equipos de riego por aspersión

La operación de los sistemas de riego por aspersión y demás sistemas de riego, es generalmente de manera uniforme en cuanto a tiempos de riego. Los equipos de las categorías de inventario 294 y 5294 (equipos de mediana capacidad) se operan con dos aspersores funcionando y dos aspersores utilizados como desfogue para realizar los cambios de turno de riego. Los equipos baja capacidad y alta capacidad se operan con uno y cuatro aspersores, respectivamente.

Para la operación de los equipos de categorías de inventario 294, 394 y 5294 se cuenta con el operador del equipo de bombeo y un ayudante de labores, mientras que en el equipo de categoría 269 existen dos ayudantes del operador del equipo de riego, debido a un número mayor de aspersores en funcionamiento.

Las actividades de programación de labores de riego está a cargo del mayordomo de labores de riego, habiendo una persona que desempeña este cargo en cada administración de la región cuatro, el cual, junto a los caporales de riego, son los encargados de recorrer la zona para ver áreas de necesidad hídrica, realizar la distribución de equipos en campo y evaluar los avances diarios en dicha labor.

Debido a que no se cuenta con un diseño de riego establecido se ha uniformizado el tiempo de riego por evento de riego a 3 h en el primer riego con una frecuencia de riego de 1 día después de la siembra, y 2 h en el segundo riego y en los riegos consecuentes teniendo una frecuencia de riego de 10 días – 15 días.

La cantidad de equipos de riego no son suficientes para cubrir el área productiva por lo que los mismos se mueven en diferentes bloques de riego, lo que significa una gran cantidad de traslados, los cuales tienen un tiempo aproximado de 12 h en la instalación del equipo. Los traslados conllevan el movimiento de una fuente de agua hacia otra, la cual puede estar dentro de una misma finca u otra.

2.3.6 Causas de tiempos perdidos

Las causas de tiempos perdidos documentadas en el sistema de registro son las siguientes:

A. Falta de agua

Se refiere al paro de equipos de riego debido a la disminución del nivel de los cuerpos de agua, los cuales no permitan su extracción. Las fuentes comunes de agua utilizadas son reservorios, ríos, derivas de ríos y pozos artesanales.

B. Falta de materiales y repuestos

Esta causa se refiere a la falta de accesorios y repuestos que interrumpen el funcionamiento de los equipos de riego por lo cual obligan a su detención. Dichos materiales comprenden desde los empaques hasta hidrantes, codos abre válvulas, llaves lineales, aspersores, filtros de admisión, entre otros.

C. Problemas de succión

Estos problemas se dan cuando el equipo de riego no puede succionar volúmenes de agua, generalmente por entradas de aire en la manguera de succión y en el flange de entrada de agua al equipo de bombeo.

D. Problemas con tubería

Se refiere a desperfectos que pueden surgir en la tubería de conducción como pinchaduras, rajaduras, rotura de empaques, entre otros, que ameritan un paro en las labores de riego hasta que dicho desperfecto sea arreglado.

E. Taponeo de pichacha

Se refiere a la interferencia en la succión de agua producto de un taponeo por contaminantes físicos que se encuentren en la fuente de agua como el caso de hojas, ramas, lodo, entre otros. La calidad física de las fuentes de agua para la región en estudio es buena, aunque se generan problemas de succión en algunos casos por el descuido de los operarios de riego. Para disminuir este problema además de la pichacha se utiliza un filtro externo a ella para obstruir el paso de contaminantes físicos.

F. Traslado de equipo de riego

Hace referencia al movimiento de tubería y equipo de bombeo dentro de un bloque de riego y movimiento hacia otro bloque de riego dentro o fuera de una finca en específico. Debido a la escasez de equipos de riego la frecuencia de los traslados de equipos de riego es alta porque se mueven los equipos a distintas fincas con la finalidad de mantener el cultivo en buenas condiciones.

G. Limpieza de implemento

La limpieza del equipo de riego contempla actividades de eliminación de residuos de grasa y demás contaminantes del equipo y el área de trabajo. Dicha limpieza se realiza para conservar un buen estado del equipo desde el punto de vista mecánico y estético.

H. Falla mecánica del equipo de bombeo

Una de las causas más comunes de los tiempos perdidos son las fallas mecánicas que engloban una larga lista de desperfectos que pueden ocurrir en el equipo de bombeo, el cual está comprendido por el motor y la bomba centrífuga. Existe un equipo de tres mecánicos encargados de resolver las fallas de este tipo que se presenten, siendo ellas un mecánico general, un soldador y un electromecánico. La llamada de alerta de fallas mecánicas es que vía radio comunicador y se programan las visitas para hacer los mantenimientos correctivos. El tiempo varía de acuerdo a la magnitud del desperfecto y disponibilidad de piezas para la reparación.

Los equipos de bombeo por su constante utilización, la cual es en promedio de 20 h diarias en la época seca, se degradan fácilmente con el uso, generándose fallas mecánicas de todo tipo en los motores y bombas centrífugas, de acuerdo con testimonios de las personas encargadas de las reparaciones y mayordomos de riego, las fallas mecánicas más comunes son las que se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Principales fallas mecánicas en equipos de bombeo.

Tipo de falla	Ubicación	Paro total
Fallas en sistema eléctrico	Motor	Si
Problemas de arranque	Motor	Si
Falla en tacómetro de revoluciones por minuto	Motor	No
Falla horómetro	Motor	No
Falla en luces	Motor	No
Problemas en el sistema de inyección	Motor	Si
Filtros sucios	Motor	Si
Fugas de combustible	Motor	No
Fugas de aceite	Motor	Si
No nivelación de aceite de motor	Motor	No
Calentamiento	Motor	Si
No calibración de estopas	Bomba centrífuga	No
Ruptura del flex en el eje cardán	Bomba centrífuga	Si
Fugas en flange de entrada y de salida	Bomba centrífuga	Si
Rotura de empaques en flange de entrada	Bomba centrífuga	Si

Fuente: Morales, 2018.

I. Mantenimiento diario

En el mantenimiento diario se realiza supervisión y regulación de insumos en los equipos de bombeo para su correcto funcionamiento. Comprende actividades como la nivelación de aceite, en el caso que el nivel de éste disminuya, ajuste de tuercas y tornillos, ajuste de agua en el radiador, entre otros.

J. Mantenimiento preventivo

Son los servicios de mantenimiento que se les dan a los equipos de bombeo, para la prevención de fallas mecánicas.

En el Ingenio Santa Ana se lleva una metodología de aplicación de mantenimientos preventivos a los equipos de bombeo, el cual se realiza en base a las horas laboradas, las cuales se describen en el cuadro 11. Los cuatro servicios descritos, M1, M2, M3 y M4, nombrados así por la codificación del ingenio son realizados cíclicamente en periodos específicos.

Cuadro 11. Mantenimiento preventivo de equipos de riego

Tipo de servicio	Labores realizadas	Frecuencia
De aceites (M1)	Cambio de aceite de motor y filtro de diésel	250 h
De aceites y filtro (M2)	Cambio de aceite de motor, filtro de diésel y filtro de aceite.	500 h
De aceites (M3)	Cambio de aceite de motor y filtro de diésel.	750 h
De aceites y filtros (M4)	Cambio de aceite, filtro de diésel, filtro de aceite y filtro de admisión.	1,000 h

Fuente: Morales, 2017.

Para el caso de las tuberías, las reparaciones son realizadas en el periodo de reparación (junio a octubre de cada año). Dichas reparaciones consisten el realizar correcciones de pinchaduras mediante soldaduras, además de cortes realizados en partes deformes de los tubos. En el caso de motores, en el periodo de reparación también son sometidos a reparaciones según el desgaste del motor, por lo que a unos motores se les realiza overhaul, mientras a otros solo limpieza de los componentes, re calibración, engrase y pintado, con la finalidad de estar en buenas condiciones para el inicio del próximo periodo de riego.

Para el caso de los aspersores son reparados únicamente en tiempo de utilización en el caso de ocurrir fallas mecánicas en éstos.

K. Falla de operación

Se refiere a la falta de coordinación entre los programadores y los ejecutores de las labores de riego, que generan fallas operacionales en el procedimiento de riego utilización de marcos de riego inadecuados, aplicación de riego a áreas no consensuadas entre estos agentes, utilización de tiempos de riego inadecuados para el cultivo, entre otras.

L. Atascamiento

Los atascamientos se producen cuando las condiciones de las vías de acceso no son las adecuadas para la circulación del equipo de riego.

M. Problemas con accesorios

Se refiere a fallas en accesorios como hidrantes, llaves lineales, codos abre válvula, codos de 90°, uniones de tuberías tipo T y Y, tapones, entre otros. Las fallas más comunes en accesorios de riego es la rotura de empaques y de la estructura del accesorio mismo.

N. Falta de combustible

Existen paros por falta de combustible cuando el servicio de abastecimiento del mismo no realiza su labor adecuadamente.

O. Lluvia

En ocasiones ocurren eventos de lluvia en las jornadas de riego los cuales, de acuerdo a su intensidad, interrumpen las labores de riego. Al momento del evento de lluvia se suspenden actividades de riego durante éste, posteriormente se estima el volumen total de la precipitación y si ésta supera los 20 mm de lluvia, se suspende la labor de riego por cinco días aproximadamente.

P. Falta de personal

Cuando no hay recurso humano para operar los equipos de riego. Además cuando no se cuenta con personal de apoyo, especialmente para traslados de equipo de riego, se puede incurrir en un paro de labores.

Q. Falta de área para riego

Ocurre cuando se termina el riego en un bloque de riego en específico y se espera para realizar traslado hacia otro bloque de riego. Ocurre también cuando labores como la siembra o las aplicaciones de agroquímicos impiden que se avance con la labor de riego en un área determinada.

R. Problemas con llantas

Cuando existen pinchaduras o cualquier otro desperfecto en las llantas del equipo de bombeo que impide su movilización.

S. Otros

En esta categoría se agrupan todos los factores que no se mencionan en las causas anteriores como el viento, falta de brechas para el movimiento dentro del área de riego, falta de maquinaria para traslado, aplicación de herbicidas y fertilizantes, entre otros.

2.3.7 Traslado de equipo de riego

Los traslados de los equipos de riego no son planificados, sino se programan a medida que surge la necesidad de realizarlos. Para ello se programan dos personal de apoyo y un tractor con implemento adecuado para el transporte de la tubería denominado porta-tubos. Las personas y maquinaria de apoyo para el traslado se coordinan un día antes de realizar la labor, aunque se pueden presentar inconvenientes en la ejecución por falta de los mismos debido a que se utiliza personal que realiza labores agrícolas varias

El traslado inicia con el levantamiento del equipo en el área de utilización finalizada. Dicho levantamiento consiste en colocar los tubos, accesorios y aspersores en un porta-tubos para la movilización hacia la nueva área de riego, para ello previamente debieron ser ordenados en un punto en específico y/o en las orillas de las calles.

Primero se coloca el punto de bombeo en el punto específico de utilización, se nivela, y por seguridad se retira una llanta del mismo como medida de prevención ante robos del equipo de bombeo. Junto a ello se acopla la manguera de succión con su respectiva rejilla y flotador, en el caso de ser necesario. Posteriormente, se realiza el “botado o tirado” de la tubería para la línea de conducción principal. Cuando se ha terminado el botado, se inicia con el acoplamiento de tubería y accesorios, iniciándose desde el equipo de bombeo hacia el final de la tubería principal. Posteriormente se instalan las tuberías de distribución lateral, las cuales son dos, una al inicio de la tubería principal y la otra al final de la misma. Por último se colocan los aspersores y se pone a funcionar el sistema de riego.

2.4 Objetivos

2.4.1 General

Priorizar causas de los tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en las fincas de la región litoral en los municipios de San José y La Gomera del Ingenio Santa Ana en el periodo productivo 2016-2017, para determinar el costo de los tiempos perdidos y elaborar un plan de operación de los equipos de riego.

2.4.2 Específicos

1. Realizar una caracterización de los equipos de riego por aspersión tipo cañón.
2. Cuantificar la magnitud en horas de las causas de los tiempos perdidos en la operación de equipos de riego por aspersión tipo cañón.
3. Priorizar las causas de los tiempos perdidos en los equipos de riego por aspersión tipo cañón.
4. Determinar el costo de los tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón.
5. Proponer un plan de mejoramiento para la reducción de tiempos perdidos en sistemas de riego por aspersión tipo cañón.

2.5 Metodología

La metodología que se utilizó para el cumplimiento de los objetivos es la que se muestra a continuación.

2.5.1 Caracterización de equipos de riego

Se realizó una descripción de los equipos de riego por aspersión disponibles en el área de estudio. Dicha descripción se llevó a cabo en dos fases. La primera de ellas contempló una revisión de información acerca de los equipos de riego y la segunda, la descripción de metodologías de operación de los equipos de riego.

A. Revisión de información

Se tomaron datos de marcas y modelos de los motores y bombas centrífugas de los equipos por aspersión de la región, y años de utilización de los mismos para establecer desgastes de equipos, además de describirse los set de accesorios de los equipos de riego.

B. Descripción de la operación de los equipos de riego

Para el entendimiento de las labores de riego se describieron las formas de operación de los diferentes equipos de riego. En dichos casos describieron las formas de movimientos de tuberías, los equipos utilizados y tiempos de riego, haciéndose representación gráfica de los mismos para facilitar su comprensión.

En este inciso se describió la programación de las labores de riego, donde se menciona la programación actual de las actividades de riego por aspersión tipo cañón.

2.5.2 Cuantificación de la magnitud de las causas de tiempos perdidos en riego de la región cuatro del Ingenio Santa Ana en la zafra 2016-2017

Se realizó extrayendo la información de las bitácoras de riego utilizadas para el control del mismo dentro de las administraciones en las áreas de estudio, en las cuales se obtuvo la cantidad de horas en cada aparición de un paro en la labor de riego por cualquiera que fuese la causa, de las 20 que se utilizan para el control de tiempos perdidos (cuadro 30A). Terminada la temporada 2016-2017 de riego, se hizo la síntesis de la sumatoria de horas de tiempos perdidos por causa y por equipo, en cada una de las administraciones con que cuenta la región cuatro del Ingenio Santa Ana.

2.5.3 Priorización de causas de tiempos perdidos en equipos de riego por aspersión tipo cañón

La priorización de las causas de tiempos perdidos respecto a su magnitud se realizó mediante la metodología del diagrama de Pareto o Teoría del 80-20, donde se tiene el supuesto de que el 20 % de las principales causas que generan tiempos perdidos generarán el 80 % del tiempo perdido total, por lo que se recomendarán oportunidades de mejora enfocados a disminuir a corto plazo para dicho 20 % de las causas de tiempos perdidos.

Se utilizó el software Microsoft Excel[®] para la realización de los diagramas de Pareto, tomándose como base los principios descritos en el inciso 2.2.3.

Posterior a la realización de los diagramas de Pareto, se realizó un análisis de las causas y los efectos para determinar el problema que generó tiempos perdidos.

2.5.4 Cuantificación de costos de tiempos perdidos

Para cuantificar el costo de tiempos perdidos se procedió a hacer un análisis general de costos el que consideró los siguientes parámetros.

A. Mano de obra

Fue calculado en base al salario promedio de los operadores de riego y ayudantes de los mismos por hora. Esta información fue proporcionada por el “Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos del Ingenio Santa Ana”.

B. Costos de reparación

En el caso de los tiempos perdidos generados por una falla mecánica se calcularon los costos de reparación por medio de información proporcionada por el “Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos del Ingenio Santa Ana”. Además, se entrevistó a los mecánicos de la región para obtener información sobre las fallas más comunes que se dan en la operación de estos equipos de riego.

C. Costos de mantenimiento

Comprendió el costo de los servicios de mantenimiento realizados a los equipos en estudio. La información fue extraída de bases de datos del “Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos del Ingenio Santa Ana”. De la misma forma se entrevistó a los mecánicos para obtener información sobre los procesos e insumos que lleva un mantenimiento de equipos de riego en el Ingenio Santa Ana.

D. Alquiler

Existen equipos cuya propiedad es ajena al Ingenio Santa Ana, por lo que se debe erogar una suma monetaria por su utilización. El valor de alquiler fue extraído del sistema de costos del Ingenio Santa Ana.

A. Costos totales de tiempos perdidos

Para la obtención de los costos totales se separaron por causas de origen antropológico, mecánico y ambiental. Para las causas de origen antropológico y ambiental como falta de personal, los traslados de equipo de riego, la falta de agua, el viento, entre otras, se incluyeron costos de mano de obra y alquiler. Para el caso de tiempos perdidos a causa de falla mecánica, se tomaron los valores de mano de obra, alquiler y costos de reparaciones.

Por último, para la causa de traslados de equipos de riegos se hace utilización de tractores e implementos como porta-tubos para la realización de los mismos, los cuales de la misma manera generan costos los que se refieren al valor por hora de utilización de los tractores, el consumo de combustible para la labor de acarreo de los equipos de riego. Los costos de utilización de maquinaria e implementos para traslado de equipo de riego se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12. Descripción de costos de maquinaria para traslado de equipo de riego.

Variable	Categoría de inventario.		
	225	235	295
Descripción	Tractores de 80 Hp de potencia	Tractores de 120 Hp de potencia	Porta-tubos
Costo utilización por hora (Q.)	84	84	20
Consumo combustible (gal/h)	0.90	1.60	0
Precio combustible (Q.)	13.81	13.81	0
Costo mano de obra por hora (Q.)	14.40	14.40	0

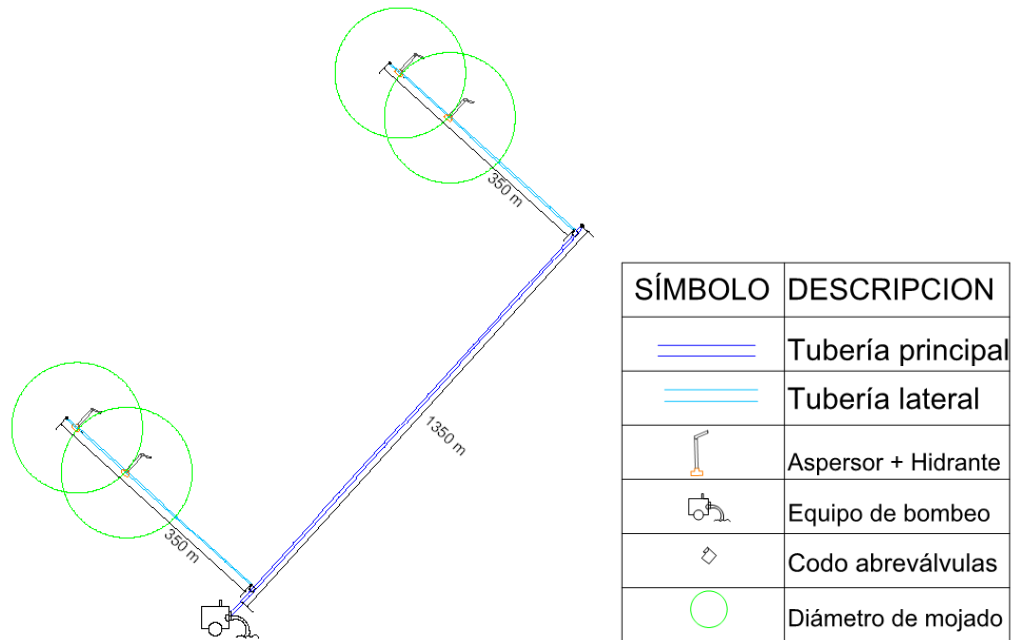
Fuente: Morales, 2018.

2.5.5 Propuesta de operación de equipos de riego por aspersión tipo cañón

Se realizó una serie de pruebas de funcionamiento y capacidad operativa de número de aspersores por turno de riego en los equipos de riego, con sus determinadas características de operación como las revoluciones por minuto de los motores, presión de aceite, temperatura, presión de aspersores, caudal de descarga, entre otros. Posteriormente se brindan una serie de estrategias de reducción de tiempos perdidos en traslados de equipo de riego, fallas mecánicas y manejo de factores ambientales adversos.

A. Realización de pruebas de funcionamiento y capacidad de equipos de riego por aspersión tipo cañón

Las pruebas de funcionamiento buscan determinar parámetros de operación de equipos de riego, detección de fallas mecánicas y consumo de combustible. Dichas pruebas fueron realizadas en el periodo de reparación de los equipos (junio-octubre del 2017). En la figura 16 se puede observar un diagrama de distribución de la tubería en una prueba de funcionamiento realizada.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 16. Simbología de una prueba de funcionamiento y/o capacidad operativa realizada.

Las evaluaciones realizadas permitieron definir las variables siguientes:

- Revoluciones por minuto (rpm).
- Presión de aceite.
- Temperatura.
- Caudal.
- Presión de salida.
- Eficiencia consumo combustible.
- Aspersor recomendado.
- Diámetro de boquillas recomendado.
- Cantidad aspersores recomendada.
- Área regada.

Para equipos con una capacidad de descarga estándar de 800 gal/min a 1,100 gal/min, de categorías de inventario 294, 5294 y 269, se utilizaron cuatro aspersores marca Komet Twin 101 con boquilla de 0.95 in, trabajando a una presión de 40 PSI, con un caudal de 10.19 L/seg, distribuidos en un marco de riego de 45 m entre laterales y 45 m entre aspersores, utilizando tubería de 6 in para toda la red de distribución.

En el caso de los equipos con categoría de inventario 394 (equipo de baja capacidad), que se refiere a equipos con capacidad de bombeo estándar de 400 gal/min, se utilizaron dos aspersores Komet Twin 101 con boquillas de 0.95 in, uno ubicado en la tubería lateral cercana al punto de bombeo, y el otro en el lateral lejano del mismo.

Los parámetros de revoluciones por minuto, presión de aceite, temperatura, caudal y presión de salida fueron tomados a cada 20 min durante la duración de la prueba en el panel de control del equipo de bombeo; mientras que las presiones de los aspersores la lectura fue tomada a cada 30 min de iniciada la prueba utilizando un manómetro para ello.

Para determinar el consumo de combustible se utilizó un recipiente con 10 gal de combustible y se puso a funcionar el equipo. Tomando en cuenta el tiempo utilizado para consumir dicha cantidad de combustible se determinaron los gal/h de consumo de combustible. Posterior a la realización de las pruebas de eficiencia se establecieron nuevas formas de operación propuestas para los equipos de riego.

2.6 Resultados y discusión

2.6.1 Caracterización de equipo de riego

La caracterización del equipo de riego se realizó mediante la revisión de información y realización de pruebas de eficiencia.

A. Revisión de información

Se tomaron datos de marcas y modelos de los componentes de los equipos de bombeo, es decir de los motores y de las bombas centrífugas; además se investigaron los años de utilización de estos equipos, los cuales se presentan en el cuadro 13.

Los resultados obtenidos demuestran que la mayoría de los equipos utilizados tiene muchos años de utilización por lo que su funcionamiento ha mermado con el paso de los años, lo que influye directamente en el paro de labores a causa de fallas mecánicas, causa que es muy incidente en la variable de estudio.

La descripción de marcas y modelos de los motores, y bombas centrífugas de los equipos de bombeo pueden ser utilizados para determinar parámetros de operación teóricos, analizando las curvas de eficiencia de cada equipo.

Cuadro 13: Descripción de los equipos de bombeo de la región cuatro.

Categoría	Correlativo	Motor		Bomba centrífuga		Potencia del motor (Hp)	Años de uso	Número de aspersores	Tipo Apersor	Presión de operación (PSI)	Caudal (gal/min)	Marco de riego (m x m)	Área regada por turno de riego (ha)
		Marca	Modelo	Marca	Modelo								
394	0004	John Deere	3029TF129	Caprari	MEC-M80/2A	60 - 80	20	1 (1)	Nelson F200	60	249.95	54 x 54	0.29
294	0130	John Deere	4045TF250	Berkeley	4EYRMBM	100 - 120	7	2 (2)	Nelson F150	50	408.90	54 x 54	0.58
394	0024	John Deere	4024TF270	Hydromac	ETN 80-40/2	60 - 80	3	1 (1)	Nelson F200	60	249.95	54 x 54	0.29
294	0188	John Deere	4045TF250	Cornell	4HH-EM116	100 - 120	5	2 (2)	Nelson F150	50	408.90	54 x 54	0.58
294	0055	John Deere	4045TF250	Caprari	YRMBM 606100	100 - 120	17	2 (2)	Mariner	50	455.85	54 x 54	0.58
394	0003	Perkins	LD 33634	Caprari	MEC-MR60/2A	60 - 80	22	1 (1)	Nelson F100	50	203.99	54 x 54	0.29
294	0173	John Deere	4045TF250	Cornell	4HH-EM16	100 - 120	3	2 (2)	Komet Twin 101	45	291.96	54 x 45	0.58
269	0003	S/M	192075 54	Cornell	4HH-EM16	120-140	5	4 (0)	Komet Twin 101	45	583.91	54 x 45	0.81
294	0057	John Deere	4045TF250	Hydromac	ETN 100-4006	100 - 120	16	2 (2)	Nelson F150	50	408.90	54 x 54	0.58
294	0007	John Deere	4045TF250	Caprari	MEC-AS/100A	100 - 120	22	2 (2)	Nelson F150	50	408.90	54 x 54	0.58
294	0054	John Deere	4045TF158	Berkeley	B4EYRM BM	100 - 120	17	2 (2)	Nelson F150	50	408.90	54 x 54	0.58
294	0042	John Deere	4045TF250	Berkeley	B4EYRM BM	100 - 120	18	2 (2)	Komet Twin 101	45	291.96	54 x 45	0.58
294	0041	John Deere	4045TF250	Berkeley	B4EYRM BM	100 - 120	18	2 (2)	Nelson F150	50	408.90	54 x 54	0.58
394	0025	John Deere	4024TF270	Cornell	4RB-F16	60 - 80	3	1 (1)	Komet Twin 101	45	145.98	54 x 45	0.29
394	0027	John Deere	4024TF270	Cornell	4RB-F16	60 - 80	3	1 (1)	Nelson F200	60	249.95	54 x 54	0.29
5294	0001	John Deere	4045TF250	Caprari	MEC-A5/100A	100 - 120	14	2 (2)	Komet Twin 101	45	291.96	54 x 45	0.58
394	0011	Perkins	-	Caprari	MEC-A3/65A	60 - 80	15	1 (1)	No utilizó	-----	-----	54 x 54	0.29
294	0058	John Deere	2045TF250	Caprari	MEC-A5/100A	100 - 120	16	2 (2)	Nelson F150	50	408.90	54 x 54	0.58
394	0002	Perkins	LD 33634	Caprari	MEC-MR60/2A	60 - 80	22	1 (1)	Komet Twin 101	45	145.98	54 x 45	0.29
394	0001	Perkins	LD 33634	Caprari	MEC-MR60/2A	60 - 80	22	1 (1)	Nelson F200	60	249.95	54 x 54	0.29
294	0153	John Deere	4045TF250	Cornell	4HH-EM16	100 - 120	8	2 (2)	Nelson F150	50	408.90	54 x 54	0.58

* En la columna denominada "Número de aspersores" el número que está fuera de los paréntesis indica el número de aspersores trabajando en cada turno de riego, mientras el número que está encerrado en éstos indica los aspersores de desfogue.

De acuerdo con Orbe y Plaza (1988) la vida útil de una máquina depende de la intensidad de uso que se le dé, pero generalmente como término medio se estima un tiempo de 10 años. Comparando este dato la edad de los equipos de aspersión tipo cañón utilizados actualmente en la región cuatro, se tiene que únicamente el 38 % de los equipos cumplen con este parámetro, por lo que el desgaste por utilización de los equipos de riego es evidente en la mayoría de los mismos. Lo anterior se manifiesta en constantes fallas en la operación, alcanzando un valor de 1,995 h de paro por esta causa en los equipos analizados, el cual representa un 8.82 % del total de paros realizados.

