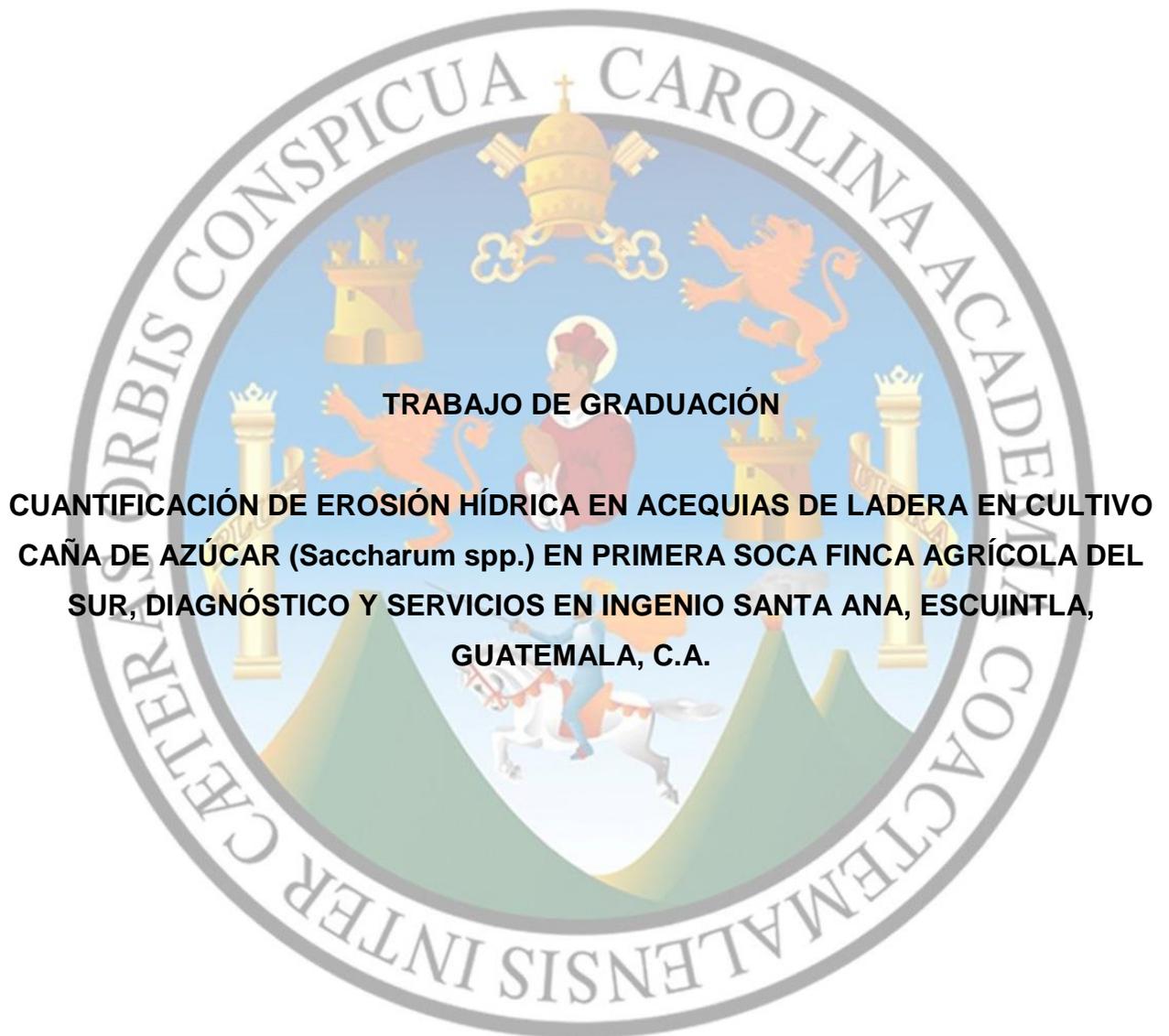


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**CUANTIFICACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN ACEQUIAS DE LADERA EN CULTIVO
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN PRIMERA SOCA FINCA AGRÍCOLA DEL
SUR, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA,
GUATEMALA, C.A.**

HUGO AMILDÁN ESCOBAR CÁNO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2019

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**CUANTIFICACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN ACEQUIAS DE LADERA EN CULTIVO
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN PRIMERA SOCA FINCA AGRÍCOLA DEL
SUR, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN 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

HUGO AMILDÁN ESCOBAR CÁNO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2019

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. Mario Antonio Godínez López
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	P. Agr. Marlon Estuardo González Alvares
VOCAL V	P. Agr. Marvin Orlando Sicajaú Pec

GUATEMALA, AGOSTO DE 2019

Guatemala, agosto de 2019.

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: **“CUANTIFICACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN ACEQUIAS DE LADERA EN CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN PRIMERA SOCA FINCA AGRÍCOLA DEL SUR, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN 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”

F. _____
HUGO AMILDÁN ESCOBAR CÁNO

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS,** Por las bendiciones durante todo el tiempo de estudios.
- A MIS PADRES,** Por sus consejos y motivaciones para culminar mis estudios.
- A MIS HERMANOS,** Por su apoyo incondicional en mis decisiones.
- A MIS COMPAÑEROS
Y AMIGOS,** Ya que mostraron y compartieron su alegría, paciencia y apoyo,
especialmente a los miembros del gremio "Punto"

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitir culminar mi carrera profesional.

A mis padres y hermanos, porque siempre han cuidado de mí.

A mi asesor Dr. Marvin Salguero y supervisor Dr. Marco Vinicio Fernández, por su confianza y apoyo en la realización de este documento.

Al ingenio Santa Ana principalmente al Ing. Agr. Marco Palala, a P. Agr. Edgardo Quiñonez, Fredy Marroquín y trabajadores de campo por su apoyo en la ejecución de la investigación.

Al instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, especialmente a la Inga, Agr. Alma Santos por su apoyo durante la planificación y ejecución de esta investigación.

Al laboratorio agronómico de CENGICAÑA por el apoyo en los análisis de suelo.

ÍNDICE GENERAL

TITULO	PÁGINA
RESUMEN.....	XI
CAPITULO I	
DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE RIEGO DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA, REGIÓN VI, ESCUINTLA, GUATEMALA.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 General.....	4
1.2.2 Específicos.....	4
1.3 MARCO REFERENCIAL.....	5
1.3.1 Empresa.....	5
1.3.2 Visión.....	6
1.3.3 Misión.....	6
1.3.4 Estructura.....	6
1.3.5 Productos elaborados en el ingenio Santa Ana.....	7
1.3.6 Mercado interno.....	7
1.3.7 Mercado de exportación.....	7
1.3.8 Área de riego.....	8
1.4 METODOLOGÍA.....	9
1.4.1 Georreferenciación de los puntos de deriva de las fuentes de agua utilizadas para los sistemas de riego.....	9
1.4.2 Determinación del caudal de los principales puntos de deriva de las fuentes de agua utilizadas para los sistemas de riego de la región seis.....	9
1.4.3 Determinación del estado de funcionamiento del equipo de riego por aspersión cañón de la región seis.....	9
1.4.4 Identificación de las problemáticas que enfrenta el área de riego del departamento de ingeniería agrícola.....	10

1.4.5	Priorización de la problemática encontrada.....	10
1.5	RESULTADOS	11
1.5.1	Estructura organizacional del área de riego	11
1.5.2	Fincas de la región seis.....	12
1.5.3	Principales fuentes de agua de región seis.	14
1.5.4	Aforo en la deriva de agua.	16
1.5.5	Estado de operación de sistemas de riego por aspersión cañón.....	17
1.5.6	Establecimiento de acequias de ladera.	18
1.5.7	Análisis de resultados.	19
1.6	CONCLUSIONES.....	26
1.7	BIBLIOGRAFÍA.....	27

CAPITULO II

	CUANTIFICACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN ACEQUIAS DE LADERA EN CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum spp.</i>) EN PRIMERA SOCA FINCA AGRÍCOLA DEL SUR, INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C. A.....	29
2.1	PRESENTACIÓN	31
2.2	MARCO CONCEPTUAL.....	33
2.2.1	Marco teórico	33
2.2.1.1	Erosión hídrica.....	33
2.2.1.2	Erosión hídrica superficial.....	33
2.2.1.3	Erosión por salpicadura y erosión laminar	34
2.2.1.4	Erosión por surcos o en regueros	34
2.2.1.5	Erosión en barrancos o cárcavas.....	35
2.2.1.6	Erosión en bancos aluviales	35
2.2.1.7	Variables influyentes en la tasa de erosión	35
2.2.1.8	Metodología de medición de la erosión y sedimentación	39
2.2.1.9	Estimación de erosión por parcelas de clavos	43
2.2.1.10	Acequias de ladera	45
2.2.1.11	Zanjillas de absorción	45

2.2.1.12 Muestreo de suelos	46
2.2.2 Marco referencial	48
2.2.2.1 Estaciones meteorológicas ICC.....	48
2.2.2.2 Datos de precipitación pluvial.....	49
2.2.2.3 Erosión hídrica potencial en zona cañera.....	50
2.2.2.4 Soca y estado fenológico del cultivo.....	53
2.2.2.5 Manejo del cultivo.....	54
2.2.2.6 Precipitación pluvial.....	55
2.3 OBJETIVOS.....	57
2.3.1 General.....	57
2.3.2 Específicos	57
2.4 METODOLOGÍA	58
2.4.1 Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante el método altimétrico.	58
2.4.2 Cuantificación de la cantidad de suelo sedimentado en acequia de ladera producto de erosión hídrica por escorrentía superficial.	60
2.4.3 Cuantificación de la cantidad de nutrientes del suelo sedimentado en acequia de ladera producto de erosión hídrica por escorrentía superficial.	61
2.4.4 Análisis de resultados.....	63
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
2.5.1 Precipitación pluvial.....	64
2.5.2 Movimiento de suelo por lluvia.....	65
2.5.3 Sedimentación en acequia de ladera.....	71
2.5.4 Nutrientes en suelo sedimentado.....	79
2.6 CONCLUSIONES	83
2.7 RECOMENDACIONES	84
2.8 BIBLIOGRAFÍA	85
2.9 APÉNDICE.....	87
2.9.1 Cálculos de erosión hídrica.....	87

IV

2.9.2	Cálculos de sedimentación de suelo	88
2.9.3	Cálculos de nutrientes en suelo sedimentado	89

CAPITULO III

SERVICIOS REALIZADOS EN ÁREA DE RIEGO Y DRENAJE REGIÓN VI, INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA.....		91
3.1	PRESENTACIÓN	93
3.2	ÁREA DE INFLUENCIA.....	94
3.3	OBJETIVOS	96
3.3.1	Objetivo general	96
3.4	SERVICIOS PRESTADOS	96
3.4.1	Evaluación de uniformidad de riego en sistemas de riego aspersión tipo cañón, mini aspersión y avance frontal.	96
3.4.2	Material y equipo.....	103
3.4.3	Resultados	104
3.4.4	Supervisión de riego del ingenio Santa Ana en base al área de riego semanal.	118

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
FIGURA 1. INSTALACIONES DEL INGENIO SANTA ANA	5
FIGURA 2. ORGANIGRAMA DEL INGENIO SANTA ANA CONSTRUIDO EN DIVISIONES.....	7
FIGURA 3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL ÁREA DE RIEGO.....	11
FIGURA 4. MAPA DE REGIÓN SEIS.	13
FIGURA 5. UBICACIÓN DE AFORO DE DERIVAS DE AGUA PARA LA REGIÓN SEIS .	15
FIGURA 6. AFORO DE LA PRINCIPAL DERIVA DEL RÍO GUACALATE.	16
FIGURA 7. CONSTRUCCIÓN DE ACEQUIAS DE LADERA.	19
FIGURA 8. ÁRBOL DE PROBLEMA DE CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO.	20
FIGURA 9. ÁRBOL DE PROBLEMA DE CALIDAD OPERATIVA DE RIEGO.	21
FIGURA 10. ÁRBOL DE PROBLEMA FALTA DE CONTROL DE METAS.....	21
FIGURA 11. ÁRBOL DE PROBLEMA FALTA DE REDISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO.....	22
FIGURA 12. ÁRBOL DE PROBLEMA DE EROSIÓN HÍDRICA.	22
FIGURA 13. EMBUDO DE IMPACTO.....	39
FIGURA 14. VISTA LATERAL DE UNA PARCELA DE EROSIÓN.....	40
FIGURA 15. MODIFICACIÓN DEL COLECTOR DE GERALCH EN VISTA LATERAL.	41
FIGURA 16. INSTALACIÓN DE MALLAS DE LIMO.....	42
FIGURA 17. CLAVOS DE EROSIÓN PARA MEDICIÓN DE CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DEL SUELO.....	42
FIGURA 18. LOCALIZACIÓN DE ESTACIÓN COSTA BRAVA.	49
FIGURA 19. PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE 2009 A 2016.....	50
FIGURA 20. EROSIDAD DE LA LLUVIA (MJ/HA*mm/hr) NÚMERO 5 ESTACIÓN COSTA BRAVA.....	51
FIGURA 21. RIESGO POTENCIAL DE EROSIÓN HÍDRICA DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA DE GUATEMALA.....	52
FIGURA 22. UBICACIÓN DE ACEQUIA.	58
FIGURA 23. UBICACIÓN DE PARCELAS DE EROSIÓN EN PANTES 521-517.	59

FIGURA 24. SEDIMENTACIÓN EN ACEQUIAS DE LADERA.	61
FIGURA 25. ESQUEMA DE RECORRIDO PARA MUESTREO.	61
FIGURA 26. BARRENO PARA EL MUESTREO DE SUELO.....	62
FIGURA 27. PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN FINCA AGRÍCOLA DEL SUR DE MAYO A OCTUBRE 2017.....	64
FIGURA 28. COMPORTAMIENTO DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN DEL MES DE MAYO DEL 2017.	66
FIGURA 29. CURVAS DE NIVEL DE PARCELA DE CLAVOS DE EROSIÓN.	67
FIGURA 30. COMPORTAMIENTO DE EROSIÓN HÍDRICA Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL.....	70
FIGURA 31. SIEMBRA DE CULTIVO A CURVAS DE NIVEL.....	70
FIGURA 32. MEDICIÓN DE SEDIMENTACIÓN EN ACEQUIA DE LADERA.	71
FIGURA 33. COMPORTAMIENTO DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN DE ACUERDO A LA ETAPA FENOLÓGICA DEL CULTIVO.	76
FIGURA 34. SEDIMENTACIÓN DE SUELO DE CADA TRAMO DE ACEQUIA DE LADERA.	77
FIGURA 35. CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PANTE 518 MES DE MAYO, 2017.....	78
FIGURA 36. COMPORTAMIENTO DE SEDIMENTACIÓN MENSUAL EN ACEQUIA DE LADERA.	79
FIGURA 37. MUESTREO DE SUELO SEDIMENTADO.....	80
FIGURA 38. ÁREA DE RIEGO CON SISTEMA DE ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN.	94
FIGURA 39. ÁREA DE RIEGO CON SISTEMA DE MINI-ASPERSIÓN.....	95
FIGURA 40. DISTRIBUCIÓN DE PLUVIÓMETROS PARA MARCO DE RIEGO 45 m* 45 m CON 4 ASPERSORES	98
FIGURA 41. DISTRIBUCIÓN DE PLUVIÓMETROS PARA MARCO DE RIEGO 45 m* 45 m CON 2 ASPERSORES.	98
FIGURA 42. DISTRIBUCIÓN DE PLUVIÓMETROS PARA MARCO DE RIEGO CON 1 ASPERSOR.....	99
FIGURA 43. DISTRIBUCIÓN DE PLUVIÓMETROS EN AVANCE FRONTAL.....	101
FIGURA 44. DISTRIBUCIÓN DE LA LÁMINA APLICADA DE RIEGO	111
FIGURA 45. DISTRIBUCIÓN DE LA LÁMINA APLICADA DE RIEGO.....	114