La forma de utilización de los equipos de riego dentro de las fincas de la región cuatro del Ingenio Santa Ana es variada, pues no existen bloques de riego asignados a los equipos, por lo que éstos se trasladan de finca en finca según sea la necesidad, aplicando principalmente riegos de auxilio. En los cuadros 14 y 15 se puede observar la utilización de los equipos de riego por aspersión tipo cañón en las administraciones de La Giralda y Loma Linda, respectivamente. Dichos cuadros fueron realizados con datos de las bitácoras de utilización de equipos de riego dentro de la región en estudio. Se puede observar que para los mismos lotes dentro de una finca se han utilizado diferentes equipos, lo que demuestra falta de planificación de uso de los mismos.

Para disminuir los tiempos perdidos en traslados de equipos de riego se hace necesario establecer bloques de riego para los equipos actuales, y adquirir más equipos para cubrir el área sin riego, con la finalidad de aplicar riego en cantidades y frecuencias adecuadas, y hacer eficiente la utilización del tiempo en las jornadas de riego.

Cuadro 14. Utilización de equipos de riego, administración La Giralda.

Finca	Categoría-Correlativo	Lotes	Área regada (ha)	Área total (ha)	% de área regada
Botón Blanco II	269-0003	1, 2, 3, 4, 5A, 5B, 6A, 6B	84.47	84.47	100
	294-0042	4	17.49	84.47	20.71
Santa Clara	269-0003	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	70.87	173.54	40.84
	294-0042	1, 2, 3, 7	47.66	173.54	27.46
	294-0173	1, 2, 7, 6, 3, 11, 14, 15, 16	88.50	173.54	51.00
	394-0027	3, 7, 12, 14, 15, 16	66.40	173.54	38.26
	269-0003	2, 3, 5A, 5B	20.79	36.65	56.73
El Jazmín	294-0173	2, 5A, 5B	12.26	36.65	33.45
	394-0027	5A, 5B	7.11	36.65	19.40
María Deli	294-0054	1, 2	17.33	17.33	100.00
El Bosque	294-0054	1 al 10	81.4	81.40	100.00
El Prado	294-0041	101	10.02	48.47	20.67
	294-0042	101, 104, 105	30.24	48.47	62.39
	294-0057	101	10.02	48.47	20.67
	294-0173	101	10.02	48.47	20.67
	294-0007	104, 110, 303A, 303B	41.56	698.24	5.95
La Giralda	294-0041	101, 102, 125, 127, 203, 208, 209, 210, 211, 212, 215B	162.75	698.24	23.31
	294-0042	106, 107, 110, 122, 124, 126, 203, 212, 213, 214, 215B, 303A	163.5	698.24	23.42
	294-0054	111, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 133, 134, 208, 209	165.81	698.24	23.75
	294-0057	101, 110, 124, 126, 203, 210, 211, 212, 215B	122.15	698.24	17.49
	294-0058	102, 124, 126, 128, 130, 131, 134, 209, 211, 213, 214	156.48	698.24	22.41
	294-0173	112, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 122	72.06	698.24	10.32
	394-0003	116, 123, 201	33.35	698.24	4.78
	394-0025	102, 123, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 212, 304, 215B, 303A	197.41	698.24	28.27
	394-0027	11, 112	55.48	698.24	7.95
	394-0003	1	20.55	20.55	100.00
	El Recuerdo	294-0007	5, 8, 9, 10, 3B	51.33	129.10
294-0042		5, 8, 9	39.96	129.10	30.95
294-0057		9	16.21	129.10	12.56
294-0058		10	6.45	129.10	5.00
394-0003		9, 10, 11	35.09	129.10	27.18
394-0027		2, 4, 11	28.95	129.10	22.42
394-0027		1, 4, 5, 5A	32.80	55.27	59.35
Las Morenas	394-0027	1, 2	30.19	30.19	100.00
La Floresta	294-0042	1, 2, 3, 4	37.27	37.27	100.00
	394-0027	1, 2, 3, 4	37.27	37.27	100.00









Cuadro 15. Utilización de equipos de riego, administración Loma Linda.

Finca	Categoría-Correlativo	Lotes	Área regada (ha)	Área total (ha)	% de área regada	
Argentina	294-0188	4, 6	9.10	20.07	45.34	
La Fronda	294-0153	2, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 14	65.84	184.09	35.77	
	294-0188	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	89.84	184.09	48.80	
	294-0055	9	16.18	184.09	8.79	
	394-0004	3, 5, 15	27.00	184.09	14.67	
	5294-0001	2, 4, 6, 8, 12, 14, 15	67.44	184.09	36.63	
Loma Linda	294-0130	2, 11B, 12B, 13A, 13B, 14A	35.56	180.95	19.65	
	294-0153	18	5.91	180.95	3.27	
	294-0173	8A, 8B	10.46	180.95	5.78	
	294-0188	6, 7	14.86	180.95	8.21	
	294-0041	9A, 10A, 11B, 12C	29.3	180.95	16.19	
	294-0055	8A, 8B, 9A, 12B, 14A	32.43	180.95	17.92	
	394-0001	8A, 9A	16.65	180.95	9.20	
	394-0002	7	7.30	180.95	4.03	
	394-0024	7, 11A, 12A, 12C, 13B, 14B	24.41	180.95	13.49	
	394-0004	7, 11B, 21	20.46	180.95	11.31	
	5294-0001	9A, 9B, 12B, 14A	25.80	180.95	14.26	
	Las Victorias	294-0130	101, 201, 202A, 202B, 203A, 203B, 204, 205, 206, 207, 209, 212	169.8	340.52	49.86
		294-0153	202B, 209, 211	42.17	340.52	12.38
294-0173		209	14.59	340.52	4.28	
294-0188		103, 201, 204, 207A, 209	80.05	340.52	23.51	
294-0055		202B, 203A, 203B, 203C, 204, 205, 207A, 208, 209, 210, 211	150.74	340.52	44.27	
394-0001		101, 203C, 204, 207A	53.33	340.52	15.66	
394-0002		101, 106, 107, 201, 202B, 203B, 205, 207, 213	156.65	340.52	46.00	
394-0024		101, 203B, 204, 206, 207A, 208, 210	117.10	340.52	34.39	
394-0004		101, 203B, 203C, 204, 205, 207A	81.29	340.52	23.87	
5294-0001		102, 103	28.77	340.52	8.45	
El Relicario La Gomera	394-0002	1	16.32	16.32	100.00	
Chapulco	294-0153	1, 4, 5	24.51	93.73	26.15	
	294-0188	5	12.60	93.73	13.44	
	294-0055	5, 10	17.81	93.73	19.00	
	394-0001	5	12.60	93.73	13.44	
	394-0004	5	12.60	93.73	13.44	
El Triunfo La Gomera	294-0130	1, 2	37.47	55.87	67.07	
	294-0153	1, 2	37.47	55.87	67.07	
	294-0055	1, 4	20.29	55.87	36.32	
	394-0002	3, 4, 5A	18.40	55.87	32.93	
	394-0024	3, 4, 5A	18.40	55.87	32.93	
	5294-0001	1, 2, 3, 4, 5	55.87	55.87	100.00	
El Esfuerzo La Gomera	294-0188	2	15.74	39.28	40.07	
	294-0055	1, 3	23.54	39.28	59.93	
	394-0001	1, 2, 3	39.28	39.28	100.00	

B. Descripción de formas de operación de los equipos de riego

La forma de operación de los equipos de riego varía según la categoría del equipo que se utilice y la disponibilidad de equipo con la que cuente. Para ello se describen tres casos de operación durante el periodo del estudio. Para las representaciones gráficas de los casos de operación de equipos de riego, se utilizará simbología mostrada en el cuadro 16.

Cuadro 16. Simbología de diagramas de operación de equipos de riego por aspersión.

Simbología	
	Aspersor funcionando
	Aspersor sin funcionar
	Codo Abrevávula
	Tapón final
	Equipo de bombeo
	Llave de línea
	Tubería de conducción principal
	Tubería de conducción lateral

A. Caso 1: Equipos de categorías 294 y 5294 (mediana capacidad)

Para los equipos de estas categorías tienen un caudal de bombeo aproximado de 800 gal/min, se operan normalmente con dos aspersores en funcionamiento, y dos aspersores utilizados en los cambios de turnos de riego como “desfogue”, es decir para poner en funcionamiento mientras se realiza el cambio de turno de riego, sin tener que apagar el equipo de bombeo y se dejan de funcionar cuando el cambio de turno de riego terminó.

En la forma de distribución de tuberías en campo se tiene una línea de conducción principal con tubería de 6 in de aluminio y cuatro líneas de conducción lateral, dos de ellas largas y dos cortas, donde se ubican los aspersores de desfogue, tal cual se puede observar en la figura 17.

En promedio estos equipos cuentan con un kit de 180 - 220 tubos de 6 in de diámetro de aluminio para líneas de conducción, 24 hidrantes, cuatro codos abreválvulas, cuatro aspersores de marcas Komet Twin 101 o Nelson F150, utilizando marcos de riego de 54 m entre laterales y 54 m entre aspersores, teniendo un rendimiento de área regada de 0.58 ha / turno de riego.

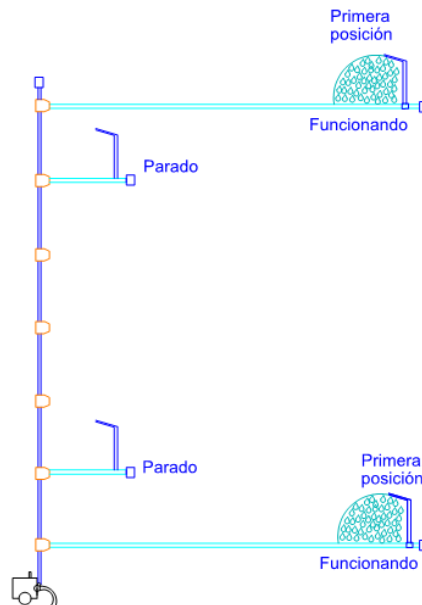


Figura 17. Caso uno de operación de equipos de riego, turno de riego uno.

Para el cambio de turno de riego, se hacen funcionar los aspersores de desfogue, es decir se ponen en funcionamiento las laterales cortas, se cierran los laterales largos, se mueve el aspersor a la siguiente posición, moviéndose también los tubos del extremo del lateral largo que no son utilizados hacia la posición de la siguiente lateral, como se puede observar en la figura 18.

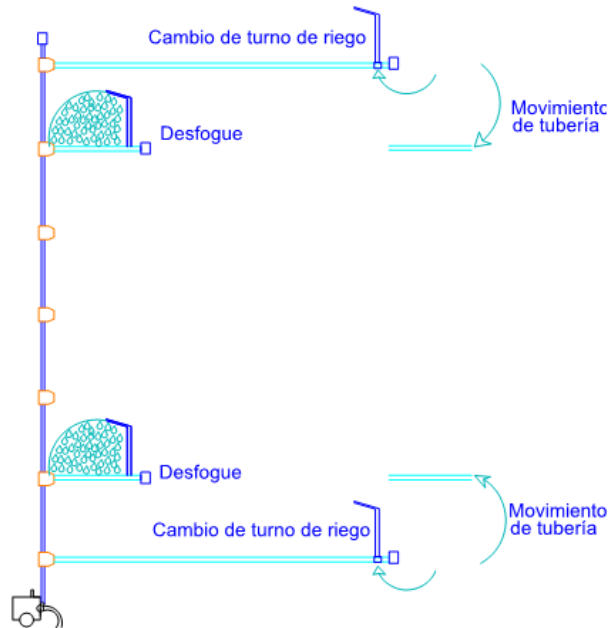


Figura 18. Caso uno de operación de equipos de riego, cambio de turno de riego.

Para terminar el cambio de turno de riego, se ponen a funcionar los aspersores en la segunda posición y se cierran las laterales cortas, donde están los aspersores de desfogue, los cuales no se mueven de lugar (figura 19).

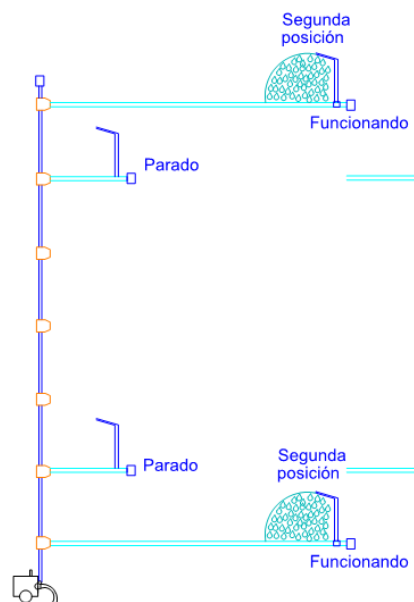


Figura 19. Caso uno de operación de equipos de riego, turno de riego dos.

Los tiempos perdidos por cambio de turno de riego en este tipo de operación son de 15 minutos aproximadamente, sumando 10 cambios de turno de riego al día, siendo ésta la meta de cumplimiento diario, se tendrían 2.5 h de tiempo perdido.

B. Caso 2: Equipos de categoría 394 (baja capacidad)

Los equipos de esta categoría tienen una capacidad de descarga aproximada de 400 gal/min. Normalmente estos equipos se trabajan normalmente con un aspersor marca Nelson F200 con boquilla de 1.05 in a una presión de 60 PSI con una descarga de 250 gal/min, es decir, se subutiliza el equipo en cuanto al caudal utilizado ya que cuenta con una capacidad de descarga promedio de 400 gal/min. El modelo de funcionamiento es similar a los equipos del caso uno, con la diferencia de que se trabaja con un aspersor en funcionamiento y uno de desfogue, como se muestra en las figuras 20, 21 y 22.

Los equipos de esta categoría cuentan con un aproximado de 130 - 150 tubos de aluminio de 6 in para la línea de conducción principal y tubería de aluminio de 5 in para líneas de conducción lateral, 20 hidrantes, una llave de línea y dos codos abre-válvula.

El marco de riego utilizado es de 54 m entre tuberías de conducción laterales y 54 m entre aspersores, teniendo un rendimiento de área por turno de 0.29 ha, teniendo un tiempo perdido en cada cambio de turno de riego de 10 minutos.

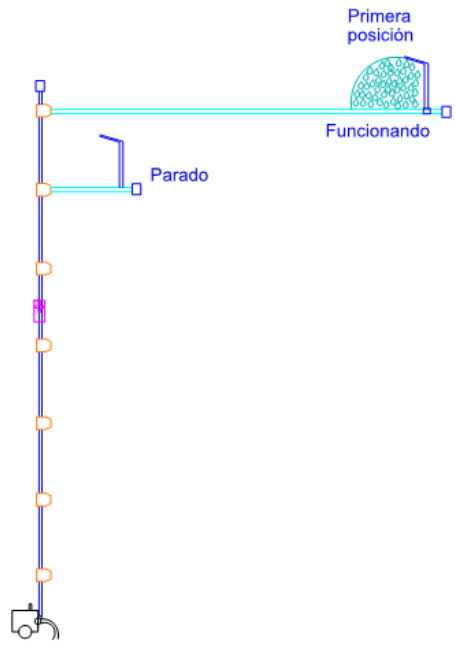


Figura 20. Caso dos de operación de equipos de riego, turno de riego uno.

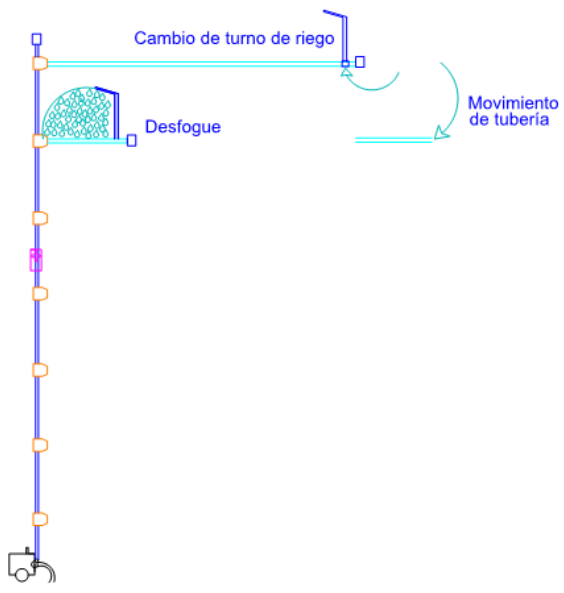


Figura 21. Caso dos de operación de equipos de riego, cambio de turno de riego.

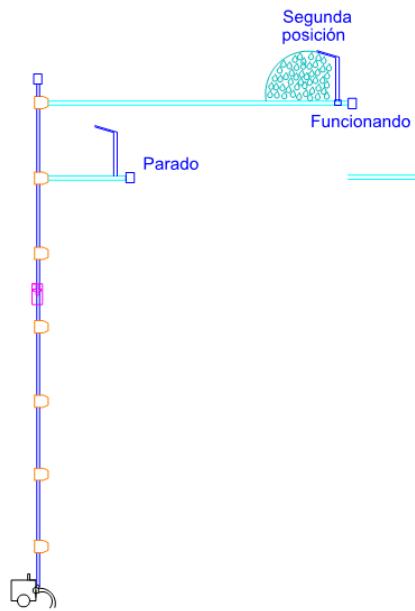


Figura 22. Caso dos de operación de equipos de riego, turno de riego dos.

C. Caso 3: Equipo de categoría 269 (alta capacidad)

El equipo de esta categoría dentro de la región en estudio trabaja con cuatro aspersores simultáneamente distribuidos en dos laterales, como se muestra en la figura 23 para la primera posición.

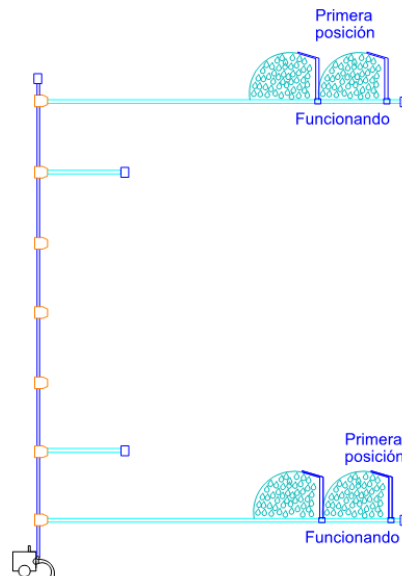


Figura 23. Caso tres de operación de equipos de riego, turno de riego uno.

Para hacer un cambio de turno de riego, como no se cuentan con aspersores de “desfogue”, o posicionados en la siguiente posición de riego, se bajan las revoluciones al motor, se cierra un lateral, se realiza el cambio de posición de aspersor en éste, se abre dicho lateral, y se realiza el mismo procedimiento para el segundo lateral. La tubería que queda sin utilizar por el movimiento de los aspersores en un cambio de turno de riego se mueve hacia la próxima posición de la línea de conducción lateral. El procedimiento descrito con anterioridad se puede visualizar en la figura 24.

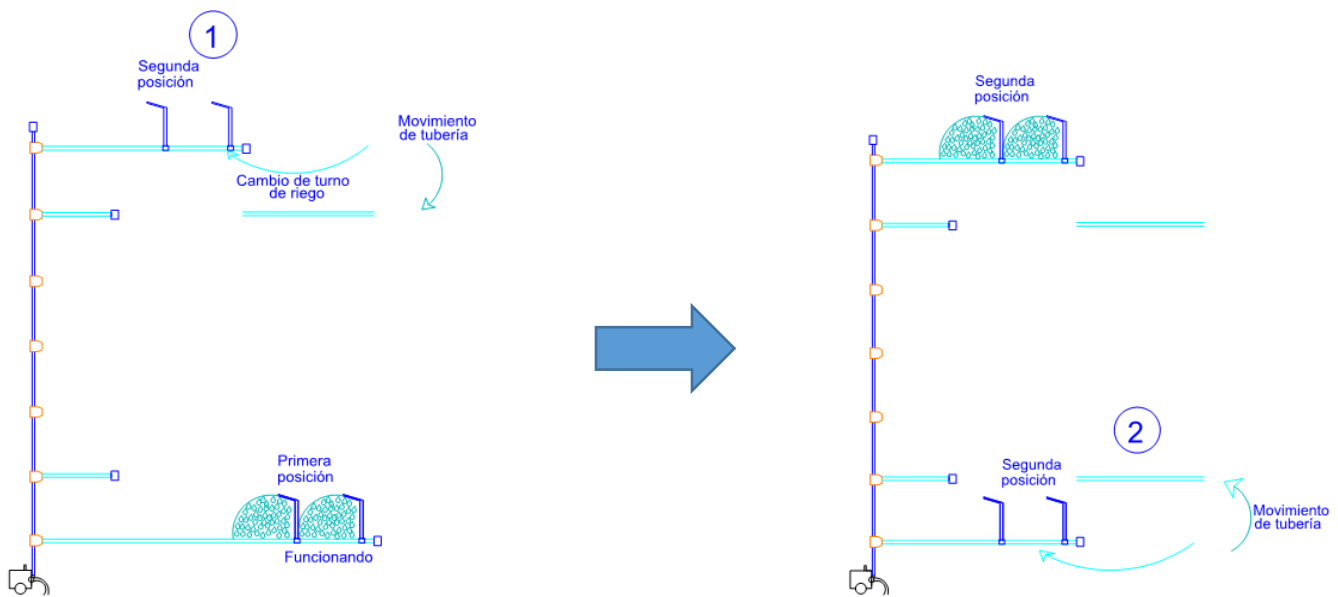


Figura 24. Cambio de turno de riego.

Concluido el movimiento de aspersores, se abren las dos laterales, y se suben nuevamente las revoluciones al motor (figura 25). El tiempo perdido por cambio de turno de riego es de aproximadamente de 30 minutos.

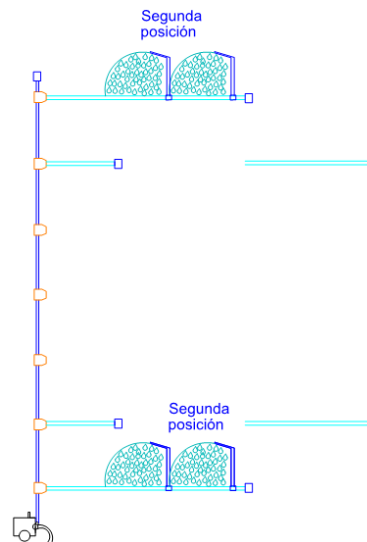


Figura 25. Caso tres de operación de equipos de riego, turno de riego dos.

C. Programación de labores de riego en la región cuatro del Ingenio Santa Ana en el periodo productivo 2016-2017

La programación de las labores de riego se hace de una forma empírica, sin tomar en cuenta características de textura del suelo, los tipos de aspersores que se utilizan y el estado fenológico del cultivo. Además no se tiene un diseño establecido de riego por equipo y área, y esto adherido a la poca cantidad de equipos de riego respecto al área de riego, se programan traslados de equipos de riego entre fincas de forma muy frecuente para satisfacer la demanda hídrica de las mismas, creándose de esa manera un sistema poco eficiente en la utilización del tiempo de las jornadas de riego.

De forma general, se brinda un tiempo de riego de dos horas por turno de riego, tomando una meta laboral de cinco turnos de riego por jornada laboral de 12 h, teniendo un 83 % de utilización del tiempo. Para el caso de lotes con siembra, el primer riego tiene una duración de tres horas por turno de riego y los siguientes riegos son trabajados con un tiempo de 2 h.

Los marcos de riego utilizados comúnmente son los de 45 m x 45 m, 54 m x 45 m y 54 m x 54 m, dependiendo de las condiciones del lote. Por ejemplo, en el caso de siembras se utilizan marcos de riego de 45 m x 45 m, en cañaverales en estado de elongación con un área superior a las 70 ha por equipo de riego se utiliza un marco de 54 m x 54 m para mantener una frecuencia de riego moderada, con un tiempo de riego de 2 h.

Debido a la escasez de equipos de riego se realizan priorizaciones de áreas de riegos, teniendo como principal, las siembras y primer riego de caña soca, posterior los riegos de mantenimiento de cañaverales en elongación, especialmente aquellos ubicados en áreas de textura arenosa.

No existe un programa de aplicación de riego antes de iniciado el proceso, sino que las actividades se realizan de acuerdo al surgimiento de necesidades hídricas en el periodo productivo.

Como personal de apoyo de los mayordomos de riego, se encuentran los caporales de la labor de riego, los cuales apoyan en los traslados de equipo de riego, en la distribución de insumos como empaques, aceite, tornillos, entre otros, para el correcto funcionamiento de los equipos de riego.

2.6.2 Cuantificación de tiempos perdidos durante la zafra 2016-2017 en riego por aspersion tipo cañón para la región cuatro del Ingenio Santa Ana

Se contabilizó el total de horas perdidas por causa y por equipo para programar estrategias para la reducción de estos tiempos perdidos en riego por aspersion. Se realizó un conteo por administración, debido a que en cada una de ellas se programan y ejecutan las actividades de forma diferente (cuadros 17 y 18).

En caso de ambas administraciones, la principal causa que genera tiempos perdidos son los traslados de equipos de riego. Estos traslados se pueden dividir en; cortos, aquellos traslados que se realizan dentro de una misma área de riego o finca de riego como el cambio de tuberías principales y laterales, que en promedio tienen un tiempo de 2 h – 4 h. El caso de traslados largos son aquellos en donde se cambia de área de riego, por lo que los traslados comprenden movimientos hacia una diferente fuente de agua o finca, tomando en cuenta que para estos traslados se necesita maquinaria para el traslado del equipo de riego, además de personal de apoyo, tardando en promedio de 5 h -12 h por cada uno de ellos.

En resumen, los traslados largos son los que más incrementan los tiempos perdidos con un 75.93 % de las horas en relación al total de horas perdidas dentro de la causa de traslado de equipo de riego, mientras que los traslados cortos tienen un 24.06 % en el mismo rubro. El alto valor en la causa de traslados de equipo de riego es la manifestación de problemas de planificación de actividades de riego, además de escasez de equipos de riego, lo que se traduce en realizar movimientos de equipos de riego.

Otros problemas de gran incidencia son los de falta de agua, falta de área para regar, las fallas mecánicas en los equipos de riego, el viento, entre otros, para las administraciones de La Giralda y Loma Linda, respectivamente.

Cuadro 17. Descripción de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en administración La Giralda, San José, Escuintla.

Causa	Equipo (Categoría-Correlativo) de inventario local de equipos de riego											Total Causa (h)	Incidencia (%)
	294-0054	294-0057	294-0042	394-0027	294-0058	394-0025	294-0173	294-0007	394-0003	294-0041	269-0003		
Falta de agua	78	105	0	0	12	78	58	4	9	182	224	750	8.41
Falta de materiales	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	10	16	0.18
Problemas de succión	0	8	8	4	0	3	24	4	0	36	64	151	1.69
Problemas con tubería	42	4	16	8	70	24	14	20	8	54	32	292	3.27
Taponeo de pichacha	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	12	20	0.22
Traslado de equipo de riego	422	150	293	382	296	392	288	252	168	232	583	3,458	38.78
Limpieza de implemento	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	2	8	0.09
Falla mecánica	50	134	40	10	48	32	64	4	14	90	60	546	6.12
Mantenimiento diario	30	2	0	22	15	14	18	4	11	2	10	128	1.44
Mantenimiento preventivo	4	0	0	7	0	0	0	0	0	0	4	15	0.17
Falla de operación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Atascamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Problemas con accesorios	4	0	0	0	0	2	6	0	2	6	4	24	0.27
Falta de combustible	0	0	0	12	0	0	0	28	0	2	0	42	0.47
Lluvia	4	0	0	18	0	0	0	0	0	0	12	34	0.38
Falta de personal	36	18	36	16	16	82	48	24	20	12	74	382	4.28
Falta de personal para traslado	0	0	0	0	0	0	24	24	12	0	0	60	0.67
Alimentación	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.02
Falta de área	190	72	218	60	180	84	89	57	14	175	50	1,189	13.33
Siembra	0	30	55	12	84	0	0	0	0	84	0	265	2.97
Área terminada	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0.22
Problemas con llantas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Otros	0	0	0	40	0	12	22	0	0	6	60	140	1.57
Viento	52	74	199	81	153	126	68	151	92	77	92	1,165	13.06
Falta de maquinaria para traslado	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	56	0.63
Ingreso de agua salada	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	1.35
Aplicación de herbicidas	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0.07
Falta de brechas	0	0	0	8	0	0	0	0	0	14	0	22	0.25
Fertilización	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0.07
Total h perdidas por equipo	1,076	598	865	696	879	851	725	580	350	972	1,325	8,917	
Total jornadas (h)	4,200	1,392	2,496	3,972	2,376	2,244	2,076	1,728	1,284	1,716	3,252	26,736	
% de tiempos perdidos	25.62	42.96	34.66	17.52	36.99	37.92	34.92	33.56	27.26	56.64	40.74	33.35	
% tiempo efectivo de trabajo	74.38	57.04	65.34	82.48	63.01	62.08	65.08	66.44	72.74	43.36	59.26	66.65	

Cuadro 18. Descripción de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en administración Loma Linda, La Gomera, Escuintla.

Causa	Equipo (Categoría-Correlativo) de inventario local de equipos de riego										Total Causa (h)	Incidencia (%)
	5294-0001	294-00188	394-0011	394-0004	394-0001	294-0055	294-0130	294-0002	394-0024	294-0153		
Falta de agua	156	262	0	98	78	152	46	48	134	100	1,074	8.54
Falta de Materiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Problemas de succión	16	6	0	135	74	4	22	8	12	26	303	2.41
Problemas con tubería	34	8	0	20	18	34	68	30	142	4	358	2.85
Taponeo de pichacha	0	4	0	0	4	0	0	4	0	0	12	0.10
Traslado de equipo de riego	245	630	636	474	1,004	1,073	989	750	797	748	7,346	58.41
Limpieza de implemento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Falla mecánica	108	26	0	647	34	113	158	100	211	50	1,447	11.51
Mantenimiento diario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Mantenimiento preventivo	6	0	0	0	0	0	4	10	0	0	20	0.16
Falla de operación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Atascamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Problemas con accesorios	12	0	0	16	0	32	56	42	24	36	218	1.73
Falta de combustible	0	0	0	0	0	0	12	20	34	4	70	0.56
Lluvia	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8	0.06
Falta de personal	0	0	0	0	0	0	12	0	0	204	216	1.72
Alimentación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Falta de área	156	166	0	58	32	20	168	174	24	160	958	7.62
Problemas con llantas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Otros	34	74	0	184	146	28	36	32	0	0	534	4.25
Problemas con operador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	0.10
Total horas perdidas por Equipo	767	1,176	636	1,632	1,398	1,456	1,571	1,218	1,378	1,344	12,576	
Total Jornadas (h)	1,440	2,232	636	2,376	3,060	3,264	3,000	2,592	2,232	2,484	23,316	
% de tiempos perdidos	53.26	52.69	100.00	68.69	45.69	44.61	52.37	46.99	61.74	54.11	53.94	
% de tiempo efectivo de riego	46.74	47.31	0.00	31.31	54.31	55.39	47.63	53.01	38.26	45.89	46.06	

Para el caso del total de horas perdidas por equipo y por causa de tiempo perdido se hizo mediante la sumatoria de la incidencia de cada campo, tomando el dato de la bitácora de control de riego, es decir la sumatoria de horas perdidas por cada equipo y por cada causa.

Para el caso de las horas totales por jornada se calculó en base de dos jornadas de 12 h laboradas cada una, aunque la meta de trabajo sea de 20 h/día.

2.6.3 Priorización de causas de tiempos perdidos

Se realizaron diagramas de Pareto para identificar las principales causas de los tiempos perdidos en las dos administraciones de la región cuatro, debido a que la metodología de operación es diferente en cada una de ellas.

En el caso de las administraciones La Giralda y Loma Linda la principal causa de tiempos perdidos es el traslado de equipo de riego, como se puede observar en los diagramas de Pareto (figuras 26 Y 27), el cual indica una incidencia de 38.78 % y 58 % respectivamente, y como causas principales de tiempos perdidos deben ser tratadas para su reducción como lo menciona (Soto, 2005). Otros problemas de gran incidencia son la falta de área para riego, las fallas mecánicas, defectos en tubería, la falta de agua y el viento.

Para el caso de la administración La Giralda, como se manifiesta en la figura 26, después de la causa principal de **traslado de equipo de riego** aparece otra causa de origen organizacional como la **falta de área**, que se refiere a paros de riego por terminar áreas de riego sin que hayan terminado las jornadas de riego, por lo que se espera a realizar un traslado de riego, asemejándose a los resultados obtenidos por (Barneond, 2011).

Para el caso de la administración Loma Linda, tal cual aparece en la figura 27, el problema que sucede con mayor frecuencia posterior a los **traslados de equipo de riego** son las **fallas mecánicas**, las cuales se generan por el estado deteriorado de los equipos de riego, además de malas manipulaciones realizadas a los equipos.

Aplicando el Principio de Pareto, la causa de tiempo perdido que ocupa la posición de principal es el **traslados de equipos de riego**, la cual tiene una incidencia del 48.59 % en relación al total de los tiempos perdidos generados. Dicho problema se manifiesta en ambas administraciones como la tendencia general, indicando que existen errores en la programación de actividades y que se trabaja de aplicando riegos de auxilio es decir, riegos programados en áreas de demanda hídrica con la finalidad de no dejar que el cultivo muera.

Los traslados de equipos de riego, como problema principal, deben ser tratados para disminuir su incidencia considerablemente, para lo cual, se debe realizar una planificación adecuada del riego, incluyendo parámetros agronómicos de diseño de equipos de riego, asignación de bloques de riego para cada equipo, mejorar distribución de puntos de bombeo y cambiar metodologías de operación.

Tras hacer el análisis de priorización, algunas otras causas que aparecen con gran incidencia como la **falta de área, las fallas mecánicas, la falta de agua, el viento**, entre otros, al igual que la causa principal, deben ser atendidas para mejorar la eficiencia de tiempo utilizado en la labor de riego, debido a las altas incidencias de las mismas y teniendo en cuenta que aunque se maximicen esfuerzos, no se lograrán erradicar estas causas principales por completo; así que la toma de medidas pertinentes por causa será de utilidad para hacer eficiente el riego de la región cuatro.

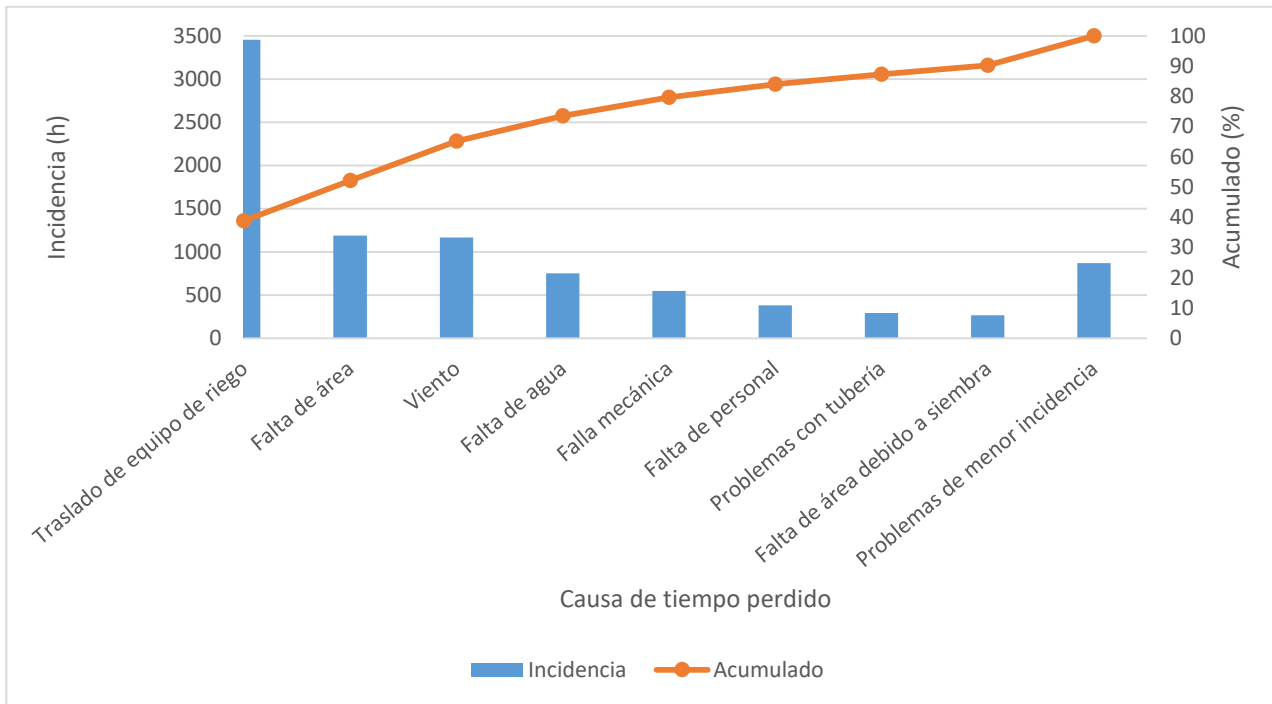


Figura 26. Diagrama de Pareto para las causas de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en administración La Giralda, San José, Escuintla.

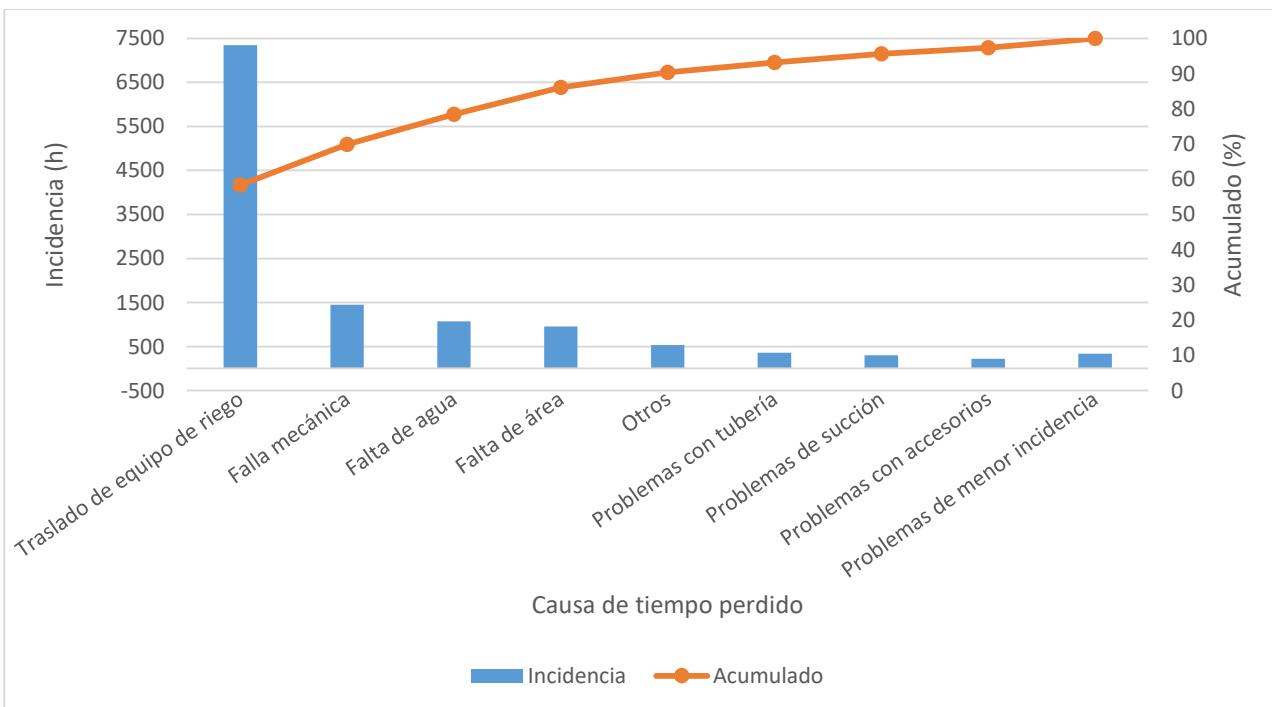


Figura 27. Diagrama de Pareto para las causas de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en administración Loma Linda, La Gomera, Escuintla.

Posterior al análisis de Pareto se realizó un análisis de la problemática mediante un árbol de problemas para identificar los problemas de fondo de la alta incidencia de tiempos perdidos en el área de estudio, las causas que los producen y los efectos que éstos generan en el proceso productivo de caña de azúcar, el cual se muestra en la figura 28.

En este árbol de problemas se muestran las causas que generan la mala planificación de actividades de riego y los efectos que tendrá ésta sobre los tiempos perdidos en el riego, afectando el desarrollo ideal de cultivo de caña de azúcar, así como el aumento de costos, lo que hace menos rentable la producción.

Dentro de los efectos que se producen por la alta incidencia de tiempos perdidos está la disminución de la productividad, el aumento de costos, la subutilización de equipos, entre otros, demostrando la importancia de trabajar en la planificación de las actividades de riego, para hacer un alto impacto en la eficiencia de los sistemas de riego.

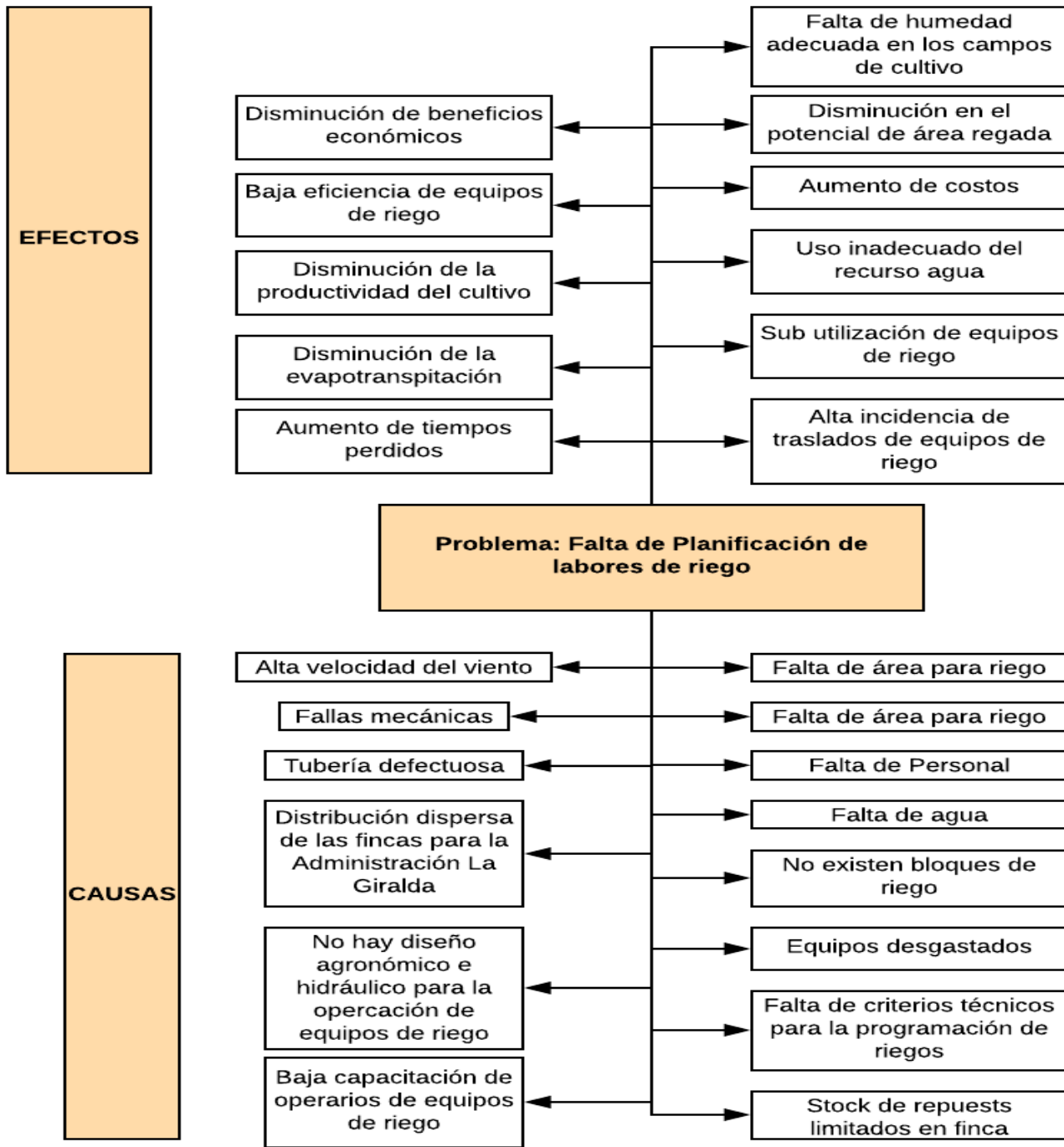


Figura 28. Árbol de problema de planificación de riego en la región cuatro del Ingenio Santa Ana.

En la figura 28 se presenta como problema principal que genera los tiempos perdidos la falta de planificación de labores de riego, lo que se traduce en la alta incidencia de las causas de tiempo perdido de traslados de equipo de riego y falta de área.

La gran incidencia de traslados de equipos de riego ocurre porque no se tienen los equipos de riego necesarios para brindar riego a toda el área productiva, y porque no se hace una programación correcta tomando parámetros técnicos.

Además, la falta de planificación de riego incluye las deficiencias en el proceso en la no utilización de parámetros técnicos para realizar la labor de riego así como equipos desgastados, que traen como consecuencia una mala ejecución de la labor de riego y los efectos adversos en el desarrollo del cultivo.

2.6.4. Análisis de costos

A. Mano de obra

De acuerdo con el “Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos del Ingenio Santa Ana”, el valor por hora de mano de obra es establecida por categoría de equipo de riego, pudiéndose visualizar en el cuadro 19.

Para la operación de un equipo de riego se necesitan de dos a tres personas, dependiendo el número de aspersores que utilice cada equipo, por ejemplo, para la categoría de inventario 269 se utilizan tres personas, mientras que para las otras categorías (394, 5294 y 294) se utilizan dos personas. El valor monetario por hora mostrado en el cuadro 19 incluye el salario del operador de riego y ayudante(s).

Cuadro 19. Costos de mano de obra de acuerdo a las categorías de equipos de riego

RUBRO	Unidad monetaria	Categoría de equipo de riego en inventario			
		294	394	5294	269
Mano de obra directa					
Salario base	Q. / h	22.12	10.23	10.23	22.12
Extraordinario	Q. / h	6.36	2.13	2.13	6.36
Asuetos	Q. / h	2.26	0.66	0.66	2.26
Séptimos	Q. / h	5.03	2.15	2.15	5.03
Destajos	Q. / h	1.85	0.04	0.04	1.85
Bono incentivo (37-2001)	Q. / h	2.44	0.81	0.81	2.44
Sub-total	Q. / h	40.06	16.02	16.02	40.6
Prestaciones laborales					
Vacaciones	Q. / h	1.55	0.63	0.63	1.55
Aguinaldo	Q. / h	1.84	0.85	0.85	1.84
Bono 14	Q. / h	1.84	0.85	0.85	1.84
Indemnización	Q. / h	3.66	1.48	1.48	3.66
Sub-total	Q. / h	8.89	3.81	3.81	8.89
Pagos patronales					
I.G.S.S. patronal	Q. / h	4.01	1.62	1.62	4.01
I.R.T.R.A.	Q. / h	0.38	0.15	0.15	0.38
I.N.T.E.C.A.P.	Q. / h	0.38	0.15	0.15	0.38
Sub-total	Q. / h	4.77	1.92	1.92	4.77
Total Mano de Obra	Q. / h	53.72	21.75	21.75	53.72

Al observar el cuadro anterior, el valor de la mano de obra para los equipos de categorías de inventario 294 y 269 es el mismo, de igual forma pasa con las categorías de inventario 394 y 5294, ambas con un valor considerablemente bajo, respecto a las primeras. Los valores más bajos en las categorías 394 y 5294 se dan por prestaciones laborales y pagos patronales más bajos, además de tener un salario base y extraordinario más bajo.

B. Costos de reparación

En el caso de las fallas mecánicas del equipo de bombeo, requieren de su pronta reparación, lo cual, incluye gastos de taller y repuestos, que de acuerdo con el “Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos”, le gastan las cantidades monetarias que se muestran en el cuadro 20.

Cuadro 20. Costos de mantenimiento de equipos de riego en la región cuatro del Ingenio Santa Ana.

Rubro	Unidad de medida	Categoría de equipo en inventario			
		294	394	5294	269
Gastos indirectos de taller	Q./h	1.05	0.96	0.90	1.77
Mano de obra de taller	Q./h	3.22	3.45	2.30	4.24
Servicios y repuestos de terceros	Q./h	0.40	1.25	0.94	0.25
Repuestos	Q./h	5.12	3.73	5.47	9.17
Sub-total	Q./h	9.79	9.39	9.61	15.43

Como se puede observar en el cuadro anterior, los costos de reparación son similares en las categorías 294, 394 y 5294, mientras que en la categoría 269 es mayor, lo que se debe a un valor más alto de los repuestos.

C. Renta de equipos de bombeo

De acuerdo con el Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos, el pago por renta de acuerdo a las categorías de equipos de riego se desglosa como se describe en el cuadro 21.

Cuadro 21. Valor de la renta de equipos de bombeo para riego.

Rubro	Unidad de medida	Categoría de equipo			
		294	394	5294	269
Depreciaciones	Q./h	10.81	8.11	5.65	11.96
Costo financiero	Q./h	4.70	3.29	2.03	4.29
Seguros	Q./h	0	0	0	1.23
Sub-total	Q./h	15.51	11.40	7.68	17.48

D. Costos de consumo de combustible

Los costos de mantenimiento se refieren a los insumos utilizados (diésel, grasas, aceites, entre otros), para el funcionamiento de los equipos de bombeo. Estos costos no son considerados en el análisis de tiempos perdidos debido a que no existe consumo o gasto de los mismos en las horas no efectivas de riego, pero si para realizar el costo total por operación de equipos de riego, indispensable para hacer estudio comparativo por categorías de riego. En el cuadro 22 se puede el consumo de combustible por equipo de riego, tomando dichos valores del el Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos.

Cuadro 22. Consumo de combustible por equipos de riego por aspersión.

Equipo	Eficiencia Consumo Combustible (gal/h)	Horas laboradas	Consumo total (gal)	Valor combustible (Q.)	Costo combustible (Q.)
294-0007	2.85	1,100	3,135.00	13.81	43,294.35
294-0041	2.99	1,021	3,052.79	13.81	42,159.03
294-0042	2.68	1,470	3,939.60	13.81	54,405.88
294-0057	3.21	760	2,439.60	13.81	33,690.88
294-0058	2.39	1,455	3,477.45	13.81	48,023.58
294-0173	2.57	1,269	3,261.33	13.81	45,038.97
294-0188	3.63	1,058	3,840.54	13.81	53,037.86
294-0130	3.72	1,426	5,304.72	13.81	73,258.18
394-0002	2.03	1,360	2,760.8	13.81	38,126.65
394-0004	1.68	652	1,095.36	13.81	15,126.92
394-0024	1.98	860	1,702.80	13.81	23,515.67
269-0003	6.12	1,554	9,510.51	13.81	131,340.12
294-0054	2.40	2,552	6,112.97	13.81	84,420.16
294-0055	2.95	1,812	5,343.70	13.81	73,796.52
294-0153	3.15	1,140	3,593.11	13.81	49,620.81
394-0001	2.39	1,648	3,937.77	13.81	54,380.59
394-0003	1.61	926	1,488.59	13.81	20,557.47
394-0011	2.00	0	0.00	13.81	0.00
394-0025	1.20	1,343	1,609.67	13.81	22,229.58
5294-0001	2.55	661	1,685.55	13.81	23,277.46
394-0027	1.65	2,932	4,826.46	13.81	66,653.41
Costo total de combustible (Q.)					995,954.08

Como se puede ver en el cuadro anterior, existe variabilidad en el consumo de combustible, teniendo que la categoría de alta capacidad (categoría 269) tiene el mayor consumo de combustible, con un promedio de 6.12 gal/h, mientras que los equipos de categoría 294 (equipos de mediana capacidad) tienen un valor promedio de 2.96 gal/h, los equipos con la categoría 5294 (equipos de mediana capacidad rentados) con 2.55 gal/h y los equipos de menor consumo, la categoría 394 (equipos de baja capacidad) tienen un consumo promedio de 1.82 gal/h. Además del combustible también son utilizados otros insumos como aceites, grasas y llantas, que de acuerdo al “Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos”, los montos gastados se muestran en el cuadro 23.

Cuadro 23. Costo de insumos para equipos de riego.

Rubro	Unidad de medida	Categoría de equipo			
		294	394	5294	269
Combustible	Q./h	40.85	25.08	35.22	84.52
Lubricantes, aceites, grasas	Q./h	0.96	0.71	0.66	1.11
Llantas	Q./h	0.01	0.00	0.22	0.00
Sub-total	Q./h	41.82	25.79	36.10	85.63

El costo total por hora laborada y por hora de tiempo no laborado o tiempo perdido se encuentra en el cuadro 24, en el cual muestra el resumen de los costos de operación de riego por aspersión.

Para calcular los costos de tiempos perdidos se separó en tiempos perdidos generados por cuestiones antropológicas y de ambiente, las cuales incluyen costos de mano de obra y renta de maquinaria. Se calcularon por aparte el valor de las horas de tiempos perdidos por causas de fallas mecánicas, las cuales incluyeron costos de mano de obra, costos de reparación y costos de renta. De la misma manera se calculó el valor de hora laborada, la cual incluye costos de mano de obra, insumos y renta de equipos de riego.

Posteriormente, se calculó la significancia del costo de los tiempos perdidos respecto al costo del tiempo total (tiempo laborado + tiempo no laborado). Por último fue necesario incluir labores de movimientos de equipos de riego, es decir, la utilización de tractores para el acarreo de los equipos de riego, lo cual incluye, la utilización de combustible, salarios de operarios de tractores, utilización de accesorios para el transporte de la tubería.

Cuadro 24. Costos de operación y de tiempos perdidos de los equipos de riego.

ID fila	Rubro	Unidad de medida	Categoría de equipo en inventario				Totales
			294	394	5294	269	
1	Mano de obra directa (cuadro 19)	Q./h	40.06	16.02	16.02	40.6	112.70
2	Prestaciones laborales (cuadro 19)	Q./h	8.89	3.81	3.81	8.89	25.40
3	Pagos patronales (cuadro 19)	Q./h	4.77	1.92	1.92	4.77	13.38
4	Reparación de equipos (cuadro 20)	Q./h	9.79	9.39	9.61	15.43	44.22
5	Renta de equipos de bombeo (cuadro 21)	Q./h	15.51	11.4	7.68	17.48	52.07
6	Insumos (cuadro 22)	Q./h	41.82	25.79	36.1	85.63	189.34
7	Costo unitario de hora laborada (1+2+3+4+5+6)	Q./h	120.84	68.33	75.14	172.8	437.11
8	Costo/hora de tiempo perdido por fallas mecánicas (1+2+3+4+5)	Q./h	79.02	42.54	39.04	87.17	247.77
9	Costo/hora de tiempo perdido por factores antropológicos y ambientales (1+2+3+5)	Q./h	69.23	33.15	29.43	71.74	203.55
10	Horas laboradas por categoría	h	26,338	24,140	661	1,554	52,693
11	Horas de tiempos perdidos por fallas mecánicas	h	777	1,048	108	60	1,993
12	Horas de tiempos perdidos por factores de ambiente y antropológicos	h	10,465	7,111	659	1,265	19,500
13	Costo horas laboradas (7*10)	Q.	3,182,683.92	1,649,486.20	49,667.54	268,531.20	5,150,368.86
14	Costo tiempos perdidos por fallas mecánicas (8*11)	Q.	61,398.54	44,581.92	4,216.32	5,230.20	115,426.98
15	Costo tiempos perdidos por factores ambientales y antropológicos (9*12)	Q.	724,491.95	235,729.65	19,394.37	90,751.10	1,070,367.07
16	Costo total de tiempos perdidos	Q.	785,890.49	280,311.57	23,610.69	95,981.30	1,185,794.05
17	Costo total (13+14+15)	Q.	3,968,574.41	1,929,797.77	73,278.23	364,512.50	6,336,162.91
18	Eficiencia de área regada	ha/h	0.29	0.15	0.29	0.41	
19	Costo tiempo efectivo de riego/ha (7/18)	Q./ha	416.69	468.66	259.10	426.67	
20	Costo real de riego/ha (17/(10*18))	Q./ha	519.58	548.30	382.27	579.17	

En el cuadro anterior, se describen los costos directos de los tiempos perdidos para las diferentes categorías de riego, donde se puede observar que los tiempos perdidos por causas directas, es decir, sin incluir el costo de traslado de equipos de riego, tiene un costo de Q. 1,185,794.05; y, se tiene un costo de riego por hectárea más bajo en la categoría 5294 (equipos de mediana capacidad rentados), en comparación con las demás categorías de equipos de riego.