FIGURA 46. DISTRIBUCIÓN DE LÁMINA APLICADA DE RIEGO.	116
FIGURA 47. INSPECCIÓN DE CALIDAD EN AVANCE FRONTAL, INSPECCIÓN DE BOQUILLAS.	132

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
CUADRO 1. FINCAS QUE CONFORMAN LA REGIÓN SEIS.	12
CUADRO 2. ENTRADAS DE AGUA DE REGIÓN SEIS.	14
CUADRO 3. PRINCIPAL FUENTE DE AGUA REGIÓN SEIS.	14
CUADRO 4. COORDENADAS GTM DE LAS PRINCIPALES DERIVAS DE AGUA.	15
CUADRO 5. ESTADO DE OPERACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN.	17
CUADRO 6. ESCALA DE VALOR PARA COMPARACIÓN.	23
CUADRO 7. MATRIZ DE ANÁLISIS DE PARES PARA LOS PROBLEMAS DIAGNOSTICADOS.	23
CUADRO 8. PORCENTAJE DE FACTORES.	24
CUADRO 9. PRIORIZACIÓN DE LOS ASPECTOS EVALUADOS.	24
CUADRO 10. ESTACIONES METODOLÓGICAS.	48
CUADRO 11. VARIEDADES Y CORTES REALIZADOS EN LOS PANTES EVALUADOS.	53
CUADRO 12. CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO REALIZA EN FINCA AGRÍCOLA DEL SUR.	54
CUADRO 13. REGISTRO DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE ESTACIÓN INGENIO SANTA ANA.	55
CUADRO 14. LECTURA DE VARILLAS EN PARCELA DE CLAVOS DE EROSIÓN.	65
CUADRO 15. EROSIÓN REGISTRADA EN PARCELAS DE CLAVOS MAYO Y JUNIO (T/ha)	67

CUADRO 16. EROSIÓN REGISTRADA EN PARCELAS DE CLAVOS DE JULIO Y AGOSTO (T/ha).....	68
CUADRO 17. EROSIÓN REGISTRADA EN PARCELAS DE CLAVOS SEPTIEMBRE Y OCTUBRE (T/ha)	68
CUADRO 18. TASA MENSUAL DE EROSIÓN HÍDRICA (T/ha).....	69
CUADRO 19. REGISTRO DE VOLUMEN DE SUELO SEDIMENTADO DEL MES DE MAYO.	72
CUADRO 20. ANÁLISIS FÍSICO DE SUELO.	74
CUADRO 21. TOTAL, DE SEDIMENTACIÓN DE SUELO EN ACEQUIA DE LADERA....	75
CUADRO 22. SEDIMENTACIÓN MENSUAL (T/ha).	75
CUADRO 23. RESULTADO DE ANÁLISIS DE SUELO SEDIMENTADO.	80
CUADRO 24. ESTIMACIÓN DE FERTILIZANTE MAP EN SUELO SEDIMENTADO.	81
CUADRO 25. ESTIMACIÓN DE FERTILIZANTE UP EN SUELO SEDIMENTADO.	82
CUADRO 26. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 294-0038.	104
CUADRO 27. EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 294-0038.	105
CUADRO 28. OPORTUNIDADES DE MEJORA EN BASE AL DIAGNÓSTICO.	105
CUADRO 29. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 294-0185.	106
CUADRO 30. EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 294-0185.	106
CUADRO 31. OPORTUNIDADES DE MEJORA EN BASE AL DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO 294-0185.	107
CUADRO 32. COMPARACIÓN DE PRUEBAS DE UNIFORMIDAD.	108
CUADRO 33. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 360-0002.	108
CUADRO 34. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 360-0002	109
CUADRO 35. DIAGNÓSTICO DE EVALUACIÓN EN CAMPO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EQUIPO 360-0002	109
CUADRO 36. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 3267-0001	110
CUADRO 37. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 3267-0001	111
CUADRO 38. DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EQUIPO 3267-0001	112

CUADRO 39. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 3267-0001	113
CUADRO 40. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE CALIDAD DE EQUIPO 3267-0001.	114
CUADRO 41. DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA EL EQUIPO 3267-0001.	115
CUADRO 42. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 3267-0002	116
CUADRO 43. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 3267-0002	117
CUADRO 44. DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EQUIPO 3267-0002	117
CUADRO 45. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 1.....	123
CUADRO 46. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 2.....	124
CUADRO 47. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 3.....	125
CUADRO 48. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 4.....	126
CUADRO 49. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 5.....	127
CUADRO 50. TOTAL, DE ÁREA REGADA A NIVEL INGENIO.	127
CUADRO 51. TOTAL, ÁREA REGADA REGIÓN UNO.....	128
CUADRO 52. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN DOS.	128
CUADRO 53. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN TRES.	129
CUADRO 54. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN CUATRO.....	129
CUADRO 55. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN CINCO.	130
CUADRO 56. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN SEIS.....	130
CUADRO 57. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN SIETE.....	131
CUADRO 58. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE CALIDAD.....	131

CUANTIFICACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN ACEQUIAS DE LADERA EN CULTIVO CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN PRIMERA SOCA FINCA AGRÍCOLA DEL SUR, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado de agronomía (EPSA) se realizó durante el periodo correspondiente de febrero a noviembre del año 2017 en la región seis del ingenio Santa Ana, el cual se encuentra ubicado en la finca Cerritos I situada a 4.5 km del municipio de Escuintla y una distancia de 65.6 km de la ciudad capital, en el área de riego, cuya función es asegurar el cumplimiento del déficit hídrico del cultivo de caña de azúcar durante la zafra del periodo seco del 15 de noviembre al 15 de mayo en las siete regiones que se divide el ingenio.

La prioridad del área de riego es el monitoreo de la calidad técnica de riego, la cual es la más importante debido a que evalúa eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad, intensidad de riego y lamina promedio por riego permitiendo establecer si se está cumpliendo con el requerimiento hídrico del cultivo o bien se está aplicando una lámina mayor a la requerida lo cual aumenta los costos de operación y el volumen de agua utilizado.

La investigación constituyó la cuantificación de la tasa neta de erosión hídrica registrada bajo las condiciones climáticas, manejo de cultivo y prácticas de conservación de suelo de 5.17 T/ha/año para la época lluviosa obtenida mediante el método altímetro de parcelas de clavos de erosión, con lo cual la captación de la acequia de ladera fue 97 toneladas de suelo, suelo captado por la estructura de conservación durante el periodo comprendido del mes de mayo a octubre. Dicho dato fue registrado mediante la medición de altura en las varillas de hierro establecidas al inicio de la investigación.

Las acequias de ladera permitieron la sedimentación del suelo erosionado lo cual disminuye la pérdida de nutrientes en el suelo, que a futuro la pérdida de nutrientes involucra mayor uso de fertilizantes, al mismo tiempo que evitan la disminución de la capa arable, disminuyen la velocidad de escorrentía y permiten la infiltración del agua.

En la cantidad de suelo sedimentado se cuantificaron las cantidades de P y K, estimándose la recuperación de 3.15 kg de fertilizante fosfato monoamónico (MAP) (10-50-0) y 122.35 kg de fertilizante 26-0-26 UP, fuentes utilizadas para el aporte de estos nutrientes al cultivo.

Los servicios ejecutados para el área de riego y drenaje se basaron en los resultados obtenidos en el diagnóstico de acuerdo con la priorización realizada se evidencio la necesidad de implementar la evaluación de uniformidad de riego en los distintos sistemas que se manejan y la evaluación de supervisión de riego en las siete regiones del ingenio.

En la región seis el sistema de riego por aspersión/gravedad cubre 619.65 ha, el sistema de aspersión tipo cañón cubre 756.56 ha, el sistema mecanizado de avance frontal cubre 664.96 ha y el sistema de inundación cubre 1,357.55 ha el cual presenta menor eficiencia de aplicación con mayor consumo de agua.