Además de los costos directos, algunas causas generan gastos indirectos, como el caso del traslado de equipo de riego, el cual genera gastos de utilización de tractores para su realización. El costo de la utilización de maquinaria para traslados se presenta de manera general en el cuadro 25. Debido a la dificultad que se presenta para calcular costos de maquinaria para traslado de equipo de riego por categoría de equipo de riego, se calculó de forma general y se sumó al valor de tiempos perdidos.

La información de maquinaria para traslado de equipo de riego fue obtenida de las bases de datos de las administraciones La Giralda y Loma Linda, donde se extrajeron horas laboradas por tractores e implementos para traslado (porta-tubos), así como el salario devengado por los operadores de las mismas.

Cuadro 25. Descripción de costos de combustible y mano de obra de maquinaria para traslado de equipo de riego.

Descripción del costo	La Giralda	Loma Linda
Costo de tiempos perdidos por traslado (sin maquinaria) (Q.)	206,873.31	366,723.70
Horas de maquinaria para traslado	1,808.00	526.00
Costo total de combustible de maquinaria para traslado (Q.)	25,223.97	11,226.15
Costo de operadores de maquinaria para traslado (Q.)	26,035.20	7,574.40
Costo de implementos (porta-tubos) utilizados para traslado (Q.)	36,160.00	10,520.00
Costo total de maquinaria para traslado (Q.)	87,433.56	29,334.95
Sumatoria (Q.)	116,768.51	

De forma resumida se presenta el valor de significancia de los tiempos perdidos en cuanto al costo de los mismos, mostrándose en el cuadro 26.

Cuadro 26. Significancia de tiempos perdidos en base al costo.

Descripción	Valor monetario (Q.)	Porcentaje de significancia (%)
Costo de tiempos perdidos directos	1,185,794.05	18.37
Costo de maquinaria para traslado	116,768.514	1.81
Costo total de tiempos perdidos	1,302,562.56	20.18
Costo tiempo efectivo de riego	5,150,368.86	79.81
Costo total de riego por aspersión	6,452,931.42	100.00

Se tuvo un valor de utilización de maquinaria para traslado de equipo de riego de Q. 116,768.51 para la temporada 2016-2017, lo cual aumenta el costo de los tiempos perdidos en equipos de riego por aspersión a un monto de **Q. 1,302,562.56** para el mismo periodo en la región en estudio, con una significancia del **20.18 %** en base al costo total de la labor de riego para equipos por aspersión tipo cañón, el cual es un alto valor de significancia ya que dicho gasto es realizado sin operar los equipos de riego.

2.6.5 Propuesta de mejora de operación de equipos de riego

Con la finalidad de establecer nuevos parámetros operativos a efecto de reducir los tiempos perdidos y mejorar la eficiencia de los equipos de riego, mediante la determinación de la cantidad de aspersores máxima adecuada de operación por equipo de riego. Por tal razón, se realizaron pruebas de eficiencia de consumo de combustible y de capacidad operativa. En el cuadro 13 se puede observar el caudal aproximado utilizado por los equipos de riego en la operación durante la temporada 2016-2017, que en comparación con el caudal estándar de cada equipo (inciso 2.3.4), resalta una subutilización de los equipos de riego en cuanto al caudal utilizado, y por ende, al número de aspersores.

A. Pruebas de funcionamiento y capacidad operativa

Se realizaron un total de 12 pruebas de funcionamiento y capacidad operativa en equipos de aspersión de categorías 294 (mediana capacidad) y 394 (baja capacidad) respecto al número de aspersores en equipos de aspersión tipo cañón, con la finalidad de determinar parámetros operativos, consumo de combustible y el funcionamiento con un número mayor de aspersores, con visión de mejorar la operación y lograr mayor eficiencia en los equipos.

Los resultados obtenidos demuestran fallas mecánicas en algunos de los equipos evaluados, además se generó información que permitirá realizar modificaciones a la operación de sistemas de riego, duplicando el número de aspersores por turno de riego.

Es importante mencionar que se realizaron pruebas de eficiencia a equipos con categorías 394 y 294 que estaban disponibles en la época de reparación. No se realizaron pruebas a equipos de categoría 269 por la dificultad de manejar gas propano en un recipiente de volumen conocido, además por tener un proveedor de combustible externo a la empresa. Con la categoría 5294 no se realizó prueba, por ser equipo rentado; aunque estas dos últimas categorías representan únicamente dos equipos de riego.

Los parámetros operativos se utilizarán de guía para la operación de los equipos de riego de acuerdo al modelo propuesto en el inciso 2.6.5, donde para las categorías de mediana capacidad (294 y 5294) de regar con dos aspersores de marcas Nelson F150 o Mariner, con un área de riego por día de 5.83 ha, en un marco de riego de 54 m x 54 m, se pasa regar por día 8.10 ha/día con cuatro aspersores marca Komet Twin 101, utilizando un marco de riego de 45 m x 45 m, para los equipos de categoría 294 y 5294.

Para los equipos de categoría 394 se propone cambiar de regar con un aspersor, generalmente de marca Nelson F200, a un marco de riego de 54 m x 54 m, con un área de riego por día de 2.90 ha, a regar 4.05 ha en un marco de riego de 45 m x 45 m con dos aspersores Komet Twin 101.

En el cuadro 27 se pueden observar las lecturas realizadas durante las pruebas de funcionamiento y capacidad operativa realizadas.

Cuadro 27. Resultados de pruebas de eficiencia.

Categoría - Correlativo *	Revoluciones por minuto en motor **	Presión de aceite ***	Temperatura en motor (°C) ****	Caudal (gal/min) *****	Presión de salida (PSI) *****	Consumo combustible (gal/h) *****	Aspersor	Diámetro de boquilla	Presión aspersor (PSI) *****	Área regada por turno de riego (ha)	Cantidad recomendada de aspersores
294-0007	1800	68	90	830	75	3.25	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.81	4
294-0041	1850	60	80	793	72	3.52	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.81	4
294-0042	1600	55	70	766	70	2.78	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.81	4
294-0057	1600	60	75	830	80	3.85	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.81	4
294-0058	1800	50	74	750	65	3.85	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.61	3
294-0173	1900	50	84	800	80	2.86	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.81	4
294-0188	1500	60	70	815	75	2.92	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.81	4
294-0130	1900	65	75	800	56	4.55	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.81	3
394-0002	1800	60	68	400	60	1.67	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.41	2
394-0004	1600	40	65	420	60	1.56	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.41	2
394-0024	1400	50	75	410	60	2	Komet Twin 101	24 mm	40-45	0.41	2

* Categoría - correlativo: se refiere al número código de inventario del equipo evaluado.

** RPM: revoluciones por minuto del motor, con un rango adecuado de 1,600 rpm – 1,900 rpm. Lectura realizada en indicador en panel de control.

*** Presión de aceite en el motor, con un rango adecuado de 40 PSI – 70 PSI de acuerdo a los rangos manejados por los técnicos encargados de las reparaciones. Lectura realizada en indicador en panel de control.

**** Temperatura en motor, con un rango adecuado de 60 °C – 90 °C. Lectura realizada en indicador en panel de control.

***** Caudal que se conduce en tubería principal. Lectura obtenida en caudalímetro instalado en la salida de la tubería principal.

***** Presión de salida de la moto bomba. Lectura tomada en manómetro instalado en la bomba centrífuga de cada equipo.

***** Consumo de combustible, determinado mediante el tiempo llevado para consumirse 10 gal colocados en un recipiente con volumen conocido.

***** Presión de operación de aspersor. Se operó entre el rango de 40 PSI a 45 PSI para tener un traslape entre aspersores entre el 90% - 100%.

Los resultados en las pruebas de capacidad operativa demuestran que se puede ampliar de manera general, el número de aspersores por turno de riego a cuatro en equipos de mediana capacidad (categoría 294), teniendo un área de riego de 0.81 ha, en comparación con las 0.58 ha que se regarían continuando con la operación tradicional.

De la misma manera, en equipos de baja capacidad, que normalmente riegan 0.29 ha por turno de riego, se puede tener un área de riego de 0.405 ha, con dos aspersores Komet Twin 101, como se pudo constatar en las pruebas de funcionamiento realizadas.

A. Recomendación de operación de equipos de riego propuesto a corto plazo

De acuerdo con las pruebas de eficiencia realizadas, el número de aspersores Komet Twin 101 con los que los equipos pueden trabajar en promedio son de cuatro aspersores para las categorías 294, 5294 y 269, y dos aspersores en la categoría 394. Con esta capacidad de trabajo, y aumentando el número de tubería y accesorios por equipo, se pueden reducir los tiempos perdidos por cambios de turnos de riego, para lo cual se propone una línea de conducción principal, con cuatro laterales armadas completamente con hidrantes en toda la longitud de la misma, y que se sustituya los aspersores de “desfogue” (casos 1, 2 y 3), por aspersores funcionales en la siguiente posición de riego, como se puede visualizar en la figura 29.

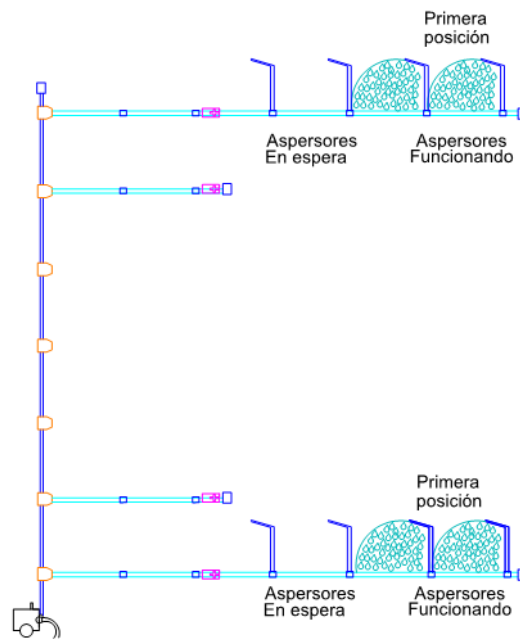


Figura 29. Caso propuesto de operación a corto plazo, turno de riego uno.

Para realizar los cambios de turnos de riego, se ponen a funcionar los aspersores de la segunda posición y se mueven los aspersores de la primera posición hacia una tercera posición. Al llegar a la última posición dentro de un lateral, se cierran una llave de línea instalada en la misma línea de conducción, de tal forma que se pueda trasladar tubería de éste lateral hacia la siguiente posición de lateral, como se muestra en la figura 30.

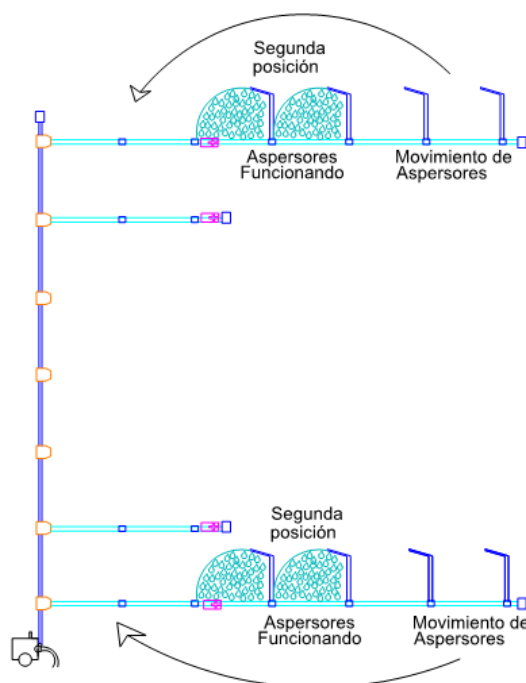


Figura 30. Caso propuesto de operación a corto plazo, cambio de turno de riego.

La ventaja de este método de operación es que se aumenta el número de aspersores trabajando por turno de riego de dos a cuatro, pasando de 0.58 ha/turno de riego a 0.81 ha/turno de riego. Además no hay pérdida en cambios de turnos de riego, los cuales oscilan entre los 15 min - 20 min, con lo que se trabajará de una forma más eficiente en el uso del tiempo y del recurso agua.

Para los equipos de baja capacidad, la propuesta de operación se basa en el trabajo de dos aspersores simultáneos por turno de riego, evitando perder tiempo en los cambios de turno de riego, para lo que se puede seguir la metodología anterior, haciendo la salvedad, de la diferencia del número de aspersores operando.

A. Plan de manejo para la reducción de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón

Con la finalidad de utilizar eficientemente los equipos de riego, se propone seguir las siguientes recomendaciones:

a. Establecimiento de tiempos de riego por turno

Para esto se realizó de forma general un diseño agronómico que comprende los marcos de riego utilizados en la región y con los aspersores de mayor utilización. Se tomó como valores constantes una evapotranspiración diaria de 5 mm, profundidades radiculares en la etapa de iniciación de 20 cm, 40 cm en la etapa de macollamiento y 60 cm en la etapa de elongación. Para las texturas de suelo presentadas se utilizaron valores estándar de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente e infiltración básica, los cuales se muestran en el cuadro 28, tomadas de (Sandoval Illescas, 2007).

Cuadro 28. Valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente e Infiltración estándar de texturas de suelos.

Textura Suelo	Capacidad de campo %	Punto de marchitez permanente %	Densidad aparente (g/cm ³)	Infiltración básica mm/h
Arenoso	9	4	1.35	50
Franco Arenoso	14	6	1.5	25
Franco	22	10	1.2	13
Franco Arcilloso	27	13	1.35	8
Arcillo Arenoso	31	15	1.3	5.5
Arcilloso	35	17	1.25	4

En los cuadros 35A – 40A se muestra una propuesta de guía para modificar los tiempos de riego por turno, los cuales en el tiempo del presente estudio, se trabajaba uniformemente sin importar textura del suelo y edad del cultivo.

b. Estrategias para disminuir los tiempos en traslados de riego**i. Asignación de los bloques de riego**

De acuerdo a las pruebas de funcionamiento realizadas, se determinó que los equipos de aspersión de baja capacidad (categoría de inventario 394) pueden operar con dos aspersores Komet Twin 101, en un marco de riego de 45 m x 45 m. La mayoría de los equipos con mediana capacidad, con categorías de inventario 294, 269 y 5294, pueden laborar con cuatro aspersores Komet Twin 101 o tres aspersores marca Nelson F150.

Tomándose como referencia lo anterior se sugiere asignar un bloque de 40.50 ha – 56.70 ha para los equipos de baja capacidad para mantener una frecuencia de riego de 10 días a 14 días, teniendo una eficiencia de utilización del tiempo aproximada del 83 % de h/día. Para los equipos de mediana capacidad, se sugiere asignar áreas desde los 81 ha hasta 110 ha para mantener una frecuencia de riego similar con aprovechamiento del tiempo igual.

En las imágenes 29 y 30 se muestra una propuesta de asignación de bloques de riego con los equipos que actualmente se tienen en el inventario de equipos de riego de la región cuatro del Ingenio Santa Ana. La elaboración de estos bloques de riego se realizó en conjunto con mayordomos de riego de ambas administraciones, lo cual se muestra en el cuadro 29.

Es importante mencionar que no se cuenta con una cantidad de equipos adecuada para satisfacer las necesidades hídricas de toda el área productiva, por lo existen a las que no se les puede brindar riego con los equipos que actualmente se tienen y siguiendo la metodología de asignación de bloques de riego a cada equipo, se tendría que la necesidad de abastecer con más equipos de riego. En el cuadro 30 se muestran las áreas que necesitan de asignación de un nuevo equipo de riego.

Cuadro 29. Descripción de los bloques de riego propuestos en la región cuatro del Ingenio Santa Ana.

Administración	Equipo	Finca	Área bloque (ha)	Marco riego (m x m)		ha/día	Frecuencia ajustada (días)	Observaciones
Loma Linda	394-0001	El Esfuerzo	39.28	45	45	4.05	10	Con 2 aspersores
	394-004	Argentina	21.07	45	45	4.05	5	Con 2 aspersores
	294-0055	Victorias-El Triunfo	58.88	45	45	8.10	8	Con 4 aspersores
	394-0024	Victorias	34.11	45	45	4.05	9	Con 2 aspersores
	294-0153	Victorias	53.87	45	45	8.10	10	Con 4 aspersores
	394-0002	Victorias	49.65	45	45	4.05	13	Con 2 aspersores
	294-0188	Loma Linda	94.36	45	45	8.10	12	Con 4 aspersores
	294-0041	Loma Linda	83.69	45	45	8.10	11	Con 4 aspersores
	294-0130	La Fronda	92.46	45	45	8.10	12	Con 2 aspersores
	5294-0001	Chapulco	93.73	45	45	8.10	12	Con 2 aspersores
	307-0022	Victorias	89.41	18	12	9.07	10	Equipo mini aspersión (proyecto de inversión aprobado)
	307-0023	Victorias	111.11	18	12	10.36	11	
La Giralda	294-0173	El Bosque- Maria Deli- Porvenir Valladares	126.98	45	45	8.10	17	Con 4 aspersores
	294-0042	La Giralda	105.73	45	45	8.10	13	Con 4 aspersores
	294-0057	Santa Clara	105.37	45	45	8.10	13	Con 4 aspersores
	294-0054	La Floresta	37.27	45	45	8.10	5	Con 4 aspersores
	294-0007	El Recuerdo	73.4	45	45	8.10	9	Con 4 aspersores
	394-0027	Las Morenas-La Perla	50.74	45	45	4.05	13	Con 2 aspersores
	394-0025	Sacramento- Carlos Amaya	44.52	45	45	4.05	11	Con 2 aspersores
	294-0058	La Giralda	85.03	45	45	4.05	11	Con 4 aspersores
	269-0003	Botón Blanco II	84.47	45	45	8.1	11	Con 4 aspersores
	394-0003	La Giralda	Vacios pivote	45	45	4.05	X	Con 2 aspersores
	266-0001	La Giralda						
	396-0009	La Giralda	141.93	x	x	18.86	14	Pivote central

En el cuadro anterior hay equipos con categoría de inventario número 307, la cual se refiere a equipos de mini aspersión y un equipo con categoría de inventario 266, que se refiere a equipo de riego mecanizado tipo pivote central. Además existe un área de riego por gravedad, como se detalla en las figuras 31 y 32, aunque tiene restricción en la utilización del recurso hídrico, por lo cual en ocasiones se le brinda riego por aspersión tipo cañón.

Cuadro 30. Área sin equipo de riego asignado.

Administración	Finca	Área sin regar (ha)	Total (ha)
Loma Linda	La Fronda	91.63	107.95
	El Relicario	16.32	
La Giralda	La Giralda	365.55	659.14
	El Recuerdo	55.70	
	El Prado	48.47	
	Santa Teresa	55.27	
	Byron Rosales	2.84	
	Relicario Pto. San José	30.64	
	Luis Walters	13.66	
	Sacramento	87.01	
Total			767.09

Para las áreas sin asignación de equipo de riego, es necesario evaluar la factibilidad de instalación de equipos de riego ya que se contaría con el 30 % del área con déficit, aunque el área con riego recibiría el manejo adecuado del mismo, manteniendo frecuencias de riego acordes a las necesidades del cultivo.

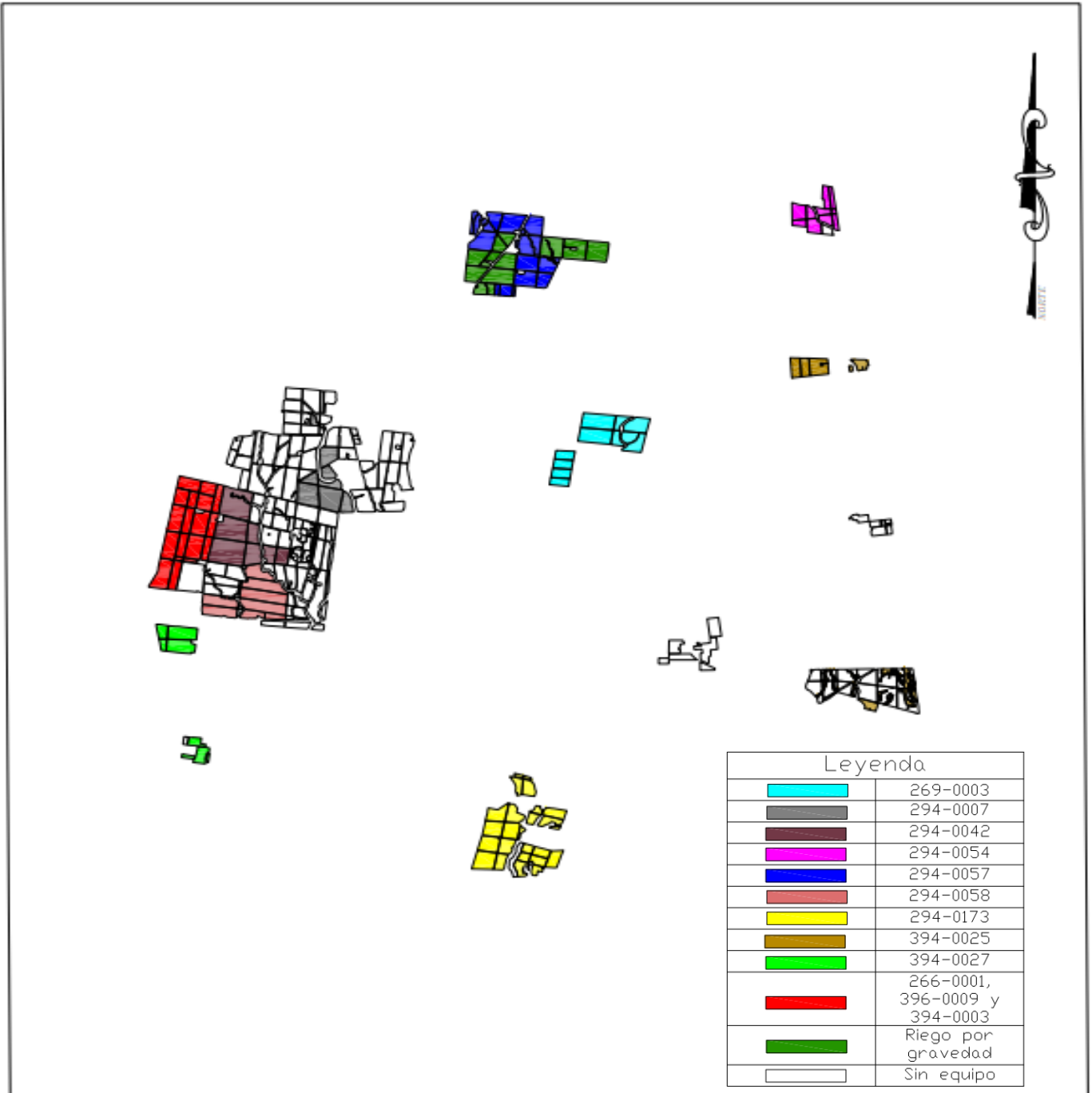


Figura 31. Bloques de riego en la administración La Giralda.

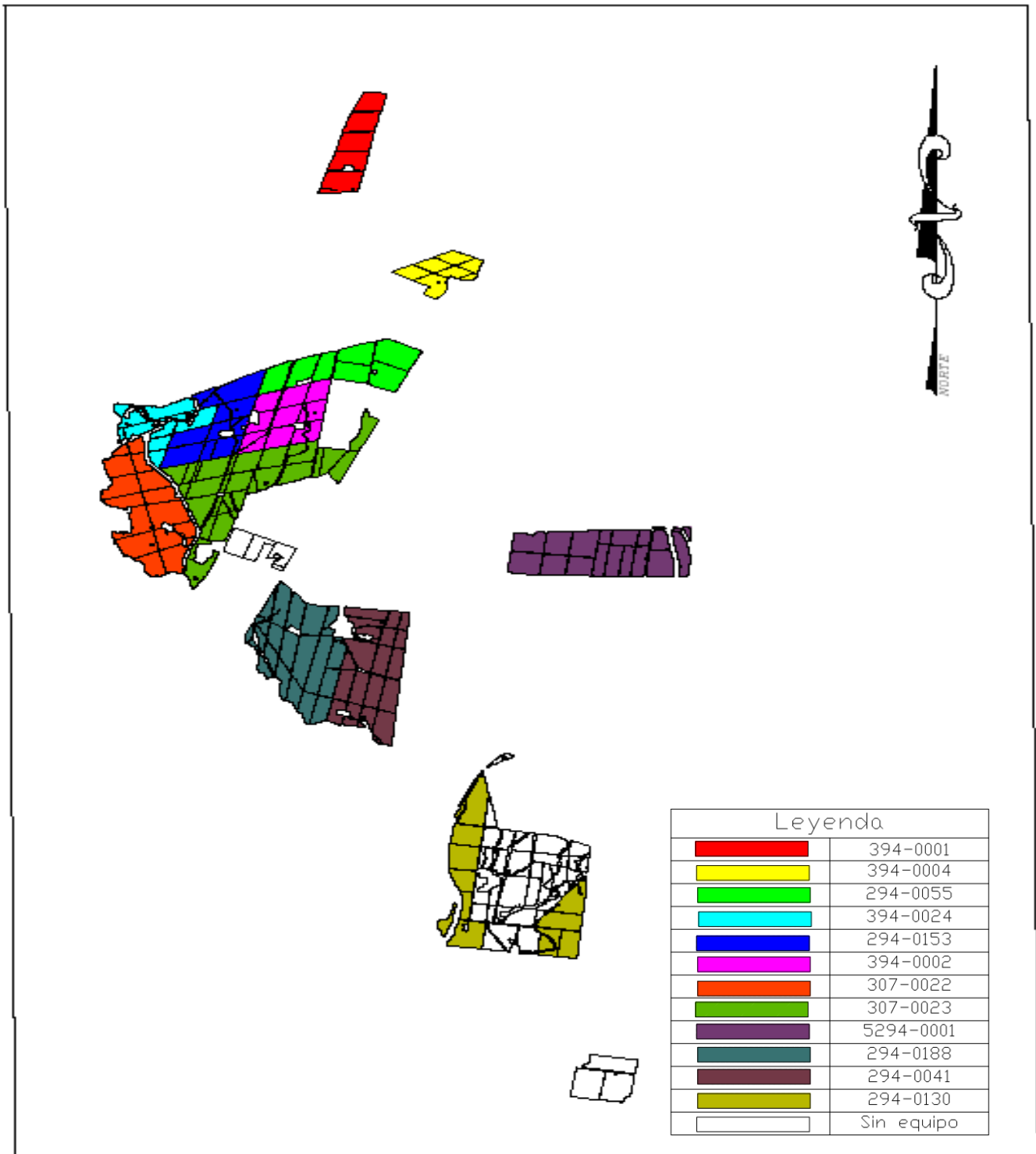


Figura 32. Bloques de riego, administración Loma Linda.

ii. Operación en los cambios de turno de riego

Se debe complementar los equipos de riego con aspersores, hidrantes y válvulas de línea, de manera que se tenga una cantidad de aspersores similar en funcionamiento y en espera, para que estos segundos se encuentren en la siguiente posición de riego, y se disminuyan los tiempos perdidos por cambios de turnos de riego, pudiéndose observar el funcionamiento de los equipos en el caso de operación propuesto (inciso 2.6.5).

c. Estrategias para reducción de tiempos perdidos a causa de fallas mecánicas

- En tiempo de reparación realizar servicios generales a los equipos de bombeo y tubería para que estén en óptimas condiciones en la época de riego.
- Complementar stock de repuestos en los cascos de finca para reparar las fallas mecánicas más comunes.
- Verificar mecanismos de acción para mantenimiento correctivo de equipos de riego, es decir, que las reparaciones sean realizadas en el menor tiempo posible.

d. Estrategias de adaptación a factores ambientales

- Para el caso de las altas velocidades del viento reducir marcos de riego a 36 m x 36 m cuando las velocidades oscilen entre los 10 km/h y 19 km/h y suspender labores cuando se alcance una velocidad igual o mayor a los 20 km/h.
- Para mejorar la disponibilidad de agua se debe dar mantenimiento a las fuentes de agua existentes como reservorios y perforar pozos o construir norias en áreas de poca disponibilidad hídrica.
- Parar labores de riego en eventos de lluvia con valores mayores a los 15 mm.

2.6 Conclusiones

1. Los equipos de alta capacidad cuentan con un equipo de bombeo con capacidad de descarga entre los 800 gal/min – 1,100 gal/min, cuentan con 220 tubos de aluminio de 6 in de diámetro, 24 hidrantes, cuatro codos abreválvulas, dos llaves de línea, cuatro aspersores Komet Twin 101 y cuatro tapones finales, regando 0.81 ha/turno de riego en un marco de riego de 45 m x 45 m.
2. Los equipos de mediana capacidad, cuentan con un equipo de bombeo con capacidad de descarga de 800 gal/min, 180 tubos de aluminio de 6 in de diámetro, 20 hidrantes, cuatro tapones finales, dos llaves de línea y cuatro aspersores Nelson F150 o Mariner, regando 0.58 ha/turno de riego en un marco de 54 m x 54 m.
3. Los equipos de baja capacidad cuentan con un equipo de bombeo con capacidad estándar de 400 gal/min, 130 tubos de aluminio de 6 in y 5 in de diámetro, 16 hidrantes, dos codos abreválvula, dos tapones finales y dos aspersores marca Nelson F200, regando 0.29 ha/turno de riego en un margo de riego de 54 m x 54 m.
4. Se cuantificó un total de 21,493 h de tiempo perdido en 21 equipos de riego por aspersión tipo cañón en la región cuatro del Ingenio Santa Ana en los municipios de San José y La Gomera, lo cual representó un 42.94 % de las horas disponibles para efectuar la labor de riego en ese periodo.

5. El problema principal que generó tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón para el periodo productivo 2016-2017 fue la falta en planificación de las labores de riego, lo que se manifestó con un alto valor de incidencia en la causa de traslado de equipo de riego, el cual representó un del 48.59 % del total de tiempos perdidos con un valor de 10,894 h de paro, teniendo además causas de alta incidencia como la falta de área para riego con un 11.96 %, altas velocidades de viento con 8.65 %, fallas mecánicas con 8.81 % y falta de agua con un 8.47 %, todas en relación al valor total de tiempos perdidos.
6. El costo total de los tiempos perdidos ascendió a un monto de Q. 1,302,562.56 representando un 20.18 % del costo de la labor de riego.
7. Los costos unitarios por hora de tiempo perdido por fallas mecánica ascendió a un valor de Q. 79.02 para la categoría de mediana capacidad, Q. 42.54 en la categoría de baja capacidad, Q. 39.04 en la categoría de mediana capacidad rentados y Q. 87.17 en la categoría alta capacidad.
8. Los costos unitarios para la hora de tiempo perdido por causas antropológicas y ambientales es de Q. 69.23, Q. 33.15, Q. 20.43 y Q. 71.74 para las categorías de mediana capacidad, baja capacidad, mediana capacidad rentados y alta capacidad, respectivamente.
9. La propuesta de operación de equipos de riego por aspersión tipo cañón incluye el aumento de aspersores operando por turno de riego, pasando de dos aspersores a cuatro Komet Twin 101 en las categorías de mediana capacidad y mediana capacidad rentados, mientras que la categoría de baja capacidad pasar de operar un aspersor Nelson F200 a dos aspersores Komet Twin 101; además de la adecuación de tiempos de riego a características texturales del suelo y estado fenológico de la planta, mediante la realización de diseño agronómico de equipos de riego.

2.7 Recomendaciones

1. Elaborar una planificación de labores de riego, con fines de disminuir tiempos perdidos en los traslados de equipo de riego para las administraciones La Giralda y Loma Linda
2. Además de estrategias de reducción de tiempos perdidos a causa de **traslados de equipo de riego**, para ambas administraciones, se deben diseñar estrategias para la reducción de tiempos perdidos por causas **de falta de área y falta de agua** para la administración La Giralda, y las causas de **fallas mecánicas y falta de agua** para la administración Loma Linda, ya que de acuerdo al principio de Pareto, al atacar las causas más frecuentes las otras causas serán anuladas automáticamente.
3. Para reducir los traslados de equipos de riego estos deben ser planificados con anterioridad, para programar personal y maquinaria de apoyo para realizar el mismo en el momento adecuado.
4. Se deben crear bloques de riego para asignar un área de operación a cada equipo de riego por aspersión cañón, de tal manera que operen únicamente en dichos bloques y se evite el movimiento de equipos hacia diferentes fincas, disminuyendo la incidencia de traslados de equipos de riego.
5. Para la reducción de fallas mecánicas de debe brindar servicios generales de reparación a equipos de bombeo, tubería, accesorios y aspersores en la época de reparación, de tal manera que cuando inicie el periodo de riego, estos estén en óptimas condiciones para operar; además, se debe complementar stock de repuestos en finca y evaluar sistema de mantenimiento correctivo, para que las reparaciones durante el periodo de trabajo de los equipos sea realizado en el menor tiempo posible.

6. Para adaptarse a condiciones de viento desfavorables, se deben reducir marcos de riego a 36 m x 36 m con velocidades del viento entre los 15 km/h a los 20 km/h, y superior a esta segundo, frenar momentáneamente hasta que los eventos de alta velocidad disminuyan.
7. Para disminuir el tiempo perdido por falta de agua se deben perforar pozos o construir reservorios en la zona productiva, darle mantenimiento a las fuentes de agua ya instaladas para evitar la disfuncionalidad de las mismas por socavación.

2.8 Bibliografía

1. Álvarez Cardona, A. 2004. Administración de maquinaria agrícola (en línea). Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 258 p. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/10265/>.
2. Barneond Azurdia, JF. 2011. Análisis de la operación de riego por aspersión en caña de azúcar con miras de mejoras técnicas y económicas, Ingenio Magdalena S.A. La Democracia, Escuintla, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 131 p. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6888/1/An%C3%A1lisis%20de%20la%20operaci%C3%B3n%20del%20riego%20por%20aspersi%C3%B3n%20en%20ca%C3%B1a%20de%20azucar%20con%20fines%20de%20mejoras%20t%C3%A9cnicas%20y%20econ%C3%B3micas%2C%20Ingenio%20Magdalena%20S%2CA%2C%20La%20Democracia%2C%20Escuintla%2C%20Guatemala%202011.pdf>
3. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Capacitación e Investigación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2016. Base de datos de texturas de suelo en la zona cañera de Guatemala (correo electrónico). Escuintla, Guatemala.
4. Cuevas Villegas, CF. 2001. Contabilidad de costos. 2 ed. Bogotá, Colombia, Pearson Education de Colombia. 328 p.
5. Dávila Cárdenas, R. 2005. Administración y planificación de maquinaria agrícola. Caracas, Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humístico.
6. Fuentes Palala, MA. 2007. Análisis comparativo de los costos de operación de los equipos de riego mecanizado (pivotes), en la Corporación Pantaleón Concepción S.A., Siquinalá, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 153 p. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1803.pdf
7. González Fernández, FJ. 2005. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. 2 ed. Madrid, España, FC Editorial. 575 p. Disponible en https://books.google.com.gt/books/about/Teor%C3%ADa_y_pr%C3%A1ctica_del_mantenimiento_in.html?id=OzwXOAKv_QAC&redir_esc=y
8. Horngren, CT; Foster, G; Datar, SM. 2007. Contabilidad de costos: Un enfoque gerencial (en línea). 12 ed. México, Pearson Educación / Prentice Hall. 868 p. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=zDCb9fDzN-gC>

9. ICC (Instituto Privado de Investigación contra el Cambio Climático, Guatemala). 2018. Estaciones meteorológicas, estación La Giralda (en línea). Consultado 14 ene. 2018. Disponible en <https://redmet.icc.org.gt/>
10. Ingenio Santa Ana, Departamento de Ingeniería Agrícola, Guatemala. 2017a. Descripción de área de riego. Escuintla, Guatemala.
11. _____. 2017b. Mapas de características de la región 4 del ingenio Santa Ana. Escuintla, Guatemala.
12. Ingenio Santa Ana, Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos, Guatemala. 2017. Costo de maquinaria; Periodo mayo 2016 a abril 2017. Escuintla, Guatemala.
13. Jhon Deere, USA. 2018. Manuals and training (en línea). Consultado 15 ene. 2018. Disponible en <https://www.deere.com/en/parts-and-service/manuals-and-training/>
14. Jimenez Boulanger, F; Espinoza Gutierrez, CL. 2007. Costos industriales (en línea). Cartago, Costa Rica, Editorial Técnica de Costa Rica. 580 p. Disponible en https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jRdhIWgPe60C&oi=fnd&pg=PA15&dq=articulos+de+costos&ots=m2B5Ozg4S2&sig=1p_pXIYgfS1KQmJ2eZe5Y5ave4A#v=onepage&q=articulos+de+costos&f=false
15. Komet Irrigation, USA. 2017. Komet Twin (en Línea). Consultado 10 mar. 2018. Disponible en <http://www.kometirrigation.com/es/twin/>
16. Kume, H. 1992. Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. México, Norma. 232 p.
17. Morales, M. 2018. Desperfectos mecánicos más comunes en equipos de bombeo (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana, Departamento de Riegos.
18. Murillo García, N. 1987. Tractores y maquinaria agrícola. 2 ed. San José, Costa Rica, EUNED. 252 p.
19. Nelson Irrigation, USA. 2017. Aspersores tipo cañón (en línea). Consultado 10 ene. 2018. Disponible en <http://www.nelsonirrigation.com/products/family/big-gun-sprinklers>
20. Ojeda Ramírez, MM; Welsh Rodríguez, CM; Arroyo López, V. 2005. El tiempo perdido. In Universidad Veracruzana, México. Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz. México. p. 269-281. Disponible en https://www.uv.mx/eventos/inundaciones2005/PDF/17_TIEMPO0.pdf

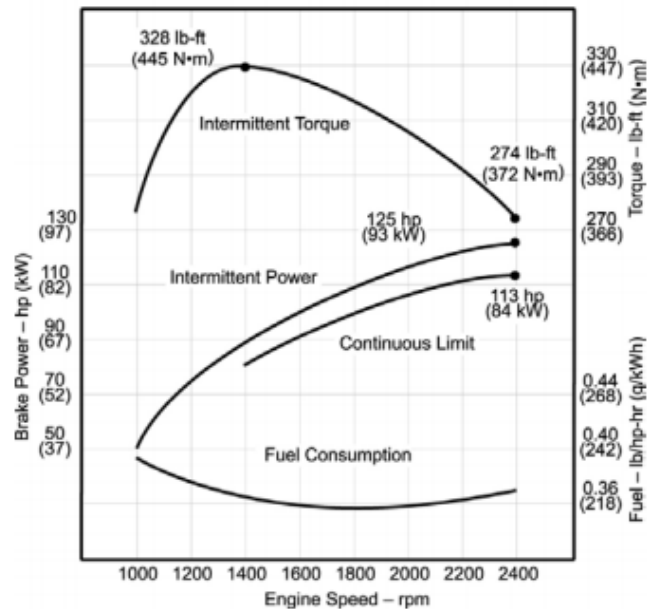
21. Orbe, G; Plaza, G. 1988. Consideraciones básicas para la selección de maquinaria agrícola. Quito, Ecuador, INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Ingeniería Agrícola. 12 p. (Serie Didáctica no. 5).
22. Ortíz, M. 2017. Diagrama de Pareto en Excel (en línea). Excel Total. Consultado 11 ene. 2018. Disponible en <https://exceltotal.com/diagrama-de-pareto-en-excel/>
23. Paez Castillo, CM. 2012. Diseño de un sistema para calcular los costos directos operacionales de transporte de carga de Prakxon Logística en Bogotá, Medellín y Cali y desde y hacia los municipios aledaños a estas ciudades, que sirva de base para tomar mejores decisiones en el proceso de negociación con clientes y transportistas. Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería. 263 p. Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13668/PaezCastilloClaudiaMarcela2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
24. Pinto Rodríguez, J. 2016. Operaciones auxiliares de riego en cultivos agrícolas (en línea). Antequera, España, IC Editorial. 174 p. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=2PGTCwAAQBAJ>.
25. Rocafort Nicolau, A; Ferrer Grau, V. 2010. Contabilidad de costes. Barcelona, España, Profit Editorial. 280 p.
26. Sandoval Illescas, J. 2007. Principios de riego y drenaje (en línea). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial Universitaria. 367 p. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=afqo6tXEvtQC>
27. SIME, Italia. 2017. Fichas técnicas aspersores de largo y medio chorro con movimiento a turbina (en línea). Consultado 10 mar. 2018. Disponible en <http://www.sime-sprinklers.com/es/aspersores-de-largo-y-medio-chorro-con-movimiento-a-turbina.html>
28. Soto Montero, MA. 2006. Estudio de tiempos muertos y evaluación de la eficiencia del proceso de moldeo convencional de plástico por medio de la eficiencia global del equipo (OEE) en la empresa Hospira Holdings LTDA. Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 79 p.
29. Tarjuelo, JM. 2005. El riego por aspersión y su tecnología (en línea). España, Mundi-Prensa. 581 p. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=wMJzLxduGjsC>



2.9 Anexos

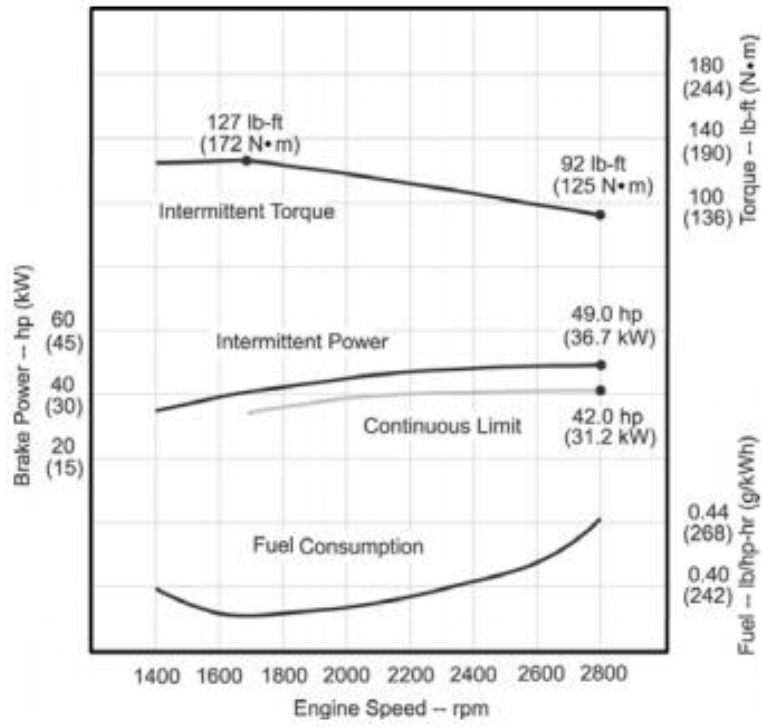
2.9.1 Curvas de eficiencia de motores de equipos de riego de motores John Deere modelos 4045Tf250 y 3029TF129

Para el caso de los motores John Deere, los más comunmente utilizados para equipos de bombeo, las curvas de eficiencia muestran condiciones de trabajo como potencia, revoluciones por minuto y consumo de combustible, siempre y cuando estos se desempeñen de manera correcta, las cuales se pueden utilizar para proyectos de determinación de cargas por equipo. En las figuras 33A y 34A se muestran las curvas de eficiencia de los motores John Deere 4045TF250 y 3029TF129, comunmente utilizados en la región en estudio. En ambos casos se puede observar una mayor eficiencia en el consumo de combustible y generación de potencia de operación en el rango de los 1,800 rpm – 2,000 rpm.



Fuente: Fuente: John Deere, 2018.

Figura 33A. Curva de desempeño para motor John Deere 4045TF250.



Fuente: Fuente: John Deere, 2018.

Figura 34A. Curva de desempeño para motor John Deere 3029TF129.

2.9.2 Causas documentadas de tiempos perdidos en la región cuatro del Ingenio Santa Ana en la zafra 2016-2017

Cuadro 31A. Causas documentadas de tiempos perdidos en riego por aspersión tipo cañón en la región cuatro del Ingenio Santa Ana.

Código de Causa	Descripción
101	Falta de agua
102	Falta de materiales
103	Problemas de succión
104	Defectos en tubería
105	Taponeo de pichacha
106	Traslado de equipo de riego
107	Limpieza de implemento
108	Falla mecánica
109	Mantenimiento diario
110	Mantenimiento preventivo
111	Falla de operación
112	Atascamiento
113	Problemas con accesorios
114	Falta de combustible
115	Lluvia
116	Falta de personal
	Falta de personal para traslado
117	Alimentación
118	Falta de área
	Falta de área debido a siembra
	Área terminada
119	Problemas con llantas
120	Otros
	Viento
	Falta de maquinaria para traslado
	Ingreso de agua salada
	Aplicación de herbicidas
	Falta de brechas
	Por fertilización
	Problemas con operador

Fuente: Departamento de Planificación y Control de Productividad de Riegos, 2017.

2.9.3 Fichas técnicas de aspersores tipo cañón utilizado en la región cuatro del Ingenio Santa Ana

Los aspersores utilizados son los de la marca Komet Twin 101 con boquilla de 0.95 in, aspersores Nelson serie F100 con boquilla de 1 in, Nelson serie F150 con boquillas de 0.95 in y 1 in, y Nelson serie F200 con boquilla de 1.05 in, para los cuales se muestran los datos de caudal de descarga y diámetro de mojado a diferentes presiones de operación, los cuales pueden ser utilizados para administrar el distanciamiento entre aspersores y laterales de riego, con el fin de manejar traslapes de mojado, para asegurar una uniformidad en el área de riego.

Cuadro 32A. Ficha técnica de aspersor Komet Twin 101 con boquilla de 0.95 in.

Presión PSI	Caudal de descarga (L/s)	Diámetro de mojado (m)
29.01	8.62	69.40
36.26	9.72	75.60
43.51	10.65	81.00
50.76	11.50	86.00
58.02	12.29	90.40
65.27	13.04	94.60
72.52	13.74	98.40
79.77	14.42	102.00
87.02	15.06	105.40
94.27	15.67	108.80

Fuente: Komet Irrigation, 2017.

Cuadro 33A. Ficha técnica de aspersor Nelson serie F100 con boquilla de 1 in.

Presión PSI	Caudal de descarga (L/s)	Diámetro de mojado (m)
50	12.87	91.00
60	14.13	96.00
70	15.33	103.00
80	16.28	108.00
90	17.28	118.00
100	18.23	113.00
110	19.18	116.00

Fuente: Nelson Irrigation, 2017.

Cuadro 34A. Ficha técnica de aspersor Nelson serie F150 con boquillas de 0.95 in y 1 in.

Boquilla	Boquilla de 0.95 in		Boquilla de 1 in	
Presión (PSI)	Caudal de descarga (L/s)	Diámetro de mojado (m)	Caudal de descarga (L/s)	Diámetro de mojado (m)
50	11.65	91.50	12.90	95.00
60	12.85	96.00	14.20	99.00
70	13.95	101.00	15.50	104.00
80	14.80	105.00	16.40	108.00
90	15.70	108.00	17.30	111.00
100	16.55	111.00	18.30	114.00
110	17.40	114.00	19.20	117.00
120	18.25	117.00	20.20	120.00

Fuente: Nelson Irrigation, 2017.

Cuadro 35A. Ficha técnica de aspersor Nelson F200 con boquilla de 1.05 in.

Presión PSI	Caudal de descarga (L/s)	Diámetro de mojado (m)
60	15.77	105.00
70	16.40	110.00
80	17.03	114.00
90	19.56	119.00
100	20.50	91.00
110	21.45	125.00
120	22.39	128.00
130	23.34	130.00

Fuente: Nelson Irrigation, 2017.

Cuadro 36A. Ficha técnica para aspersor Mariner con boquilla de 1.05 in.

Presión PSI	Caudal de descarga L/seg	Diámetro de mojado (m)
44	13.33	84.00
56	15.43	94.00
70	17.27	102.00
85	18.92	108.00

SIME, 2017.

2.9.4 Descripción de textura de suelo por lote en la región cuatro del Ingenio Santa Ana

En el cuadro 37A y 38A se muestra la textura de suelo por lote de las fincas en las administraciones Loma Linda y La Giralda, respectivamente, obtenidos de la base de datos de textura del Ingenio Santa Ana.

Cuadro 37A. Textura de suelos en administración Loma Linda.

Finca	Textura de Suelo	Área (ha)	Lotes
Argentina	Franco Arenoso	24.60	1, 2, 3, 4, 5, 6
Chapulco	Arenera	36.56	7, 9, 10
	Franco	57.70	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8
El Esfuerzo La Gomera	Franco Arenoso	40.27	1, 2, 3
El Relicario La Gomera	Franco Arenoso	16.33	1
El Tesoro La Gomera	Franco Arenoso	20.00	1, 2
El Triunfo La Gomera	Franco Arenoso	54.70	1, 2, 3, 4, 5, 5A
La Fronda	Arenera	38.08	1, 4, 9
	Franco	100.87	5, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17
	Franco Arcilloso	8.50	18
	Franco Arenoso	30.52	2, 3, 6, 8
	Franco Limoso	10.32	10
Las Victorias	Arenera	13.03	103
	Franco	113.68	102, 104, 106, 107, 201, 202A, 203A, 205
	Franco Arenoso	197.40	101, 105, 202B, 203B, 204, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213
Loma Linda	Arcilloso	2.05	12
	Arenera	50.43	7, 8A, 8B, 9A, 10A, 11B, 15
	Franco	63.08	1, 5, 9B, 10B, 11C, 12B, 12C, 13B, 14A, 14B, 16, 21
	Franco Arcillo Arenoso	8.80	13A, 20
	Franco Arcilloso	20.83	17, 18, 19
	Franco Arenoso	29.81	2, 3, 4, 6
	Franco Limoso	4.96	11A

Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola Ingenio Santa Ana, 2017.

Cuadro 38A. Textura de suelos por lote en administración La Giralda.

Finca	Textura de Suelo	Área (ha)	Lotes
Botón Blanco	Arenera	16.36	1
	Franco Arcilloso	6.37	2
Botón Blanco II	Arenera	28.85	1, 3
	Franco	20.73	2, 4
	Franco Arenoso	30.78	5A, 5B, 6A, 6B
Byron Rosales	Franco	3.79	1
El Bosque	Arenera	37.13	5, 6, 7, 8
	Franco	40.29	1, 2, 3, 4, 10
	Franco Arenoso	5.17	9
El Jazmín	Arenera	4.00	5B
	Franco	30.42	1, 2, 3, 4A, 5A
El Porvenir Valladares	Arenera	8.82	2,6
	Franco Arenoso	24.24	1, 2, 4, 5, 7
El Prado	Arenera	9.91	102
	Franco	19.40	104, 105
	Franco Arenoso	18.54	101, 103
El Recuerdo	Arenera	73.94	3A, 3B, 5, 8, 9, 10, 11
	Franco Arcilloso	20.41	1, 4, 7
	Franco Arenoso	6.76	2
	Franco Limoso	25.18	6, 12
El Relicario Pto. San José	Franco Arenoso	28.61	1
El Sacramento	Arenera	49.95	3, 4, 8, 9, 10
	Franco Arenoso	57.07	1, 1A, 2, 2A, 4A, 5, 5A, 6, 6A, 7, 7A, 10A
La Floresta	Franco Arenoso	40.16	1, 2, 3, 4
La Giralda	Arenera	335.84	102, 106, 107, 111, 119, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 133, 134, 136, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 213, 216
	Franco	123.37	101, 103, 104, 105, 108, 109, 115, 116, 118, 122, 129, 132, 135, 136
	Franco Arenoso	145.05	112, 113, 114, 117, 211, 212, 214, 215A, 215B, 301, 302, 303A, 303B, 304, 305, 306A, 306B, 307
	Franco Limoso	36.55	110, 120, 121, 123
Las Morenas	Franco Arenoso	30.48	1, 2
Lorena María	Franco Arenoso	4.31	1
Luis Walters	Franco	1.32	1
María Deli	Franco Arenoso	17.15	1, 2
Santa Clara	Arenera	72.60	3, 7, 8, 12, 13, 14
	Franco Arenoso	104.22	1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 15, 16
Santa Teresa (Pto. San José)	Franco Arenoso	60.43	1, 2, 3, 4, 5, 6
Telma Godoy	Franco Arenoso	8.80	1

Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola Ingenio Santa Ana, 2017.

2.9.5 Tiempos de riego por turno de riego

En los cuadros del 39A al 44A se presentan los tiempos de riego por turno de riego calculados mediante diseño agronómico de sistemas de riego tomando en cuenta los aspersores de mayor utilización como lo son los de la marca Nelson F150 y Komet Twin 101, en diferentes texturas de suelo y etapas fenológicas del cultivo de caña de azúcar. Los marcos de riego propuestos para el aspersor marca Komet Twin 101 son de 45 m x 45 m y 45 m x 36 m, mientras que para el aspersor marca Nelson F150 se propone un marco de riego de 45 m x 45 m. Los tiempos de riego propuestos deben ser ajustados a valores de tiempo manejables de acuerdo al área de riego.

Cuadro 39A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura arenosa.

Textura suelo	Tipo aspersor	Etapas fenológica	Marco de riego (m x m)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	Tiempo de riego diseño agronómico (h)	Tiempo de riego ajustado (h, min)
Arenosa	Nelson F150	Iniciación	45 x 45	9	12	0.52	30 min
		Macollamiento	45 x 45	18	24	1.05	1 h
		Elongación	45 x 45	27	36	1.6	1 h con 30 min
	Komet Twin 101	Iniciación	45 x 45	9	12	0.59	40 min
			45 x 36	9	12	0.47	30 min
		Macollamiento	45 x 45	18	24	1.18	1 h con 15 min
			45 x 36	18	24	0.95	1 h
		Elongación	45 x 45	27	36	1.77	1 h con 45 min
45 x 36	27		36	1.42	1 h con 30 min		

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 40A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franco arenosa.

Textura suelo	Tipo aspersor	Etapas fenológica	Marco de riego (m x m)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	Tiempo de riego diseño agronómico (h)	Tiempo de riego ajustado (h, min)
Franco Arenosa	Nelson F150	Iniciación	45 x 45	15	20	0.87	1 h
		Macollamiento	45 x 45	30	40	1.74	1 h con 45 min
		Elongación	45 x 45	45	60	2.62	2 h con 30 min
	Komet Twin 101	Iniciación	45 x 45	15	20	0.99	1 h
			45 x 36	15	20	0.79	1 h
		Macollamiento	45 x 45	30	40	1.97	2 h
			45 x 36	30	40	1.56	1 h con 30 min
		Elongación	45 x 45	45	60	2.96	3 h
45 x 36	45		60	2.37	2 h con 45 min		

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 41A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franca.