De acuerdo con las evaluaciones de uniformidad se aplica una lámina neta de 39 mm con marco de riego de 54 m * 54 m e intensidad de 19 mm/hr, con marco de riego de 45 m * 45 m se aplica una lámina de 66 mm con intensidad de riego de 33 mm/hr en ambos casos el tiempo de riego/turno es 2 hr. En riego por mini aspersión el marco de riego es 18 m * 12 m con lo cual la lámina aplicada es 28 mm con intensidad de riego de 3.49 mm/hr y tiempo de riego/turno de 8 hr. En ambos sistemas el coeficiente de uniformidad oscila entre 72 % a 81 %.

En el sistema mecanizado de avance frontal la lámina promedio obtenida es 28 mm y coeficiente de uniformidad de 76 % a 83 % con velocidad porcentual real de 40 %. La supervisión de riego con la plataforma implementada tuvo una duración de 5 semanas en las cuales se obtuvo una calificación promedio a nivel de ingenio de 85 % y calidad técnica de riego promedio de 84 %.



CAPITULO I
DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE RIEGO DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA, GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA, REGIÓN VI, ESCUINTLA,
GUATEMALA.

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente diagnóstico se realizó en la región seis del ingenio Santa Ana, el cual se encuentra ubicado en la finca Cerritos I situada a 4.5 km del municipio de Escuintla y una distancia de 65.6 km de la ciudad capital, en el área de riego cuya función es asegurar el cumplimiento del déficit hídrico del cultivo de caña durante la zafra del periodo seco del 15 de noviembre al 15 de mayo en las siete regiones que se divide el ingenio.

La región seis, cuenta con el río Guacalate que es el de mayor importancia del cual se derivan 12,118 gpm para riego con un total de 505.19 ha y la fábrica. Los sistemas de riego utilizados en dicha región son por aspersión cañón, sistemas por aspersión/gravedad, sistema por gravedad el cual es el de menor eficiencia, sistema mecanizado de avance frontal el cual tiene la ventaja de cubrir mayor área de riego. En cuanto al sistema de riego por aspersión tipo cañón se tiene la capacidad de regar 31 ha por día manteniendo los márgenes de riego de 54 m * 54 m y trabajando con 2 o 3 aspersores.

La prioridad del área de riego es el monitoreo de la calidad técnica de riego, la cual es la más importante debido a que evalúa eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad, intensidad de riego y lamina promedio por riego permitiendo establecer si se está cumpliendo con el requerimiento hídrico del cultivo o bien se está aplicando una lámina mayor a la requerida lo cual aumenta los costos de operación y el volumen de agua utilizado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

- Localizar y cuantificar las fuentes de agua y conocer el estado del equipo de riego utilizados de la región seis del grupo corporativo Santa Ana, Escuintla, Guatemala.

1.2.2 Específicos

- Georreferenciar las principales derivas de las fuentes de agua utilizadas para los sistemas de riego.
- Determinar el caudal total de la principal deriva de la fuente de agua utilizada para los sistemas de riego de la región seis.
- Determinar el estado de funcionamiento del equipo de riego por aspersión cañón de la región seis.
- Identificar las problemáticas en el área de riego del departamento de ingeniería agrícola.
- Priorizar la problemática encontrada en el área de riego del departamento de ingeniería agrícola.

1.3 MARCO REFERENCIAL

1.3.1 Empresa

El grupo corporativo Santa Ana está localizado en la finca Cerritos del municipio de Escuintla (Pec, 2015). Está situado a 4.5 km del municipio de Escuintla y una distancia de 65.6 km de la ciudad capital (figura 1). Colinda al Norte con las carreteras que conducen hacia el municipio de Santa Lucia Cotz, al Sur y al Este con el municipio de Masagua, Escuintla y al Oeste con la finca Rancho María. Las instalaciones del ingenio tienen una extensión de 423.24 ha (Pec, 2015).



Fuente: google earth

FIGURA 1. INSTALACIONES DEL INGENIO SANTA ANA

El ingenio Santa Ana es una empresa que produce y comercializa la caña de azúcar, y otros subproductos como energía eléctrica, melaza, torta de cachaza, etc, con todas las normas

de calidad para satisfacer con una parte de la demanda del mercado guatemalteco así también como el mercado de exportación (Paz, 2010).

1.3.2 Visión

Producir y comercializar azúcar, melaza y energía eléctrica a través del uso eficiente de nuestros recursos, generando desarrollo para mantenernos como una empresa competitiva y rentable en el mercado nacional e internacional (grupo corporativo Santa Ana, 2017).

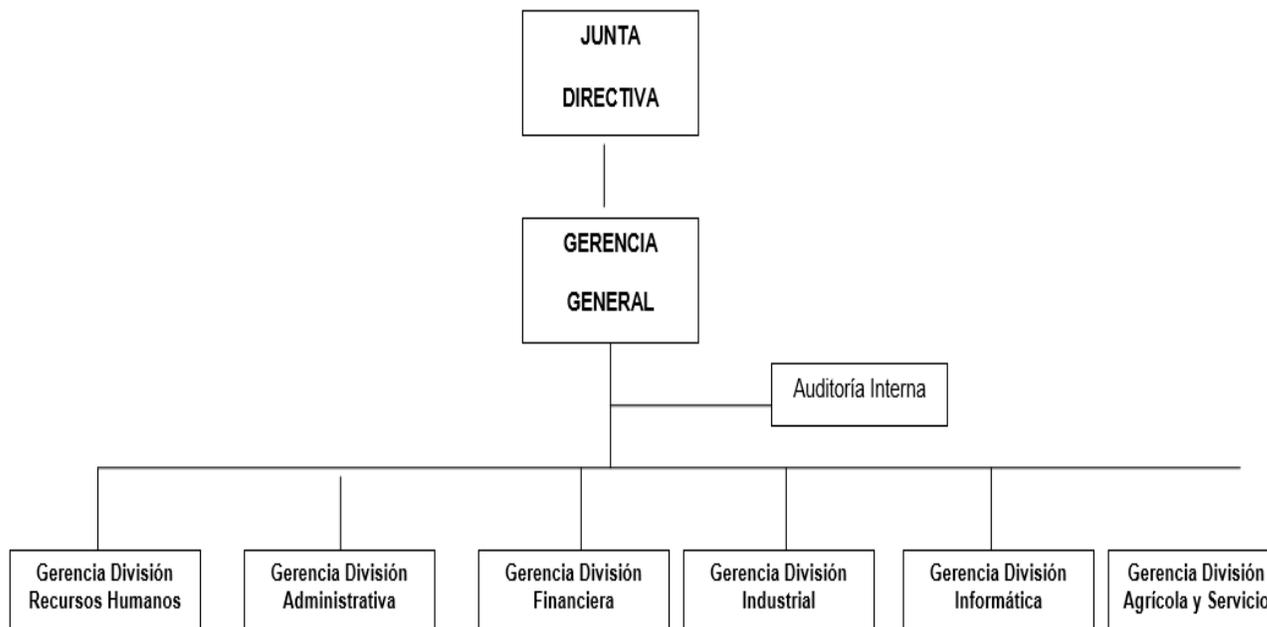
1.3.3 Misión

Ser una de las organizaciones líderes en la agroindustria azucarera, comprometida con la sociedad y el medio ambiente, cuya eficiencia operativa y financiera genere bienestar para nuestros accionistas, colaboradores, clientes y proveedores (grupo corporativo Santa Ana, 2017).

1.3.4 Estructura

El ingenio se encuentra constituido por varias divisiones tales como agrícola, recursos humanos, administrativa, industrial, informática y finanzas, para poder llevar a cabo todas las actividades de operación para la producción y comercialización de la caña de azúcar (Paz, 2010).

Para ver de una mejor forma las divisiones se presenta a continuación un organigrama de la empresa (figura 2).



Fuente: Paz, 2010.

FIGURA 2. ORGANIGRAMA DEL INGENIO SANTA ANA CONSTRUIDO EN DIVISIONES.

1.3.5 Productos elaborados en el ingenio Santa Ana

Santa Ana como grupo corporativo oferta sus productos al mercado de exportación y el mercado interno (grupo corporativo Santa Ana, 2017).