Textura suelo	Tipo aspersor	Etapas fenológica	Marco de riego (m x m)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	Tiempo de riego diseño agronómico (h)	Tiempo de riego ajustado (h, min)
Franca	Nelson F150	Iniciación	45 x 45	18	24	1.05	1 h
		Macollamiento	45 x 45	36	48	2.09	2 h
		Elongación	45 x 45	54	72	3.14	3 h
	Komet Twin 101	Iniciación	45 x 45	18	24	1.18	1 h con 20 min
			45 x 36	18	24	0.95	1 h
		Macollamiento	45 x 45	36	48	2.37	2 h con 30 min
			45 x 36	36	48	1.81	2 h
		Elongación	45 x 45	54	72	3.55	3 h con 30 min
45 x 36	54		72	2.84	3 h		

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 42A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franco arcillosa.

Textura suelo	Tipo aspersor	Etapa fenológica	Marco de riego (m x m)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	Tiempo de riego diseño agronómico (h)	Tiempo de riego ajustado (h, min)
Franco Arcillosa	Nelson F150	Iniciación	45 x 45	24	32	1.40	1 h con 30 min
		Macollamiento	45 x 45	48	64	2.79	3 h
		Elongación	45 x 45	72	96	4.19	4 h
	Komet Twin 101	Iniciación	45 x 45	24	32	1.58	1 h con 30 min
			45 x 36	24	32	1.26	1 h con 30 min
		Macollamiento	45 x 45	48	64	3.16	3 h
			45 x 36	48	64	2.52	2 h con 30 min
		Elongación	45 x 45	72	96	4.73	4 h con 30 min
45 x 36	72		96	3.79	4 h		

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 43A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franca arcillo arenosa.

Textura suelo	Tipo aspersor	Etapa fenológica	Marco de riego (m x m)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	Tiempo de riego diseño agronómico (h)	Tiempo de riego ajustado (h, min)
Arcillo Arenosa	Nelson F150	Iniciación	45 x 45	25.50	34	1.48	1 h con 30 min
		Macollamiento	45 x 45	51.00	68	2.97	3 h
		Elongación	45 x 45	76.50	102	4.45	4 h con 30 min
	Komet Twin 101	Iniciación	45 x 45	25.50	34	1.68	1 h con 30 min
			45 x 36	25.50	34	1.34	1 h con 30 min
		Macollamiento	45 x 45	51.00	68	3.35	3 h con 15 min
			45 x 36	51.00	68	2.68	2 h con 40 min
		Elongación	45 x 45	76.50	102	5.03	5 h
45 x 36	76.50		102	4.02	4 h		

Fuente: elaboración propia, 2018.

Cuadro 44A. Determinación de tiempos de riego por turno en suelo de textura franca arcillosa.

Textura suelo	Tipo aspersor	Etapas fenológicas	Marco de riego (m x m)	Lámina neta (mm)	Lámina bruta (mm)	Tiempo de riego diseño agronómico (h)	Tiempo de riego ajustado (h, min)
Arcillosa	Nelson F150	Iniciación	45 x 45	27	36	1.57	1 h con 30 min
		Macollamiento	45 x 45	54	72	3.14	3 h
		Elongación	45 x 45	81	108	4.71	4 h con 30 min
	Komet Twin 101	Iniciación	45 x 45	27	36	1.77	1 h con 45 min
			45 x 36	27	36	1.42	1 h con 45 min
		Macollamiento	45 x 45	54	72	3.55	3 h con 30 min
			45 x 36	54	72	2.84	2 h con 45 min
		Elongación	45 x 45	81	108	5.32	5 h
45 x 36	81		108	4.26	4 h		

Fuente: elaboración propia, 2018.



CAPÍTULO III

**SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEL INGENIO SANTA ANA, GUATEMALA, C.A.**

3.1 Presentación

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado se colaboró con la ejecución de actividades en busca del mejoramiento de la ejecución del riego en la región cuatro del Ingenio Santa Ana. Dentro de dichas actividades se puede mencionar la supervisión de la calidad técnica de riego, la cual tuvo por objetivo el monitoreo del cumplimiento de los parámetros operativos en los equipos de riego por aspersión tipo cañón, mini aspersión y pivote central, realizándose en un periodo semanal.

Otro de los servicios prestados fue la elaboración de pruebas de uniformidad para la determinación de coeficientes de evaluación de la calidad de las aplicaciones realizadas, tal es el caso del coeficiente de uniformidad, la uniformidad de distribución y la eficiencia de aplicación. Se realizaron un total de cinco pruebas de uniformidad en equipos por aspersión tipo cañón, una prueba en un equipo de mini aspersión y un pivote central.

Se apoyó en un proyecto de elaboración de diseños de sistemas de riego por aspersión para fincas de interés dentro del Ingenio Santa Ana, realizándose los cálculos de los aspectos agronómicos e hidráulicos, además de la elaboración de mapas para la operación correcta del mismo, haciendo la integración del conocimiento de campo de los supervisores de riego de la región. Se realizaron cinco diseños de riego por aspersión.

3.2 Área de influencia

Las actividades que se desarrollaron en el Ejercicio Profesional Supervisado se centraron en la región cuatro del Ingenio Santa Ana, ubicada en los municipios de La Gomera y San José, en el departamento de Escuintla, teniendo una extensión de 2599.27 ha, divididas en 31 fincas productoras de caña de azúcar.

Las condiciones climáticas tienen como datos generales un promedio de temperatura de 26.62 °C, una precipitación pluvial mensual de 0 mm – 50 mm en los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre, mientras que en la época lluviosa se tiene una precipitación pluvial de aproximadamente 300 mm - 400 mm en los meses de mayor incidencia (ICC, 2018).

3.3 Objetivo

Apoyar al departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Santa Ana en las diferentes actividades programadas de riego en la región cuatro para el mejor desenvolvimiento de la empresa.

3.4 Servicios prestados

3.4.1 Servicio 1: evaluación de la calidad técnica de riego en la región cuatro del Ingenio Santa Ana

A. Definición del problema

Actualmente en los sistemas de riego por aspersión tipo cañón móvil, mini aspersión y riego mecanizado tipo pivote central en la región cuatro se operan con metodologías establecidas en base al conocimiento empírico de los operadores, caporales y mayordomos de riego, dejando de lado en algunas ocasiones, conocimientos técnicos de riego.

La calidad técnica de riego se refiere a la utilización de parámetros técnicos para la correcta operación del equipo y accesorios de riego, obteniendo mejores resultados en la calidad de riego aplicado y se previenen problemas mecánicos.

Cuando se utiliza un sistema de calidad técnica de riego se espera realizar un riego que conlleve el óptimo uso del recurso agua, la aplicación de láminas de riego adecuadas, de tal manera que al ser evaluado todo el proceso, éste sea aplicado de la mejor forma posible y llene los estándares requeridos.

B. Objetivos

1. Evaluar la calidad de riego de los equipos de riego de la región cuatro.
2. Detectar problemas en la operación de sistemas de riego por aspersión.

C. Metodología

a. Evaluación de calidad de riego de motobombas

Para realizar las evaluaciones de calidad técnica de riego, se hizo monitoreo de campo a los equipos de riego, evaluando los parámetros que se muestran en el cuadro 45. La forma de asignar puntuación a los aspectos evaluados en los equipos de riego fue teniendo con un cumplimiento del rango evaluado se ponderó con 10 puntos y si por el contrario, no se cumplió, se ponderó con 0 puntos, teniendo una puntuación máxima de 100 puntos en cada equipo.

Cuadro 45. Descripción de parámetros para evaluación de la calidad técnica de riego.

Componente	Aspecto	Rango
Condiciones de operación de equipo de bombeo	RPM Motobomba	1,600 RPM – 1,850 RPM
	PSI de salida del equipo de bombeo	80 PSI -100 PSI Aspersión 55 PSI -90 PSI Mini-aspersión
	Presión de aspersores	40 PSI - 65 PSI Nelson F75 40 PSI - 65 PSI Nelson F100 55 PSI - 65 PSI Nelson F150 60 PSI - 80 PSI Nelson F200 40 PSI - 60 PSI Komet Twin 101 55 PSI - 70 PSI MARINER 30 PSI - 33 PSI VYR-36 o Faber
Distribución y estado de tuberías	Diseño acorde	Sí / No
	En los aspersores uno se aleja y el otro se acerca al punto de bombeo	Sí / No
	Tubería sin quiebres	Sí / No
	Tubería y accesorios ordenados	Sí / No
	Fugas	Sí / No
Limpieza y orden	Ambiente limpio	Sí / No
	Accesorios y desechos ordenados	Sí / No

Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017.

Como resultado se entregó un reporte de labores de riego que incluyó aspectos sobre cumplimiento de rendimiento de riego por hectárea, cumplimiento en el consumo de combustible por los equipos de riego, cumplimiento de rendimiento semanal en hectáreas, horas laboradas por día y hectáreas laboradas por hora, calculados con los informes de turnos realizados por día y el control del consumo de combustible, se obtuvo información adicional sobre el aprovechamiento del tiempo disponible para la labor de riego, parámetro que facilita la priorización de supervisión en equipos de riego con baja utilización.

Al final de la prueba se asignó una nota a cada equipo evaluado y se formularon recomendaciones para mejorar defectos encontrados en la evaluación. La nota se dio sobre 100 puntos y el resultado de todos los equipos evaluados se promediaron y se asignó una nota de la región, la cual fue la nota de las personas encargados del riego dentro de la misma, como caporales, mayordomos y gestor de riego.

b. Detección de problemas

Esta actividad se realizó mediante la observación directa durante la operación del equipo de riego utilizado y comparación entre los valores adecuados de operación y los valores obtenidos en la auditoría realizada.

c. Estructuración de recomendaciones

Se basó en los problemas encontrados y en la priorización que se le realizó a los mismos. Las recomendaciones se basaron en los datos adecuados en los que debe estar la operación del equipo, teniendo en cuenta factores determinantes como el diseño de fincas, disponibilidad de agua y accesorios de riego, entre otros. Se realizaron recomendaciones en el sitio de trabajo al operador y ayudante de motobomba, y de ser necesario a caporales y mayordomos de riego.

D. Resultados

Se muestran los cuadros de resumen de las evaluaciones de la calidad técnica de riego realizadas en el periodo de riego de la zafra 2017–2018, mostrados en los cuadros 46, 47 y 48. Se realizaron un total de tres revisiones de la calidad técnica de riego.

Cuadro 46. Primera revisión de la calidad técnica de riego.

Variable evaluada	Valor alcanzado	Meta	Porcentaje de cumplimiento
Cumplimiento rendimiento (ha/día)	63.29	86.34	73 %
Cumplimiento rendimiento combustible (gal/h)	2.44	2.82	100 %
Cumplimiento rendimiento semanal (ha)	374.41	604.35	62 %
Cumplimiento calidad técnica de riego	83.08	75.00	100 %
Cumplimiento utilización semanal (h laboradas/día)	14.61	17.00	86 %
Cumplimiento de ha/h (%)	0.22	0.28	80 %
Nota de revisión	83.48 %		

Cuadro 47. Segunda revisión de la calidad técnica de riego

Variable evaluada	Valor alcanzado	Meta	Porcentaje de cumplimiento
Cumplimiento rendimiento (ha/día)	68.07	86.34	79 %
Cumplimiento rendimiento combustible (gal/h)	2.56	2.82	100 %
Cumplimiento rendimiento semanal (ha)	452.72	604.35	75 %
Cumplimiento calidad técnica de riego	83.08	75.00	100 %
Cumplimiento utilización semanal (h laboradas/día)	15.59	17.00	92 %
Cumplimiento de ha/h (%)	0.22	0.28	78 %
Nota de revisión	87.30 %		

Cuadro 48. Tercera revisión de la calidad técnica de riego

Variable evaluada	Valor alcanzado	Meta	Porcentaje de cumplimiento
Cumplimiento rendimiento (ha/día)	64.60	86.34	75 %
Cumplimiento rendimiento combustible (gal/h)	2.53	2.82	100 %
Cumplimiento rendimiento semanal (ha)	414.07	604.35	69 %
Cumplimiento calidad técnica de riego	85.08	75.00	100 %
Cumplimiento utilización semanal (h laboradas/día)	15.34	17.00	90 %
Cumplimiento de ha/h (%)	0.22	0.28	78 %
Nota de revisión	85.31 %		

E. Evaluación

1. Se realizaron tres evaluaciones de la calidad técnica a los equipos de la región cuatro del Ingenio Santa Ana llevadas a cabo en los meses de febrero, marzo y abril del año 2017, la calidad técnica de riego en esta región tuvo un valor inicial de 83.08 % y un valor 85.08 %, lo cual representa un nivel aceptable teniendo una meta de cumplimiento del 75 %, aunque existieron oportunidades de mejora, lo cual demuestra la necesidad de seguir monitoreando el funcionamiento de los equipos de riego, para la mejora constante.
2. Los problemas encontrados en la operación de equipos de riego se encuentran la presencia de fugas, mala distribución de tuberías, parámetros de operación de la motobomba como revoluciones por minuto, presiones de salida y aspersores, presencia de desechos sólidos en áreas de trabajo y accesorios desordenados.

F. Constancias

Se muestran en las figuras 35 y 36 problemas de fugas en tuberías y accesorios, además de una incorrecta distribución de éstas.



Figura 35. Fugas de agua en tuberías y accesorios.



Figura 36. Distribución de tuberías con quiebres.

3.4.2 Servicio 2: realización de pruebas de uniformidad a los principales sistemas de riego en la región cuatro del ingenio Santa Ana.

A. Definición del problema

Los equipos utilizados para procesos de riego en la región cuatro suelen ser equipos con muchos años de uso, por lo que el desgaste que han sufrido puede generar malas aplicaciones de riego.

Una prueba de uniformidad busca determinar varios aspectos de calidad de riego como láminas aplicadas, uniformidad de aplicación, distribución de láminas aplicadas, eficiencia de aplicación y varios parámetros de operación de motobombas. Dichos parámetros indican la calidad del proceso de irrigación y a su vez muestran los puntos débiles que deben ser atendidos para realizar mejoras a los equipos de riego.

En la región cuatro no se realizaban pruebas de uniformidad a menudo por lo que se desconocía el estado actual de operación de algunos equipos, y por consiguiente la efectividad del riego aplicado, lo cual crea incertidumbre si las actividades realizadas son realizadas acordeamente, lo que contribuye a que se creen metodologías uniformes para diferentes tipos de aspersores y estados fisiológicos del cultivo.

B. Objetivos

1. Determinar eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad y uniformidad de aplicación de equipos de riego de la región cuatro.
2. Identificar la existencia de problemas en la operación de los equipos de riego.

C. Metodología

Se realizaron pruebas de uniformidad en tres tipos de sistemas de riego utilizando la metodología del Departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio Santa Ana, describiéndose en los siguientes incisos:

a. Riego por aspersión tipo cañón

La determinación de la uniformidad de distribución constó de dos fases.

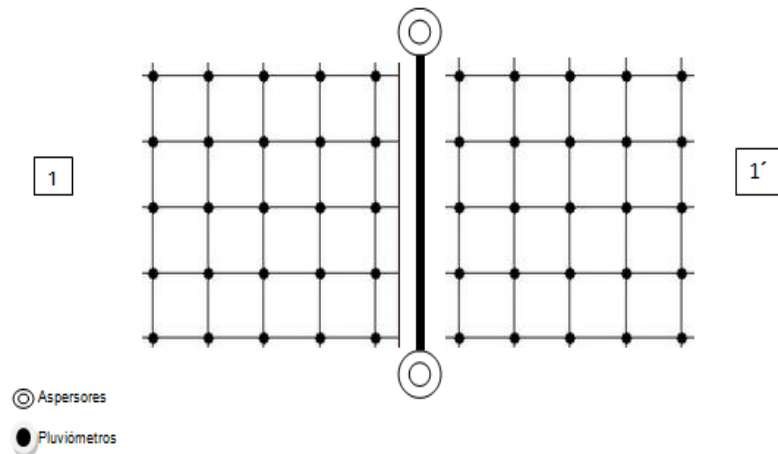
i. Medición

El primer paso fue la selección del área para establecer la prueba, posterior a esto se realizaron las mediciones preliminares.

- Mediciones preliminares

- Frecuencia de riego.
- Marco de riego.
- Marca de aspersores.
- Altura de aspersor.
- Diámetro de boquillas.
- Horometro inicial.
- Medidor de caudal (volumen inicial).
- Diámetro de tubería principal y secundaria.
- Número de tubería principal y secundaria.
- Se realizó la medición para el establecimiento de pluviómetros con una distancia recomendada entre pluviómetros fue de 9 m.
- Se anotó el número de pluviómetros y diámetro.

Posterior a las mediciones anteriores, se distribuyeron los pluviómetros para dos aspersores. La distancia entre el aspersor y el primer pluviómetro fue a 4.5 m, luego se ubicaron a 9 m entre pluviómetros formándose una cuadrícula. Se colocó el número de pluviómetros de acuerdo al marco de riego. En la figura 37 se puede observar la distribución de campo de los pluviómetros.



Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017.

Figura 37. Distribución de aspersores para un marco de riego de 45 m x 45 m

- Mediciones durante el riego

- Se midió la presión inicial y final de aspersores (PSI) con el uso de manómetro.
- Revoluciones por minuto (RPM) de la motobomba y presión de trabajo.
- Número de aspersores trabajando.
- Dirección y velocidad de viento (km/h) cada 15 min, utilizándose un anemómetro.
- Tiempo de riego (h).

- **Mediciones al final de la prueba**

- Horometro final.
- Medidor de caudal (volumen final).
- Medición de pluviométrica, haciendo uso de una probeta graduada se midió la cantidad de agua que recibió cada pluviómetro en el lapso de tiempo.

ii. **Análisis de datos**

- **Determinación de láminas**

Para la determinación de láminas fue necesario conocer el diámetro de pluviómetros. Luego de medir el volumen recolectado en el pluviómetro en ml, se determinó la lámina de riego aplicada de la siguiente manera:

$$L = (V / A) * 10$$

Dónde:

L= lámina (mm)

V= volumen del pluviómetro (ml)

A= Área de la boca del pluviómetro (cm²)

- **Determinación de uniformidad de aspersores**

Para la determinación del coeficiente de uniformidad se utilizó la ecuación de Christiansen. El coeficiente de uniformidad es afectado por el tamaño de boquilla y presión, el espaciamiento entre laterales, distancia entre aspersores y velocidad del viento. Se basa en una medición de pluviometría dentro de un área cubierta por aspersores.

La ecuación de Christiansen es la siguiente:

$$C_u = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - M|}{M \cdot n} \right)$$

Dónde:

X_i = lámina en cada pluviómetro (mm)

n = número de pluviómetros

M = media de lámina de los pluviómetros.

b. Riego por mini aspersión

Se utilizó la misma metodología que la del tipo de riego por aspersión tipo cañón móvil con la diferencia de los marcos de riego utilizados, los cuales son de 18 m entre laterales de riego x 12 m entre aspersores.

c. Riego mecanizado tipo pivote central

La uniformidad de distribución del agua fue determinada mediante la medición y el análisis de datos.

i. Medición.

- Mediciones preliminares.

- Se midió el espaciamiento entre las torres del pivote. Este dato es necesario para conocer la longitud del equipo.
- Conteo del número de torres.
- Medición para el establecimiento de pluviómetros, la distancia recomendada entre pluviómetros es de 5 m.
- Asignación del número de orden a la localización de cada pluviómetro partiendo inicio del pivote.
- Se midió la distancia entre el inicio del pivote y el primer pluviómetro, recomendación colocarlo de 15 m.

- **Mediciones durante el riego.**

- Se midió la velocidad y dirección del viento a cada 15 min.
- Se midió la velocidad de desplazamiento de la última torre.
- Prueba de velocidad porcentual de desplazamiento del sistema.
- Se midió la altura promedio de los aspersores.
- Mientras se realizó la prueba se colocó un pluviómetro con 2,000 ml de agua para hacer una estimación de pérdidas por evaporación al final de la prueba.

- **Mediciones al final del riego.**

- Medición del volumen colectado en cada pluviómetro.
- Medición de pluviómetro de evaporación.

ii. **Análisis de datos.**

- **Determinación de láminas.**

Para la determinación de láminas fue necesario conocer el diámetro de pluviómetros. Luego de medir el volumen recolectado en el pluviómetro (ml), se determinó la lámina de riego aplicada de la siguiente manera:

$$L = (V / A) * 10$$

Dónde:

L = lámina (mm)

V = volumen del pluviómetro (ml)

A = Área de la boca del pluviómetro (cm²)

- **Determinación de uniformidad de aspersores.**

Para la determinación del coeficiente de uniformidad se utilizó la ecuación de Coeficiente de Uniformidad Hermann y Hein, la cual se muestra a continuación. Se basa en una medición de pluviometría dentro de un área cubierta por aspersores.

$$CUh = 100 * \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} D_i * \left(C_i - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (C_i * D_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} D_i} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} C_i * D_i} \right]$$

Dónde:

CUh = Coeficiente de Uniformidad de Hermann y Hein (%).

n = Número de pluviómetros.

Ci = Cantidad de agua recogida por el pluviómetro i (con i variando entre 1 y n)

D. Resultados

Se realizaron siete pruebas de uniformidad a los tres tipos de sistemas de riego, haciéndose cinco pruebas a sistemas de aspersión tipo cañón móvil, una prueba a mini aspersión y una a sistema de riego mecanizado tipo pivote central.

a. Equipo de riego por aspersión tipo cañón con categoría y correlativo de inventario 294 – 0042.

En las figuras 38 y 39 se muestra el resultado de la prueba de uniformidad, teniendo una calidad técnica de riego del 83.3 %, utilizando un marco de riego de 45 m x 45 m con aspersores marca Komet Twin 101 con boquilla de salida de 0.94 in de diámetro y un tiempo de riego de 2 h.

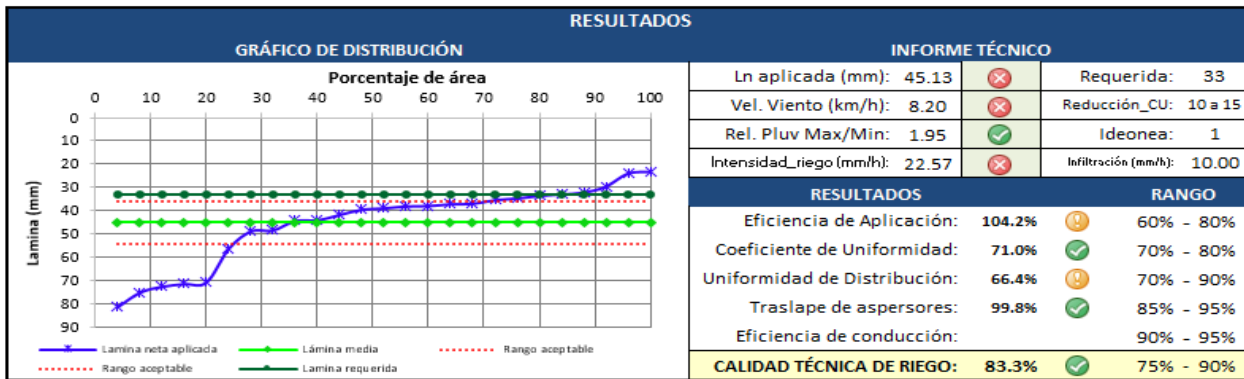


Figura 38. Resultado prueba de uniformidad equipo 294-0042.

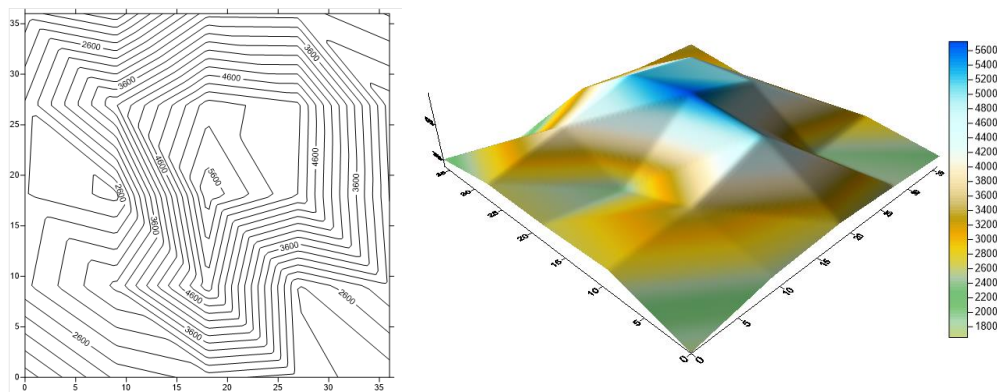


Figura 39. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego aplicado en equipo 294-0042.

En la figura 39 se muestra el análisis bidimensional y tridimensional del volumen colectado en los pluviómetros, observándose una mayor aplicación en el centro del área de riego, lugar donde hay traslapes de aplicación, y una lámina menor en las esquinas, representando la posición de los aspersores.

b. Equipo de riego por aspersión tipo cañón con categoría y correlativo de inventario 294 – 0058.

En las figuras 40 y 41 se pueden observar los resultados de la prueba de uniformidad para este equipo, teniendo una calidad técnica de riego del 87.5 %. Se utilizó un marco de riego de 45 m x 45 m, aspersores marca Nelson F150 con boquillas de 0.95 in de diámetro, con un tiempo de riego de 2 h. Se observa el fenómeno de distribución del riego similar al caso anterior.

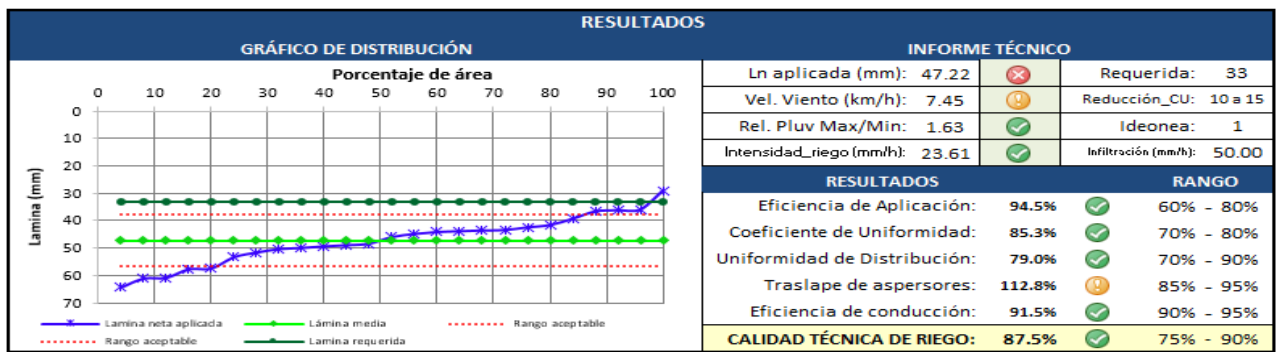


Figura 40. Resultado prueba de uniformidad equipo 294-0058.

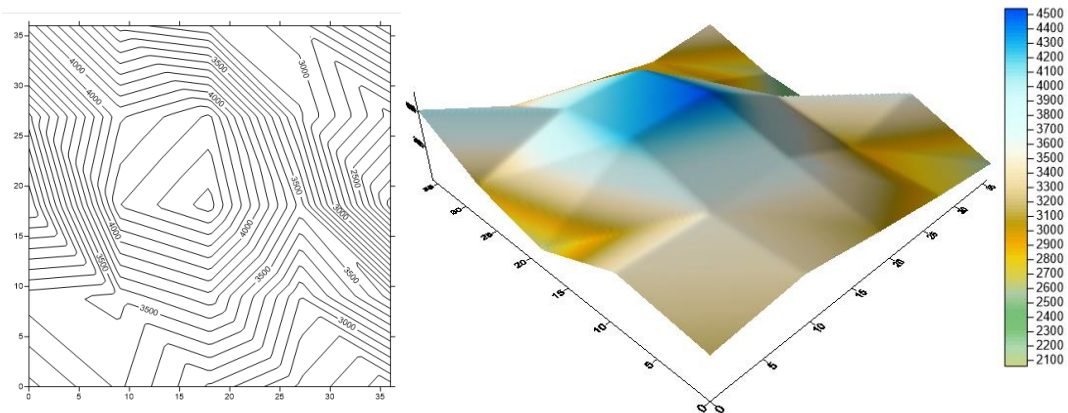


Figura 41. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 294 – 0058.

c. Equipo de riego por aspersión tipo cañón con categoría y correlativo de inventario 294-0153.

En este equipo se alcanzó un porcentaje de calidad técnica de riego de 83.6 %. Se trabajó en un marco de riego de 45 m x 54 m, con aspersores marca Nelson F150 con boquillas de 1 in de diámetro, con un tiempo de riego de 2 h. La distribución poco uniforme de la lámina aplicada se debió a la influencia de la velocidad del viento, la cual tuvo un valor de 13.16 km/h como se puede observar en las figuras 42 y 43.

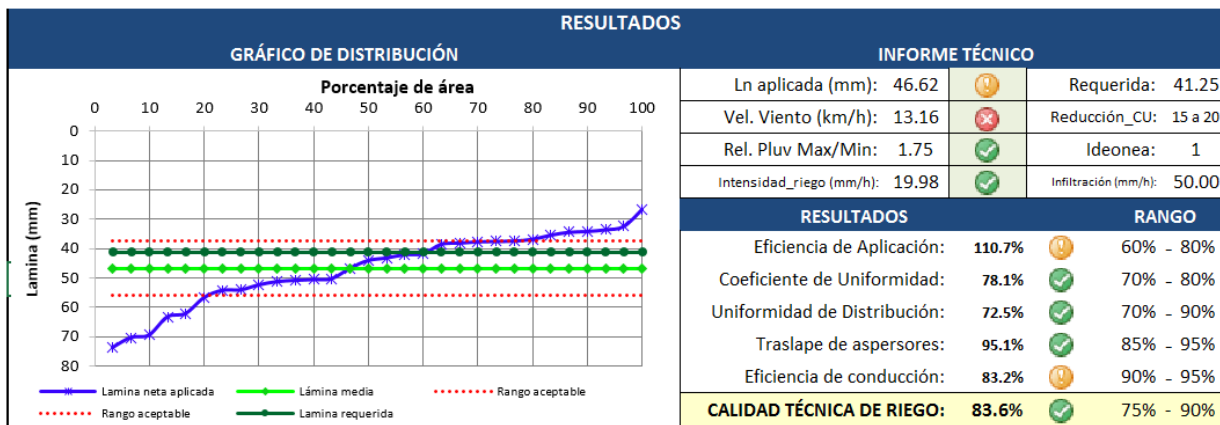


Figura 42. Resultado prueba de uniformidad equipo 294-00153.

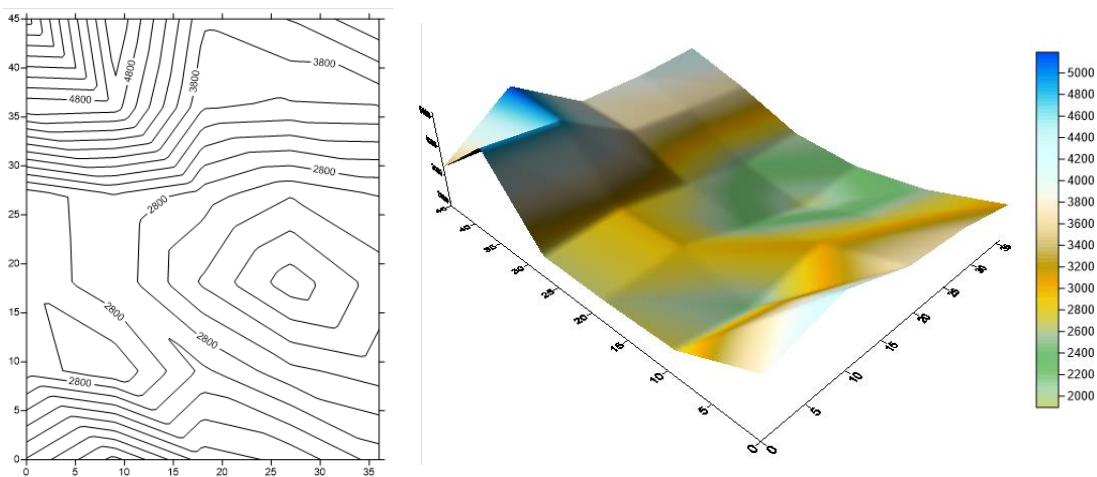


Figura 43. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 294 – 0153.

d. Equipo de riego por aspersión tipo cañón con categoría y correlativo de inventario 294-0188.

En este equipo se alcanzó un porcentaje de calidad técnica de riego de 87.6 %. Se trabajó en un marco de riego de 45 m x 45 m, con aspersores marca Mariner con boquillas de 1.17 in de diámetro, con un tiempo de riego de 2 h. Se observa un patrón de distribución de la lámina aplicada poco uniforme, debido a una alta velocidad del viento durante la prueba.

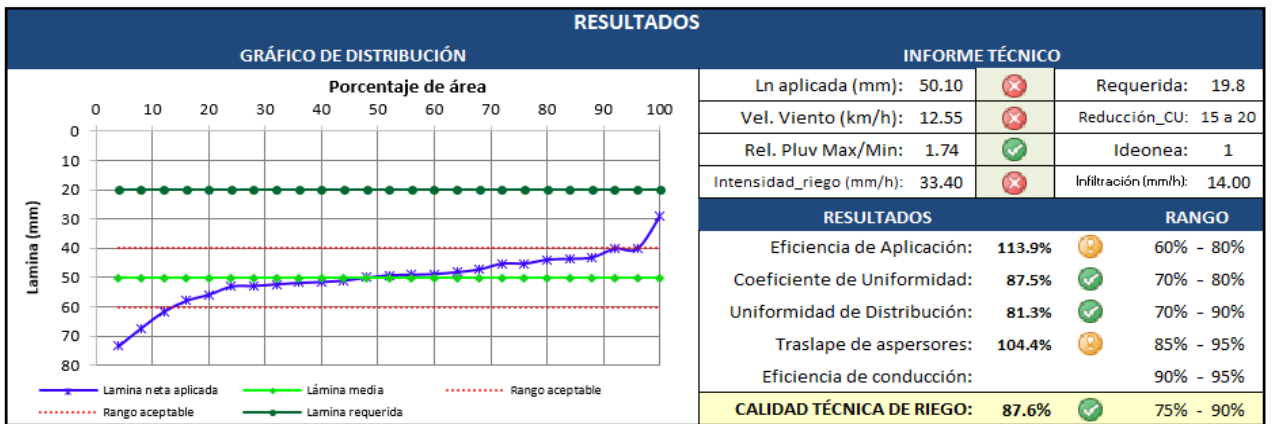


Figura 44. Resultado prueba de uniformidad equipo 294-0188.

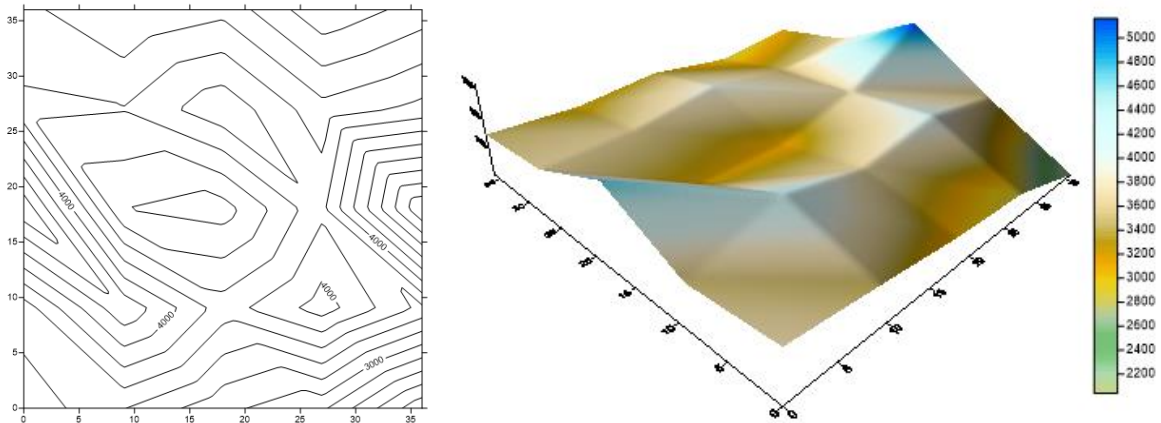


Figura 45. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 294 – 0188.

e. Equipo de riego por aspersión tipo cañón con categoría y correlativo de inventario 5294-0001.

En este equipo se alcanzó un porcentaje de calidad técnica de riego de 81.4 %. Se trabajó en un marco de riego de 45 m x 45 m con aspersores marca Mariner con boquillas de 1.15 in y 1.18 in de diámetro, con un tiempo de riego de 2 h. Se observa un patrón de distribución de la lámina aplicada poco uniforme, debido a una alta velocidad del viento y una diferencia en el diámetro de boquillas.

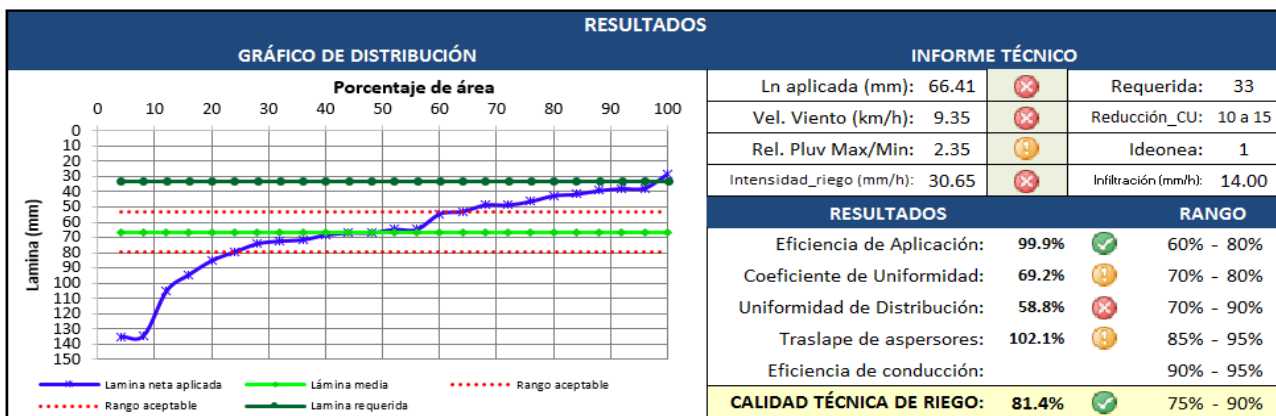


Figura 47. Resultado prueba de uniformidad equipo 5294-0001.

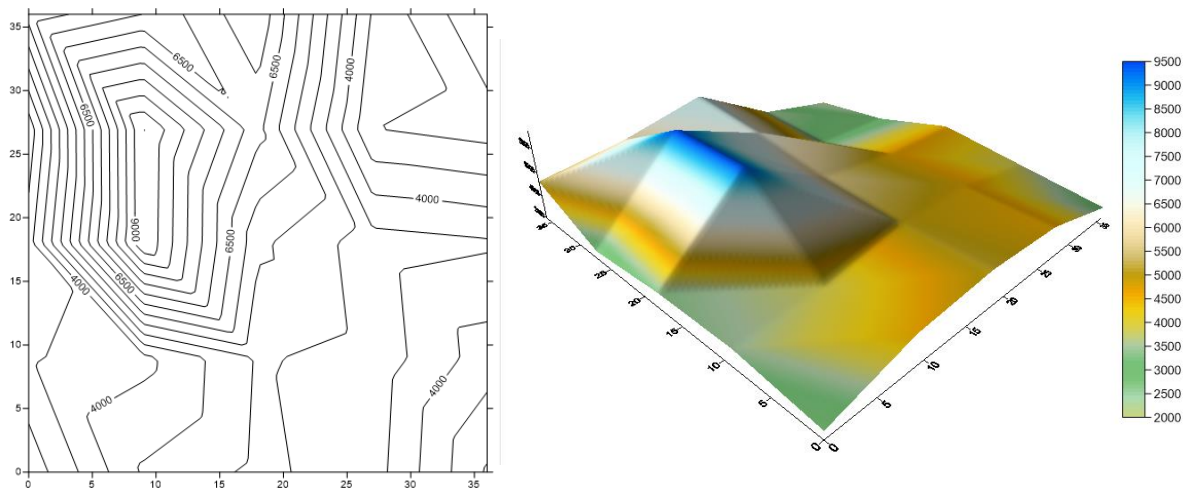


Figura 46. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 5294-0001.

f. Equipo de riego por mini aspersión con categoría y correlativo de inventario 307-0022.

En este equipo se obtuvo un porcentaje de calidad técnica de riego de 79.2 %. Se trabajó en un marco de riego de 12 m x 18 m con aspersores marca Faber 305 con boquillas de 0.16 in de diámetro, con un tiempo de riego de 1 h. Se observa una distribución de la lámina aplicada baja, lo cual puede deberse a la utilización de un marco de riego rectangular.

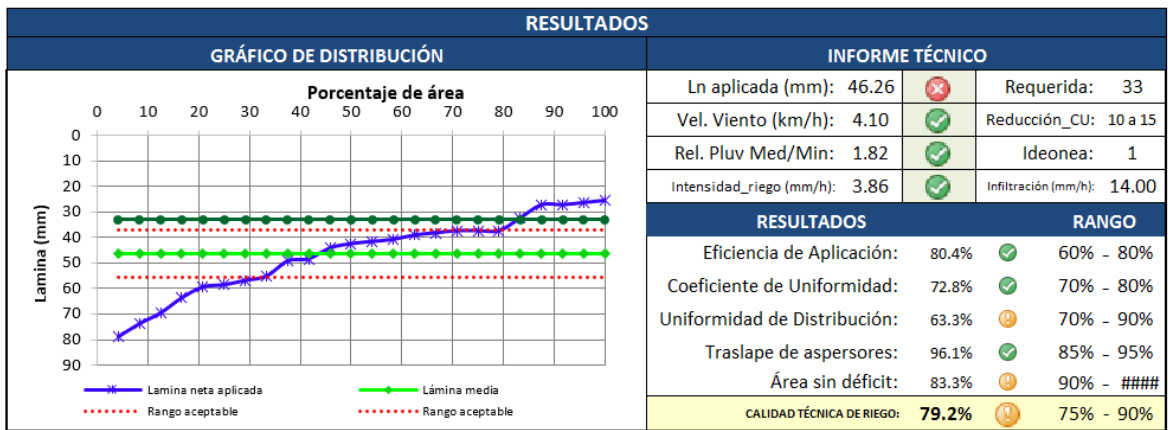


Figura 48. Resultado prueba de uniformidad equipo 307-0022.

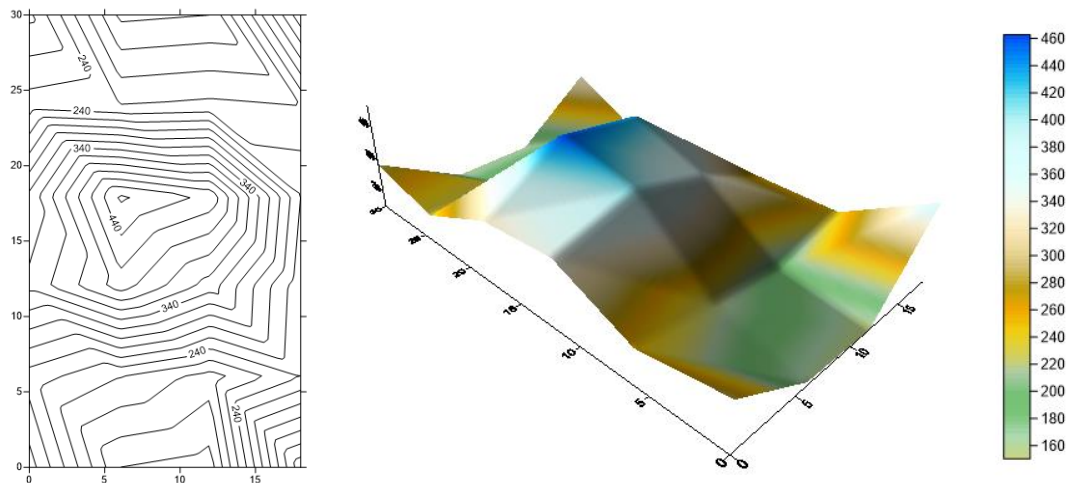


Figura 36. Análisis bidimensional y tridimensional de la distribución del riego en equipo 307-0022.

g. Equipo de riego mecanizado tipo pivote central con categoría y correlativo de inventario 266-0001.

En este equipo se obtuvo un porcentaje de calidad técnica de riego de 44.7 %, el cual es un valor bajo, donde se tuvo un lámina de riego alta en el centro del pivote y baja en el extremo, además se tuvo una velocidad de trabajo real mayor a la programada, aunado a una mala distribución de la lámina de riego que deja áreas de riego con déficit hídrico.

Cuadro 49. Resultados de la prueba de uniformidad en pivote central.

RESULTADOS	
Relación velocidad programada/real	24.57 %
Coefficiente de uniformidad	55.67 %
Uniformidad de distribución	53.96 %
Relación de pluviometría mínima/media	0.45
Calidad técnica de riego	44.73 %

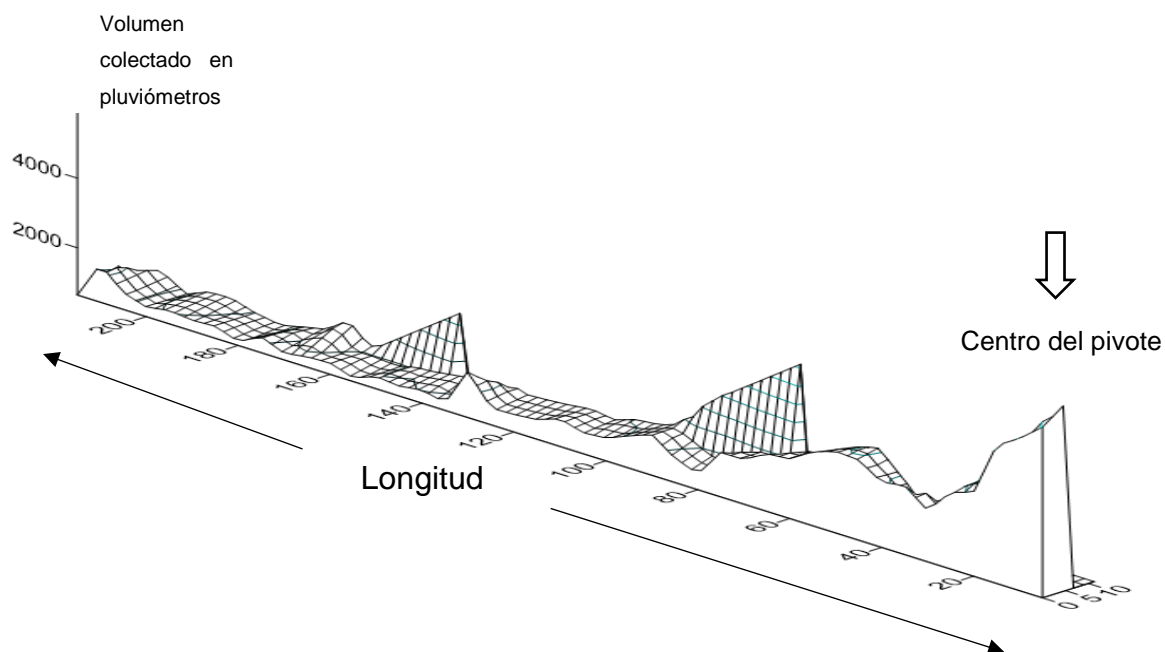


Figura 49. Análisis tridimensional de la distribución de la lámina de riego en el equipo 266-0001

E. Evaluación

1. La eficiencia de aplicación promedio de los equipos por aspersión móvil fue de 100 %, 80.4 % en el equipo de mini aspersión usado, y 98 % en el sistema de riego mecanizado.
2. El coeficiente de uniformidad promedio de los equipos por aspersión tipo cañón evaluados es del 78.24 %, 72.8 % en el riego de mini aspersión evaluado y 55.67 % en el equipo de riego mecanizado tipo pivote central.
3. La uniformidad de distribución promedio de los equipos de riego por aspersión tipo cañón móvil es del 71.6 %, 63.3 % en el sistema de mini aspersión evaluado y 53.96 % en el sistema mecanizado de riego tipo pivote central.
4. Los problemas encontrados fueron los tiempos de riego utilizados en los tres sistemas evaluados, mal estado de equipos, desgaste de boquillas, presencia de fugas en la tubería de conducción.

F. Constancias

Figura 50. Fotografías de pruebas de uniformidad realizadas en equipos de riego por aspersión tipo cañón.



Figura 51. Prueba de uniformidad realizada en pivote central.

3.4.3 Servicio 3: rediseño de equipos de riego por aspersión tipo cañón en el Ingenio Santa Ana.

A. Definición del problema

La eficiencia de los sistemas de riego está determinada por la calidad del equipo y por la operación que se le dé a éste. La distribución de las tuberías en es realizada por los caporales de riego y operadores de riego que realizan la distribución de tuberías y metodologías de operación con conocimiento empírico sin tomar en cuenta características agronómicas e hidráulicas para hacerlo, por lo que en ocasiones realizan una mala distribución de las tuberías de conducción, afectando la calidad de riego pues se trabajan con presiones bajas haciendo que la uniformidad de riego sea mala y que se vea comprometido el desarrollo óptimo fisiológico del cultivo de caña de azúcar.

Actualmente no se cuenta con diseños de riego para operar los sistemas de riego por aspersión dentro de la empresa, y en el año 2017 se inició con el rediseño de riego en la región tres del ingenio, siendo ésta una decisión administrativa.

Los problemas condicionantes que se tienen para hacer un diseño acorde de sistemas de riego son la ubicación de la fuente de agua, que en ocasiones se encuentra muy alejada de las parcelas de riego o en una ubicación que no permite que las líneas de distribución de agua sean colocadas de forma recta. Otra condicionante es el diseño de finca, es decir, la distribución de las calles y la orientación de surcos que pueden o no favorecer la orientación de las líneas de conducción.

B. Objetivos

1. Determinar parámetros agronómicos para el rediseño de equipos de riego por aspersion tipo cañón móvil.
2. Hacer un estudio hidráulico para determinar estándares de operación de equipos diseñados.
3. Realizar planos donde se indique la distribución y operación del equipo de riego.

C. Metodología

Para realizar el diseño agronómico de los sistemas de riego se determinaron los datos de campo que se muestran en el cuadro 50.

Cuadro 50. Datos de campo utilizados para el re diseño de equipos de riego.

Datos básicos	Unidad	Valor
Cultivo		
Sistema de Riego		
Parcela		
A (área bruta)	ha	
An (área neta bajo riego)	ha	
Suelo		
Tipo de suelo	Textura	
Pr (profundidad efectiva del suelo)	m	
Clima		
Eto	(mm/día)	
Viento	km/h	
HR(humedad relativa)	%	
Fuente de Agua		
Fuente de agua		
Caudal	(m ³ /h)	
Cultivo		
Etapas fenológica		
Dpm (Déficit permitido de manejo)	%	
Distancia entre surco	m	
distancia entre planta	m	
Sistema de Riego		
Aspersor	tipo	
Presión requerida en aspersor	psi	
Caudal de aspersor	L/s	
Marco de riego	tubos	
Distancia entre laterales	m	
distancia entre aspersores	m	
Diámetro de mojado	m	
Número de aspersores	#	
Tiempo de trabajo efectivo	h/día	

De acuerdo con Sandoval Illescas, se puede utilizar el siguiente procedimiento para el diseño de un sistema de riego por aspersión.

a. **Determinar las láminas de riego**, para lo cual se utilizaron las fórmulas siguientes:

i. **Lámina de humedad aprovechable.**

$$\text{Lámina de humedad aprovechable (LHA) en cm} = \frac{(CC - PMP)}{100} \times Da \times Zr$$

Dónde:

Cc: Capacidad de campo (%).

PMP: Punto de marchitez permanente (%).

Da: Densidad aparente del suelo (g/cc).

ZR: Grosor del estrato considerado (cm). Se utilizaron 20 cm para el cálculo de la LHA en la etapa fenológica de Iniciación, 40 cm en la etapa de macollamiento y 60 cm en la etapa de elongación, para el cultivo de caña de azúcar.

ii. **Lámina de humedad rápidamente aprovechable**

$$\text{Lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA) en cm} = DPM (LHA)$$

Dónde:

DPM: Déficit permitido de manejo. Se utilizó un valor de 0.6 para el cultivo de caña de azúcar.

LHA: Lámina de humedad aprovechable (cm)

iii. **Lámina bruta de diseño**

$$\text{Lámina Bruta de Diseño (LB)} = \frac{LHRA}{Eap}$$

Dónde:

LHRA: Lámina de humedad rápidamente aprovechable (mm).

Eap: Eficiencia de aplicación. Para el sistema de riego por aspersión tipo cañón se utilizó un valor de 0.7.

b. Determinar la frecuencia de riego de diseño

$$\text{Intervalo de riego de diseño} = \frac{LHRA}{Rr \text{ max}}$$

Dónde:

LHRA: Lámina de humedad rápidamente aprovechable (mm)

Rr max: Requerimiento de riego máximo (mm/día), tomándose este valor de las estaciones meteorológicas del ICC dentro del área de estudio, refiriéndose al valor de evapotranspiración máxima.

c. Definir la intensidad de riego

La intensidad de riego está determinada por los aspersores utilizados para el diseño de los sistemas de riego, utilizándose aspersores marca Komet Twin 101 con marco de riego de 45 m x 36 m, teniendo una intensidad de aplicación de 22.64 mm/h.

d. Fijar el espaciamiento entre laterales y aspersores

Se utilizó un espaciamiento entre laterales de 45 m y entre aspersores de 36 m, teniendo de esta manera un traslape adecuado entre aspersores, evitándose de esa manera tener espacios sin riego dentro del área de operación.

e. Seleccionar el tipo de aspersor a utilizar

Se utilizaron aspersores Komet Twin 101 debido a que se tenían en el inventario de las fincas, teniendo que adquirirse una menor cantidad de los mismos para cubrir los requerimientos de los rediseños.

f. Calcular el número de aspersores en funcionamiento

Se determinó utilizar seis aspersores Komet Twin 101 en funcionamiento simultáneamente en dos laterales de riego con tres aspersores cada una, con lo cual se va abarcar un área de 0.97 ha / turno de riego.

g. Definir la posición de las tuberías

Se utilizó el software de diseño AutoCad 2014[®] para el diseño del establecimiento de las tuberías principales y laterales dentro de cada área de diseño, y se integró el conocimiento de finca de mayordomos de riego, tomándose en cuenta las recomendaciones de éstos para este fin.

h. Definir el caudal requerido por el sistema

El caudal requerido por el sistema corresponde al caudal de seis aspersores Komet Twin 101 trabajando a una presión mínima de 40 PSI, teniendo un caudal requerido de 1,020 gal/min.

i. Diámetro de tubería principal y lateral

Se decidió utilizar tubería de aluminio de 6 in para la tubería principal y tubería de aluminio de 5 in para las tuberías laterales, debido a la disponibilidad en finca de las mismas.

j. Cálculo de la carga dinámica total (CDT) requerida

Se utilizó una hoja de cálculo para determinar la carga dinámica total, tomándose en cuenta valores de longitud y diámetro del sistema de tuberías, y el valor de altura de la pendiente del lateral crítico, para lo cual, se realizó un estudio topográfico del área de riego.

k. Selección de la unidad de bombeo

Se utilizaron las unidades de bombeo disponibles en las fincas productoras, a las cuales se determinó una carga dinámica total que no fuese mayor a la capacidad del equipo seleccionado.

I. Elaboración de mapas

Para la elaboración de mapas se utilizó el software AutoCad 2014[®], donde se realizaron mapas de turnos de riego y movimiento de tuberías laterales.