1.3.6 Mercado interno

Para el mercado interno se ofrece y comercializa azúcar blanca standard, azúcar refinada local, azúcar superior, azúcar morena, melaza, torta de cachaza y energía eléctrica (grupo corporativo Santa Ana, 2017).

1.3.7 Mercado de exportación

El grupo corporativo exporta a otros países azúcar refinada tipo A y azúcar crudo. La azúcar refinada tipo A es de color 0-45 grados ICUMSA (constituye el factor más importante para

este tipo de azúcar), Pol 99.85 mínima y humedad 0.004 %; en cambio, el azúcar crudo es todo aquel que presente un Pol mínimo de 97.9 % (grupo corporativo Santa Ana, 2017).

1.3.8 Área de riego

La labor del área de riego tiene como objetivos asegurar la población inicial de la caña de azúcar e incrementar el peso de los tallos, para tal fin se realizan riegos postcorte o siembra y precorte para cada una de las etapas fenológicas tipificadas por sus necesidades hídricas (Melgar, 2014).

En la aplicación de riego se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

La demanda climática.

- Esta se determina a través de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o), el cual es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera. Los únicos factores que afectan la ET_o son los parámetros climáticos (FAO, 2008). Capacidad del suelo para retener agua: la capacidad del suelo de retener agua es muy variable en la zona cañera guatemalteca y es dependiente de la clase textural. Los suelos con altos contenidos de arena tienen una baja capacidad de retención de agua, mientras que las clases texturales con predominio de limo tienen una alta capacidad de retención (Melgar, 2014).
- Operación del sistema de riego. Este factor es importante considerarlo en la planificación para la selección del sistema de riego a utilizar y define ¿el cómo regar? la selección estará determinada en utilizar sistemas de riego móviles que por sus características de traslado o movilidad tienen que operar con frecuencias o intervalos fijos aspersores tipo cañón (presión alta) y miniaspersión (presión media), móviles o semifijos, desplazamiento frontal (Melgar, 2014).

1.4 METODOLOGÍA

Los pasos para realizar el diagnóstico fueron los siguientes:

1.4.1 Georreferenciación de los puntos de deriva de las fuentes de agua utilizadas para los sistemas de riego.

Fue necesario revisar la base de datos para establecer las entradas de agua para riego de la región seis, las cuales se georreferenciaron desde el área principal de deriva con el uso del GPS de mano GARMIN del cual se descarga las coordenadas en formato Excel.

1.4.2 Determinación del caudal de los principales puntos de deriva de las fuentes de agua utilizadas para los sistemas de riego de la región seis.

Se revisó la base de datos de aforo específicamente para las principales entradas de agua de la región seis, el aforo se realizó mediante el método de sección-velocidad calculado con molinete, utilizado cuando el río fluye a profundidades diferentes. De tal manera que el caudal del río estará dado por:

$$Q = A * V$$

Donde:

Q= caudal del agua en m³/s

A= área de la sección transversal en m²

V= velocidad media del agua en m/s

1.4.3 Determinación del estado de funcionamiento del equipo de riego por aspersión cañón de la región seis.

Se recopiló información con los mayordomos de riego y se realizó la visita de campo en cada una de las motobombas para la toma de los datos de código de equipo, marco de riego, tipo de aspersores, número de aspersores en funcionamiento, tiempo de riego por turno, presión de funcionamiento de aspersores para lo cual se utilizó manómetro.

1.4.4 Identificación de las problemáticas que enfrenta el área de riego del departamento de ingeniería agrícola.

Para la identificación de las problemáticas se realizó la consulta con el personal encargado en supervisión de equipos de riego.

Personal encargado:

- Jefe de área de riego.
- Supervisor de riego.
- Mayordomo de sistemas de riego.

Además de la inspección en campo de las actividades que se realiza en el área de riego.

1.4.5 Priorización de la problemática encontrada.

Para la priorización de la problemática se empleó una matriz de análisis de pares en la cual se comparó los factores de interés identificados con el personal encargado de la supervisión de los equipos de riego.

Para la clasificación del grado de importancia entre factores se asignaron 3 opciones de selección:

1. No hay preferencia entre aspectos comparados.
2. Cierta preferencia hacia uno de los aspectos comparados.
3. Total, preferencia hacia uno de los aspectos evaluados.

De acuerdo con el grado de importancia de los factores se le designo un valor de 0 a 2, para la obtención de la sumatoria de cada factor, obteniendo cual es el aspecto con mayor problemática en el área de riego.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Estructura organizacional del área de riego

La estructura organizacional del área de riego se basa en el jefe de área de riego y drenaje, supervisor de riego el cual es el encargado del manejo de los sistemas de riego en las siete regiones del ingenio, los mayordomos de riego los cuales tienen 2 caporales de riego (figura 3), su principal función es monitorear el funcionamiento adecuado de los sistemas de riego, monitoreo de horómetros y asignación de operadores.



FIGURA 3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL ÁREA DE RIEGO.

1.5.2 Fincas de la región seis.

El ingenio se encuentra dividido en siete regiones, la región seis del ingenio Santa Ana está conformada por las siguientes fincas (cuadro 1 y figura 4).

CUADRO 1. FINCAS QUE CONFORMAN LA REGIÓN SEIS.

CODIGO	FINCA
1202	La Peñita
1203	Cerritos 1
1204	Provincias
1205	Agrícola del sur
1206	Ojo de agua
1207	La Laguneta
1208	La Majunchera
1209	Agropecuaria centroamericana
1210	El Amatillo
1211	Agrícola el chupadero
1212	Piedras Coloradas
1213	El Caimito
1214	Llanes
1254	Papelera
1323	Santa Elena
1431	Cuncun
1803	Rancho María
1809	La inquietud
1816	San José palmeras

Leyenda

Región seis

FINCA

- AGRICOLA DEL SUR
- AGRICOLA EL CHUPADERO
- AGROPECUARIA CENTROAMERICANA
- CERRITOS I
- CUNCUN
- EL AMATILLO
- EL CAIMITO
- LA INQUIETUD
- LA LAGUNETA
- LA MAJUNCHERA
- LA PEÑITA
- LLANES
- OJO DE AGUA
- PAPELERA
- PIEDRAS COLORADAS
- PROVINCIAS
- RANCHO MARIA
- SAN JOSE PALMERAS
- SANTA ELENA

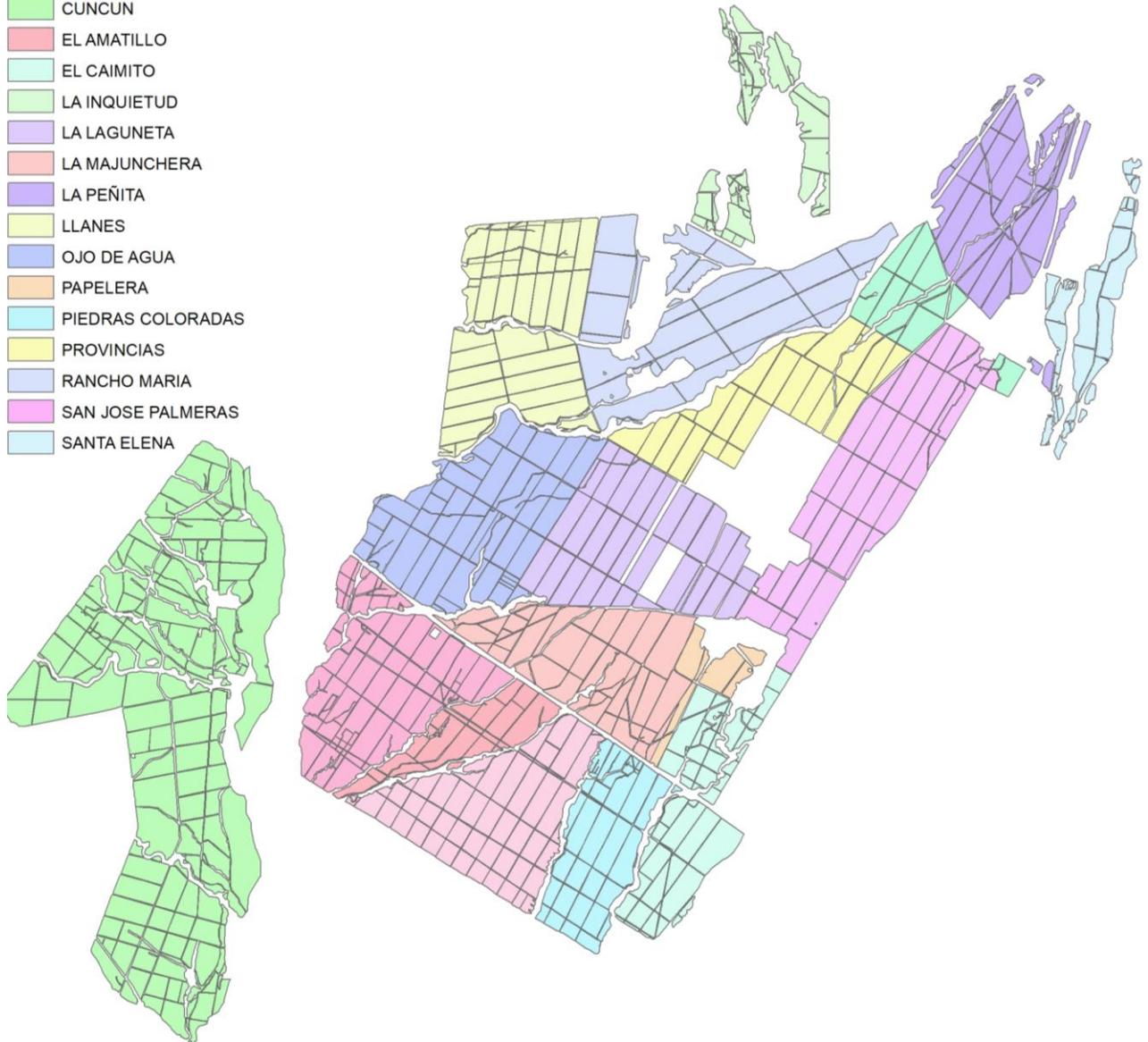


FIGURA 4. MAPA DE REGIÓN SEIS.

1.5.3 Principales fuentes de agua de región seis.

La región seis, cuenta con 9 derivas de agua (cuadro 2) de las cuales 5 provienen del río Guacalate, 1 del río Achíguate, 2 del río Provincias y una del río Chan, el área que se riega con estas derivas es 1,075.77 ha.

CUADRO 2. ENTRADAS DE AGUA DE REGIÓN SEIS.

Código	Finca	Río	Área de riego (ha)
1431	Cuncun	Achíguate	264.67
1205	Agrícola del sur	Guacalate	200.31
1803	Rancho María	Provincias	197.74
1204	Provincias	Guacalate	150.05
1202	La peñita	Guacalate	90.95
1214	Llanes	Provincias	58.17
1202	La peñita	Chan	50
1203	Cerritos	Guacalate	35
1207	La Laguneta	Guacalate	28.88
Total (ha)			1075.77

La principal fuente de agua de la región seis es el río Guacalate ya que se tiene 1 deriva principal y 4 derivas secundarias (cuadro 3).

CUADRO 3. PRINCIPAL FUENTE DE AGUA REGIÓN SEIS.

Código	Finca	Río	Área de riego (ha)
1202	La peñita	Guacalate	90.95
1204	Provincias	Guacalate	150.05
1205	Agrícola del sur	Guacalate	200.31
1203	Cerritos	Guacalate	35
1207	La Laguneta	Guacalate	28.88
Total (ha)			505.19

En la figura 5, se ubica la deriva principal del río Guacalate en la entrada de la finca Cuncun.

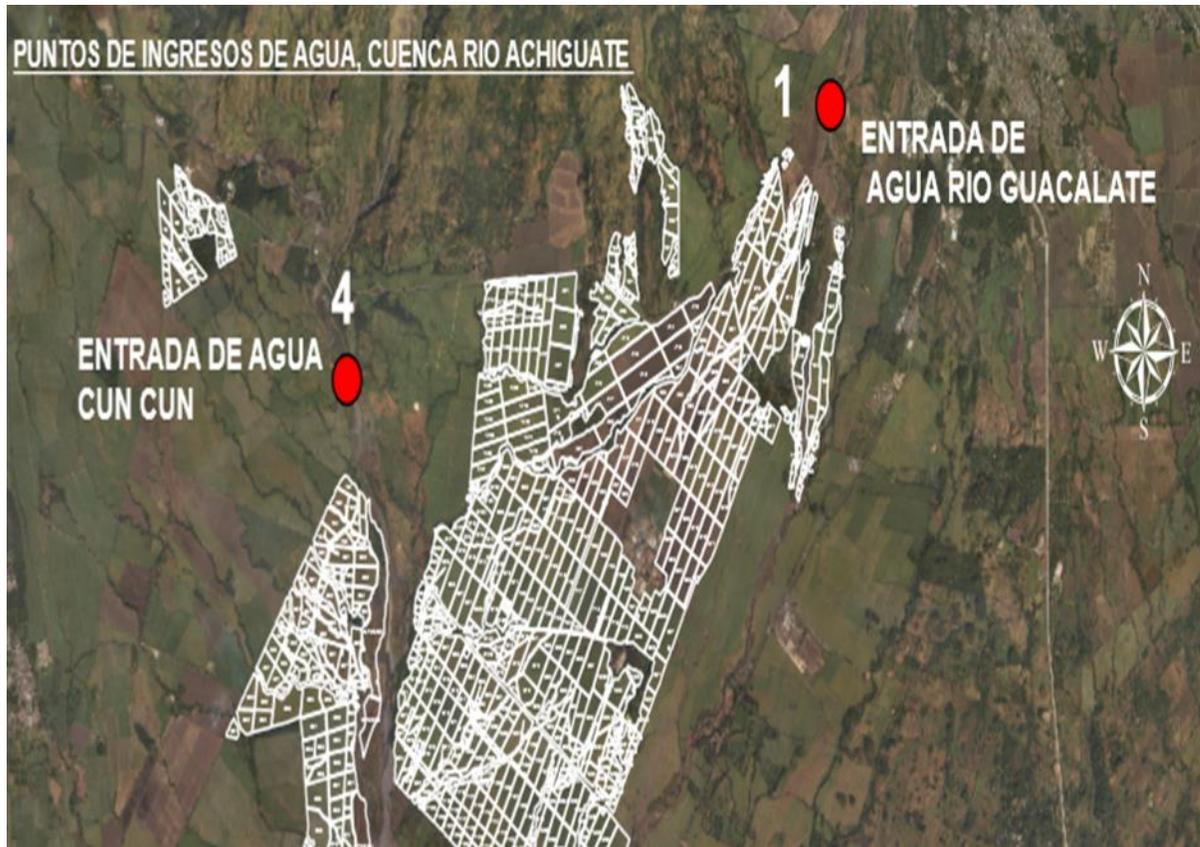


FIGURA 5. UBICACIÓN DE AFORO DE DERIVAS DE AGUA PARA LA REGIÓN SEIS.

En el cuadro 4, se muestran las coordenadas de la principal deriva del río Guacalate y del río Achiguate.

CUADRO 4. COORDENADAS GTM DE LAS PRINCIPALES DERIVAS DE AGUA.

Deriva	X	Y
Río Guacalate	4664332.043	1579553.28
Río Achiguate	457589.361	1576645.12

1.5.4 Aforo en la deriva de agua.

La deriva de agua de la presa Guacalate, es la que cuenta con un registro detallado de los caudales en los distintos puntos de deriva (figura 6), el número de aforos realizados es necesario para determinar el volumen de agua que podemos utilizar para riego por lo cual se realizaron los aforos en la época de verano.



FIGURA 6. AFORO DE LA PRINCIPAL DERIVA DEL RÍO GUACALATE.