D. Resultados

a. Diseño agronómico

Los resultados del diseño agronómico para los sistemas de riego diseñados se muestran en el cuadro 51. Se describen los tiempos de riego ajustados a la capacidad de riego de cada equipo, respecto al área asignada para mantener una frecuencia de riego no mayor a quince días.

Cuadro 51. Diseño agronómico de sistemas de riego.

Equipo de riego	Área de diseño (ha)	Etapas fenológica del cultivo	Tiempo de riego (h)	Lámina bruta (mm)	Lámina neta (mm)	Frecuencia de riego (días)
294-0032	74.8	Iniciación	1	22.64	16.98	12
		Macollamiento	1.5	33.96	25.47	11
		Elongación	1.5	33.96	25.47	11
294-0152	93.7	Iniciación	1	22.93	17.1975	11
		Macollamiento	2	45.86	34.395	14
		Elongación	2	45.86	34.395	14
294-0198	121.1	Iniciación	1	22.64	16.98	11
		Macollamiento	1.5	33.96	25.47	11
		Elongación	1.66	37.5824	28.1868	11
394-0013	40.4	Iniciación	1.5	27.18	20.385	11
		Macollamiento	2	36.24	27.18	14
		Elongación	2	36.24	27.18	14
394-0022	30.8	Iniciación	1.75	31	23.25	12
		Macollamiento	2	36.24	27.18	14
		Elongación	2	36.24	27.18	14

b. Diseño hidráulico de sistemas de riego

Los resultados del diseño hidráulico se muestran en el cuadro 52, donde se muestra la presión de operación del equipo de bombeo, el número de aspersores a utilizar por turno de riego, el área de riego por turno de riego, el marco de riego a utilizar, entre otros.

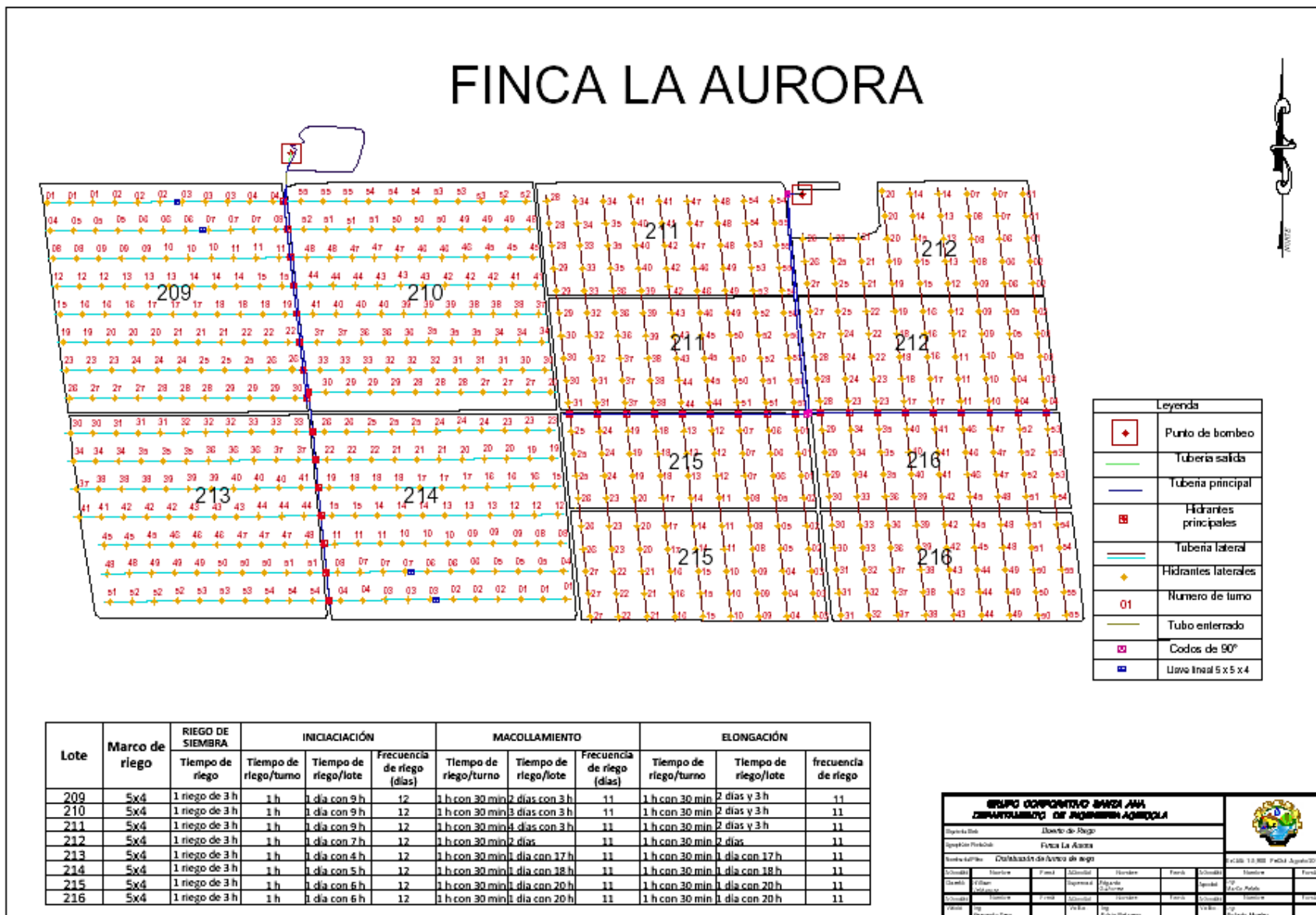
Cuadro 52. Diseño hidráulico de sistemas de riego diseñados.

Parámetro	Equipo				
	294-0032	294-152	294-198	394-0013	394-0022
Potencia requerida (Hp)	86	82	94	22	21
Carga dinámica total (m)	62.8	70.29	67.87	47.29	45.72
Presión de salida de la motobomba (PSI)	89.18	99.81	96.38	67.15	64.94
Número de aspersores diseñados	6	4	6	2	2
Distancia entre laterales (m)	45	45	45	45	45
Distancia entre aspersores (m)	36	45	36	45	45
Caudal de diseño del sistema (gal/min)	1020	861	1020	340	340
Tipo de aspersor de diseño	Komet Twin 101	Nelson F150	Komet Twin 101	Komet Twin 101	Komet Twin 101
Diámetro de boquilla de diseño (mm)	24	25	24	24	24
Presión de diseño en aspersor (PSI)	40	50	40	40	40
Área regada por cambio (ha)	0.97	0.81	0.97	0.405	0.405
Longitud de tubería principal (m)	738	1098	909	495	603
Longitud de tubería lateral (m)	195	342	549	288	306

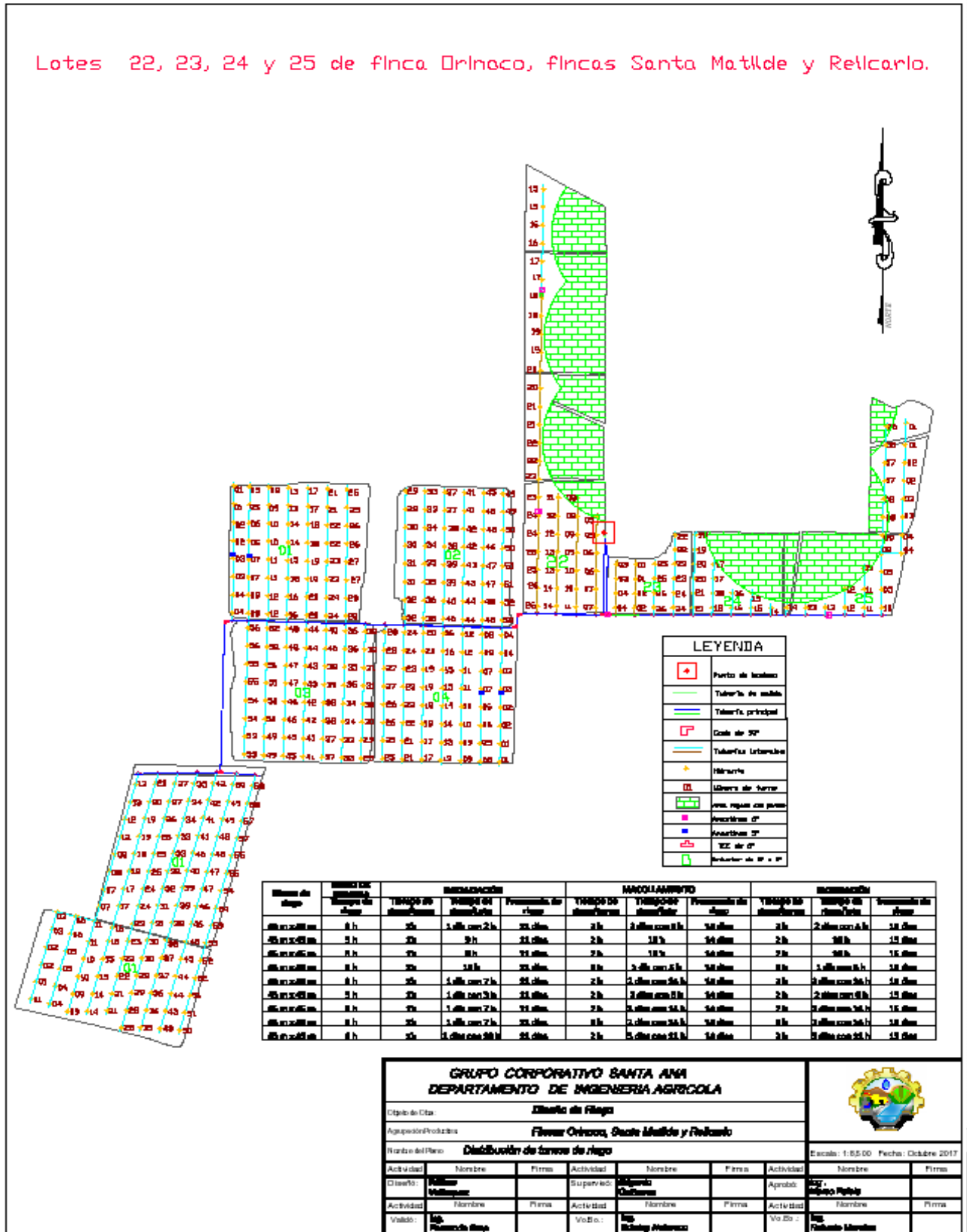
c. Mapas elaborados

Se elaboraron los mapas de la distribución de los aspersores en el área de riego, las cuales se muestran en las siguientes gráficas.

i. Rediseño de equipo de riego 294-0022 en finca La Aurora, municipio de Masagua.



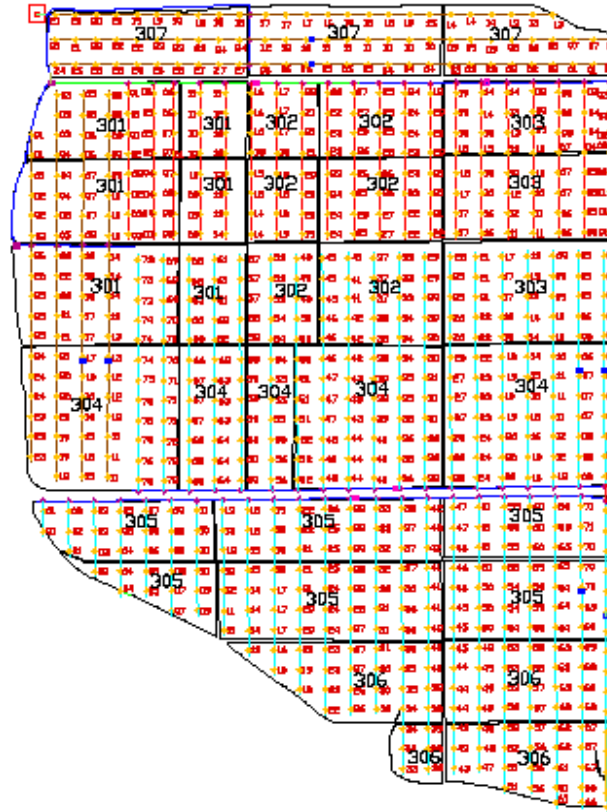
ii. Rediseño de equipo 294-0152 en las fincas Orinoco, Santa Matilde y Relicario.



iii. Rediseño de equipo 294-198 de riego en la finca Paso Antonio Pantaleón, Masagua, Escuintla.

Finca Paso Antonio Pantaleón

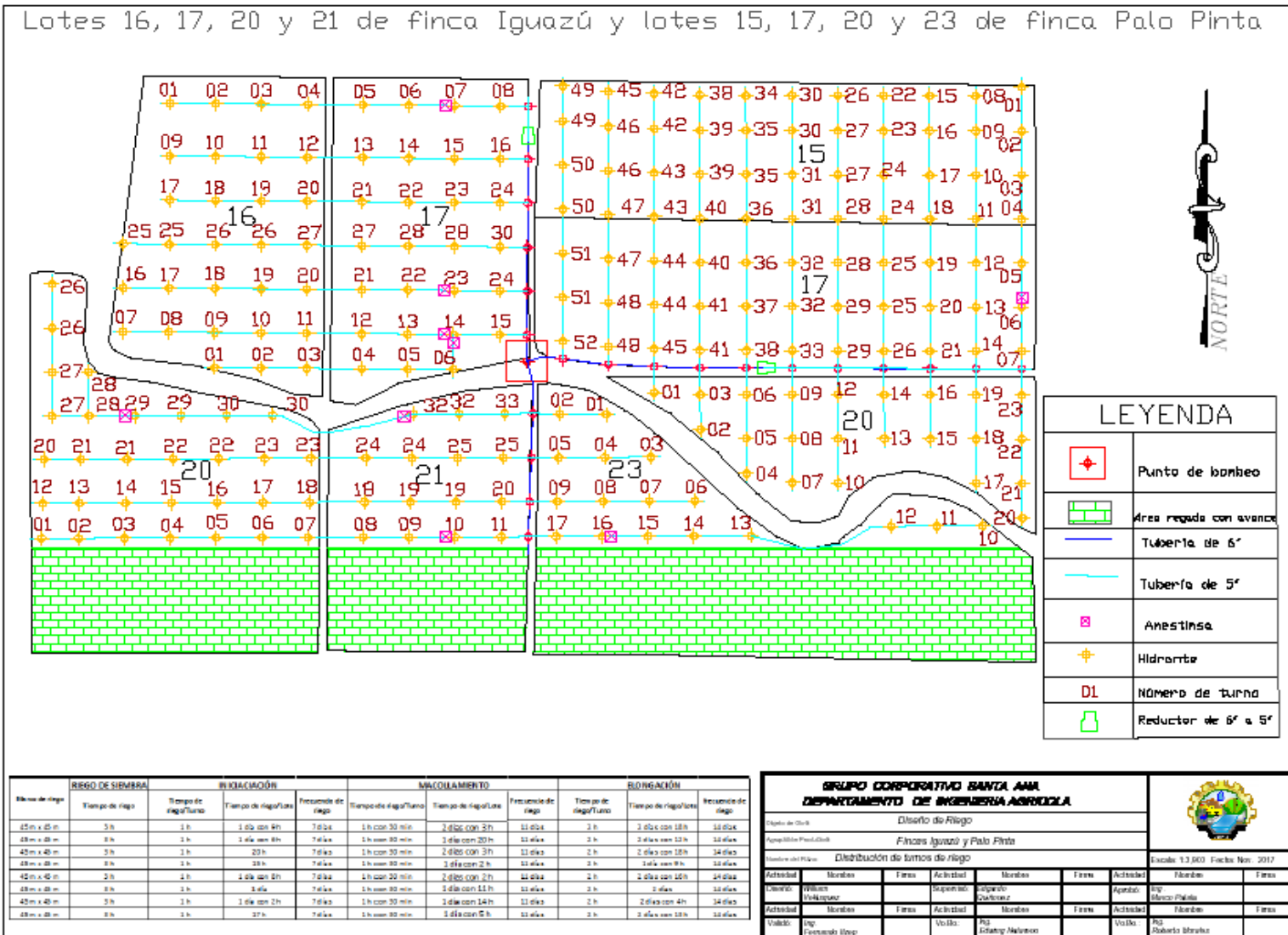
LEYENDA	
	Punto de bombeo
	Tubería de salida
	Tubería principal
	Codo de 90°
	Tuberías laterales
	Hidrante
	Número de turno
	Tubo enterrado
	Amestinsa 6'
	Amestinsa 5'



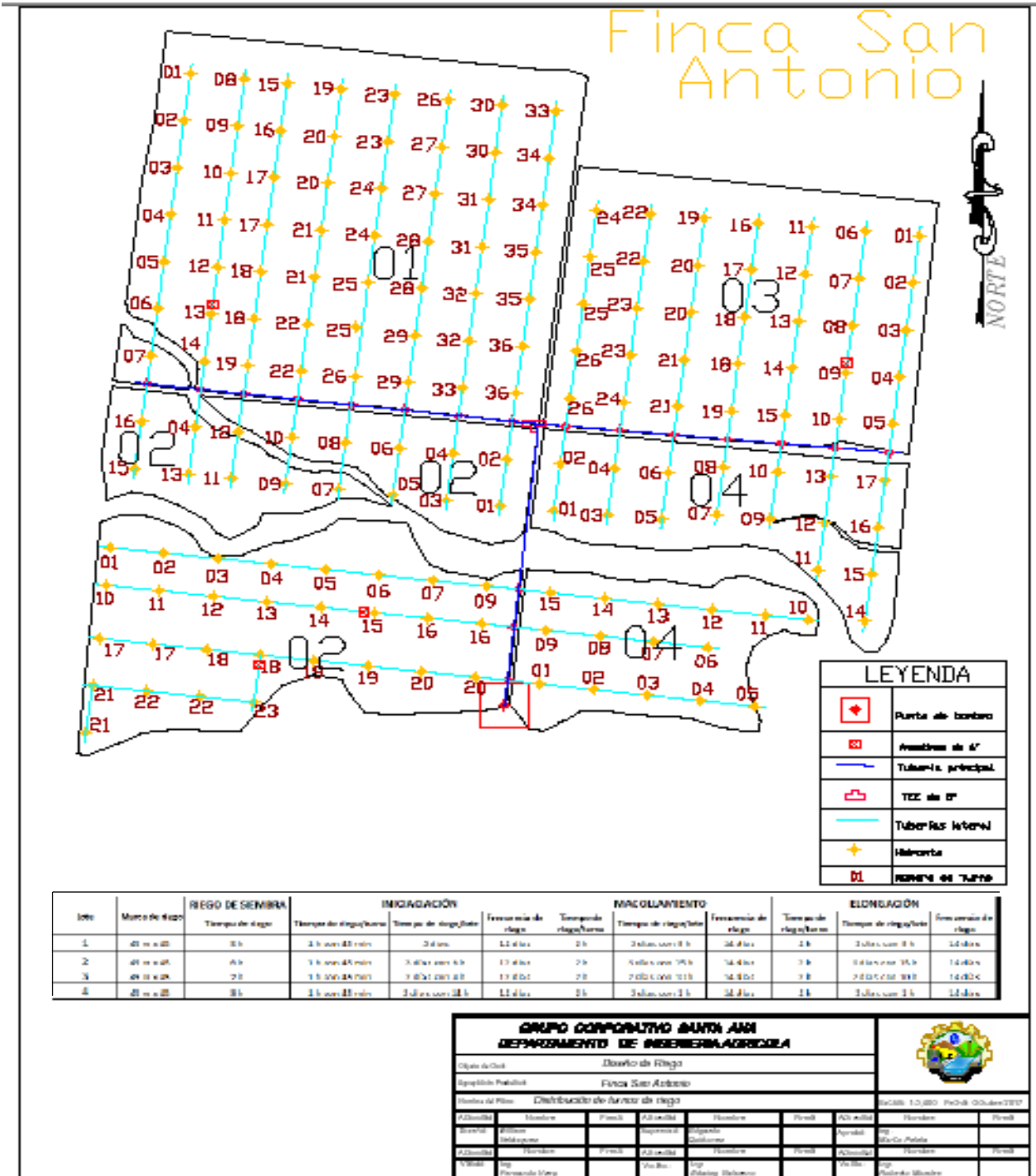
Lote	Medio de riego	RIEGO DE SIEMBRA		INICIACIÓN			MACOLLAMIENTO			ELONGACIÓN		
		Tiempo de riego	Tiempo de riego/hora	Tiempo de riego/día	Frecuencia de riego	Tiempo de riego/turno	Tiempo de riego/día	Frecuencia de riego	Tiempo de riego/día	Tiempo de riego/día	Frecuencia de riego	
301	45 m x 36 m	1 riego de 3h	1h	1 día con 18h	11 días	3h con 30 min	2 días con 17h	15 días	1h con 40 min	3 días con 2h	12 días	
302	45 m x 36 m	1 riego de 3h	1h	1 día con 12h	11 días	3h con 30 min	2 días con 8h	15 días	1h con 40 min	2 días con 3h	12 días	
303	45 m x 36 m	1 riego de 3h	1h	1 día con 10h	11 días	3h con 30 min	4 días con 5h	15 días	1h con 40 min	2 días con 3h	12 días	
304	45 m x 36 m	1 riego de 3h	1h	1 día con 15h	11 días	3h con 30 min	2 días con 18h	15 días	1h con 40 min	3 días con 4h	12 días	
305	45 m x 36 m	1 riego de 3h	1h	2 días con 6h	11 días	3h con 30 min	5 días con 9h	15 días	1h con 40 min	3 días con 17h	12 días	
306	45 m x 36 m	1 riego de 3h	1h	1 día con 9h	11 días	3h con 30 min	2 días con 3h	15 días	1h con 40 min	2 días con 8h	12 días	
307	45 m x 36 m	1 riego de 3h	1h	1 día con 6h	11 días	3h con 30 min	2 días	15 días	1h con 40 min	2 días con 2h	12 días	

GRUPO COOPERATIVO BANCA PARA DESARROLLO DE RIBERAS AGROPECUARIAS								
Departamento: Escuintla								
Finca Paso Antonio Pantaleón								
Diseño de Plan: Distribución de canales de riego								Escuintla, 12 de Mayo, 2017
Elaborado por:	Revisado:	Fecha:	Elaborado:	Revisado:	Fecha:	Elaborado:	Revisado:	Fecha:
Elaborado:	Revisado:	Fecha:	Elaborado:	Revisado:	Fecha:	Elaborado:	Revisado:	Fecha:
Elaborado:	Revisado:	Fecha:	Elaborado:	Revisado:	Fecha:	Elaborado:	Revisado:	Fecha:
Elaborado:	Revisado:	Fecha:	Elaborado:	Revisado:	Fecha:	Elaborado:	Revisado:	Fecha:

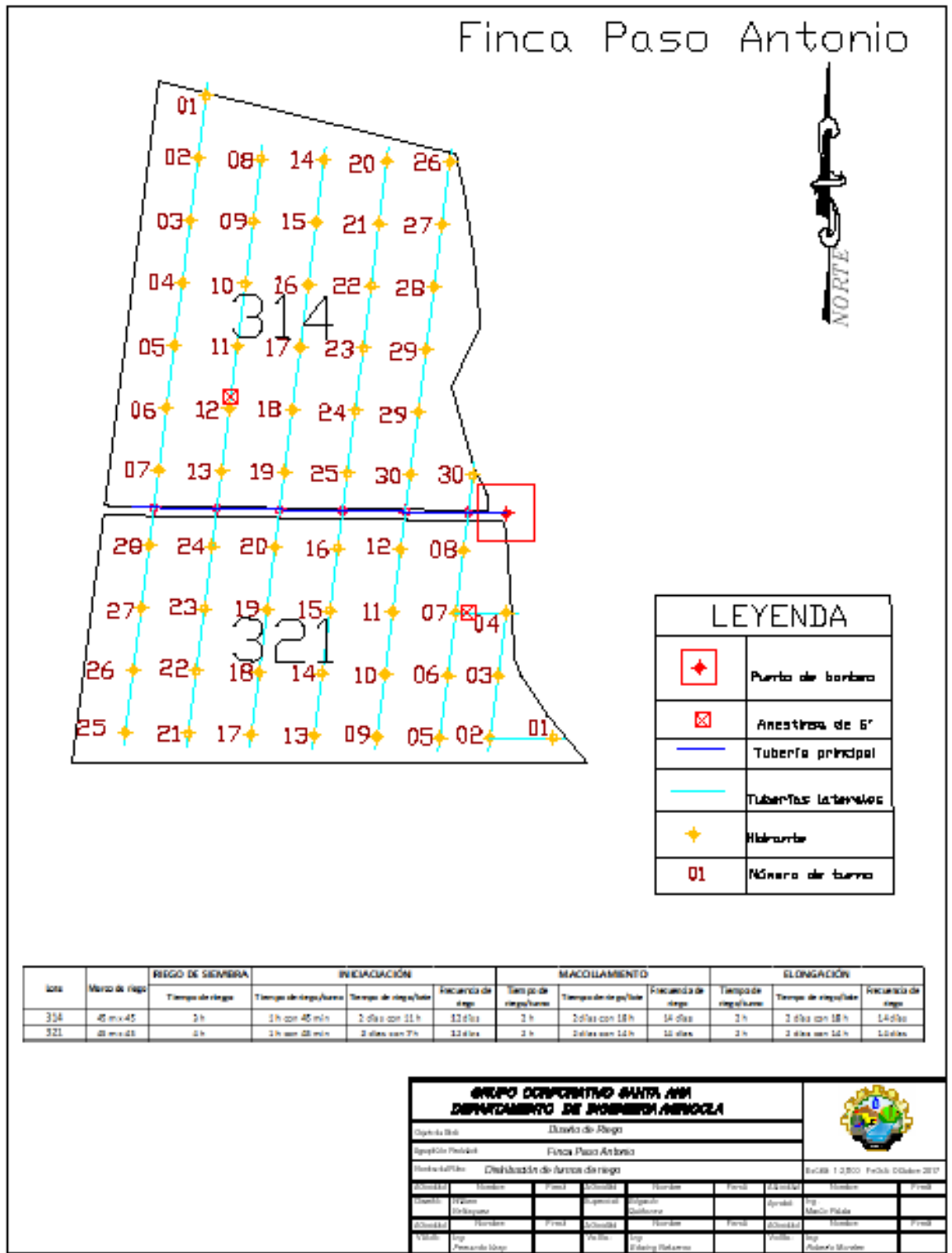
iv. **Rediseño en equipo de riego 394-0013 en fincas Iguazú y Palo Pinta, municipio de Masagua.**



v. Rediseño de equipo de riego 394-0022 en finca San Antonio



vi. Rediseño de equipo de riego 394-0022 en finca Paso Antonio.



E. Evaluación

1. Se determinaron parámetros agronómicos de tiempo de riego por turno de riego, láminas de riego a aplicar y frecuencias de riego a manejar, de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo de caña de azúcar para las características de clima y edáficas de las áreas trabajadas.
2. Se determinaron las condiciones de operación de los equipos de bombeo como las revoluciones por minuto, presión del caudal de salida, diámetros de tuberías,
3. Se realizaron mapas donde se indicó la distribución de las tuberías en las parcelas de riego y la operación del cada sistema mediante la indicación de las posiciones de riego.

F. Constancias



Figura 52. Prueba de funcionamiento de operación de equipos de riego con 6 aspersores Komet Twin 101.

3.5 Bibliografía

1. ICC (Instituto Privado de Investigación contra el Cambio Climático, Guatemala). 2018. Estaciones Meteorológicas, estación La Giralda (en línea). Consultado 22 Nov. 2019. Disponible en <https://redmet.icc.org.gt/>
2. Ingenio Santa Ana, Departamento de Ingeniería Agrícola, Guatemala. 2017. Metodología para la elaboración de pruebas de uniformidad. Escuintla, Guatemala.
3. Sandoval Illescas, J. 2007. Principios de riego y drenaje (en línea). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial Universitaria. 367 p. Disponible en <https://books.google.com.gt/books?id=afqo6tXEvTQC>