Del río Guacalate la región seis del ingenio Santa Ana utilizada 12,118 gpm para riego con un total de 505.19 ha y la fábrica.

1.5.5 Estado de operación de sistemas de riego por aspersión cañón.

Se evaluaron seis motobombas (cuadro 5) que pertenecen a la región seis, las cuales son utilizadas para sistema de aspersión tipo cañón, con márgenes de riego de 54 m * 54 m y operación de 2 aspersores.

En el caso de la motobomba 294-0186 trabaja con 3 aspersores por lo cual el área de riego aumenta a 6.20 ha por día. De acuerdo a estos datos de área se puede evaluar el cumplimiento de metas de riego de los operadores.

Dichas metas son:

- 7 ha/día de riego con margen de riego de 54 m* 54 m y 3 aspersores.
- 4.96 ha/día de riego con margen de riego de 54 m* 54 m y 2 aspersores.

CUADRO 5. ESTADO DE OPERACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN.

Categoría	Marco de riego (m * m)	Número de aspersores	Tiempo de riego (hr)	área/día (ha)
294-180	54*54	2	2	4.96
294-185	54*54	2	2	4.96
294-13	54*54	2	2	4.96
294-186	54*54	3	2	6.2
294-53	54*54	2	2	4.13
294-38	54*54	2	2	4.96
Total ha/día				30.17

Para el cumplimiento de las metas de riego no se cuenta con la implementación adecuada de supervisión de calidad técnica y operativa de riego que incluyen los siguientes aspectos.

- Aplicación de lámina de riego.
- Déficit hídrico del cultivo de acuerdo con la etapa fenológica.
- Eficiencia de conducción y distribución del sistema de riego
- Área de riego diario por equipo de riego
- Rediseño de sistemas de riego

Debido a la baja supervisión de los equipos de riego es evidente observar las siguientes limitantes.

- Equipos y accesorios de riego deteriorados
- Mala distribución del sistema de riego por lo cual se presentan baja eficiencia de conducción por fugas, baja presión de operación de los aspersores, lámina de riego inadecuada, bajo rendimiento de área de riego.
- Se estima una pérdida de 7 hr/día por el cambio de turnos de riego o traslado de equipo y accesorios de riego.
- Ausencia de rediseño del sistema de riego

1.5.6 Establecimiento de acequias de ladera.

Para la zafra 2016/17 se establecieron acequias de ladera (figura 7) en la finca Agrícola del Sur la cual tiene un área de 256 ha con el objetivo de disminuir el efecto de erosión hídrica, por lo cual es necesario implementar investigación en dichas estructuras de conservación de suelo para determinar la tasa de erosión hídrica y la capacidad de captación de suelo erosionado por acequias de ladera.



FIGURA 7. CONSTRUCCIÓN DE ACEQUIAS DE LADERA.

1.5.7 Análisis de resultados.

Los principales aspectos por mejorar y/o implementar encontrados en el transcurso del diagnóstico del área de riego son los siguientes:

- Calidad técnica de riego (figura 8): se basa en la evaluación lámina promedio de riego, eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad de riego.
- Calidad operativa de riego (figura 9): evalúa las revoluciones por minuto de operación de la motobomba, presión de trabajo de motobomba, distribución de tubería y fugas en tubería de conducción.
- Control de metas (figura 10): monitoreo de cumplimiento de metas de riego expresado en hectáreas/día.
- Rediseño de los sistemas de riego (figura 11): mejorar el diseño de los sistemas de riego.

- Prácticas de conservación (figura 12): evaluación de acequias de ladera en conservación de suelo.



FIGURA 8. ÁRBOL DE PROBLEMA DE CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO.

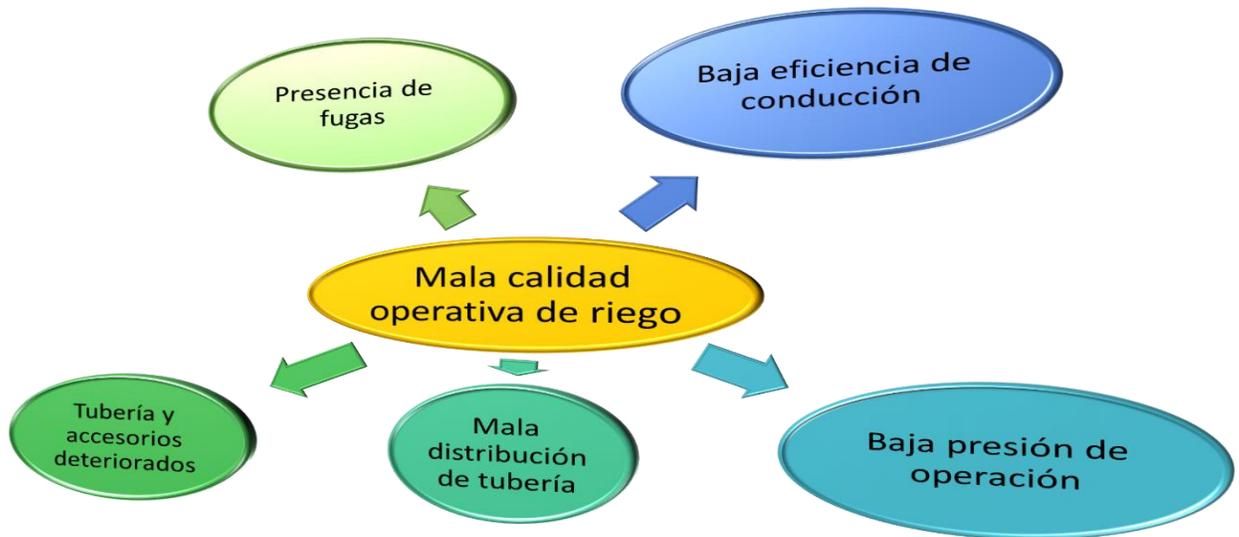


FIGURA 9. ÁRBOL DE PROBLEMA DE CALIDAD OPERATIVA DE RIEGO.

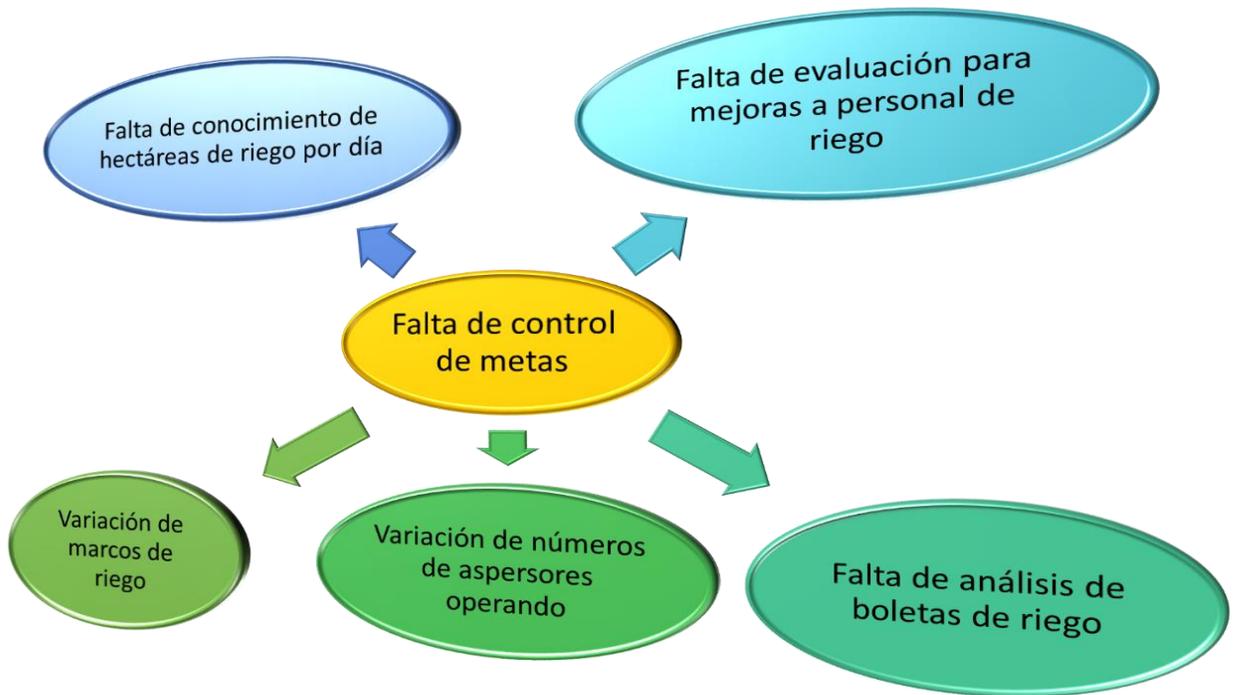


FIGURA 10. ÁRBOL DE PROBLEMA FALTA DE CONTROL DE METAS.



FIGURA 11. ÁRBOL DE PROBLEMA FALTA DE REDISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO.

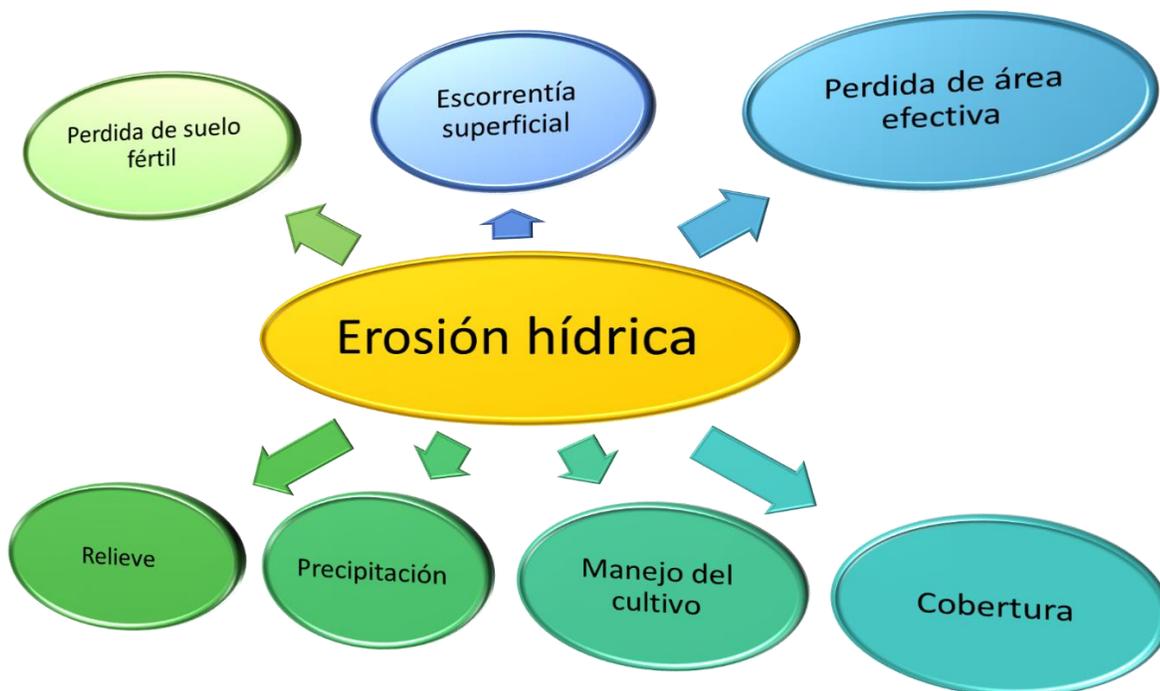


FIGURA 12. ÁRBOL DE PROBLEMA DE EROSIÓN HÍDRICA.

Para priorizar la problemática en el área de riego se empleó una matriz de análisis de pares (cuadro 6 y 7) la cual se forma de colocar en encabezado de fila y columna los aspectos a evaluar, en las celdas de intersección se colocó la opción preferida.

CUADRO 6. ESCALA DE VALOR PARA COMPARACIÓN.

Descripción	Valor
No hay preferencia entre aspectos comparados.	0
Cierta preferencia hacia uno de los aspectos comparados.	1
Total, preferencia hacia uno de los aspectos comparados.	2

CUADRO 7. MATRIZ DE ANÁLISIS DE PARES PARA LOS PROBLEMAS DIAGNOSTICADOS.

	Calidad técnica de riego (A)	Calidad operativa de riego (B)	Control de metas (C)	Rediseño de sistemas de riego (D)	Prácticas de conservación de suelos (E)
Calidad técnica de riego (A)		1A	2A	0	1A
Calidad operativa de riego (B)			2B	1B	1B
Control de metas (C)				1C	2E
Rediseño de sistemas de riego (D)					1D
Prácticas de conservación de suelos (E)					

La matriz se tabulo para totalizar los puntos que obtuvo cada aspecto evaluado de los cuales se expresa en porcentaje, entre mayor sea el porcentaje obtenido más prioridad tendrá el aspecto evaluado para el área de riegos en la región seis.

En el cuadro 8, se presentan los resultados obtenidos en forma de porcentaje.

CUADRO 8. PORCENTAJE DE FACTORES.

Opción	Punteo	Porcentaje
A	4	33.33 %
B	4	33.33 %
C	1	8.33 %
D	1	8.33 %
E	2	16.66 %
Total	12	100 %

En el cuadro 9, se presentan los resultados obtenidos en la matriz de análisis de pares de mayor a menor prioridad.

CUADRO 9. PRIORIZACIÓN DE LOS ASPECTOS EVALUADOS.

Aspectos que mejorar	Importancia
Calidad técnica de riego	33.3 %
Calidad operativa de riego	33.3 %
Prácticas de conservación de suelos	16.6 %
Control de metas	8.3 %
Rediseño de sistemas de riego	8.3 %
	total 100%

El aspecto más importante por solucionar es la calidad técnica y operativa de riego, la metodología empleada garantiza que se comparó cada uno de los aspectos de interés en pares, todos contra todos.

1.6 CONCLUSIONES

1. La principal fuente de agua con que cuenta la región seis, el río Guacalate (coordenadas GTM 466432.043,1579553.28) con caudal de 44,760.38 gpm de la cual se derivan 12,118 gpm para riego con un total de 505.19 ha y la fábrica, el caudal final del río es 32,642.38 gpm.
2. El funcionamiento de los sistemas de aspersión tipo cañón en cinco motobombas permite cubrir un área de riego por día de 4.96 ha/motobomba y para la motobomba 294-0186 permite cubrir un área de riego por día 6.20 ha, las horas de trabajo por día son de 17 hr ya que durante el día se estima que se pierden 7 hr en cambio de turnos de riego, transporte de tubos, lo cual disminuye el número de turnos por día, en total el área que es posible regar al día es 30.17 ha.
3. Se determinaron 5 aspectos a mejorar en el área de riego que involucra la calidad técnica de riego, calidad operativa, prácticas de conservación de suelos, control de metas de riego y rediseño de sistemas de riego.
4. La prioridad del área de riegos es el monitoreo de la calidad técnica y operativa de riego la cual es la más importante debido a que evalúa eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad, intensidad de riego y lamina promedio por riego permitiendo establecer si se está cumpliendo con el requerimiento hídrico del cultivo o bien se está aplicando una lámina mayor a la requerida lo cual aumenta los costos de operación y el volumen de agua utilizado.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Grupo Corporativo Santa Ana, Guatemala. 2017. Introducción; misión y visión (en línea). Consultado 2 feb. 2017. Disponible en <http://www.santaana.com.gt/espanol.htm>
2. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Ovidio, P; Espinosa, R. 2014. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala (en línea). Guatemala, Artemis Edinter. 479 p. Consultado 12 feb. 2017. Disponible en <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>
3. Paz, P. 2010. Determinación del coeficiente de uniformidad en los sistemas de riego por pivotes en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y servicios prestados en la finca Bolivia del Ingenio Santa Ana, Escuintla. Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 126 p. Consultado 12 feb. 2017. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7048/1/T-02862.pdf>
4. Pec, M. 2015. Preferencia de parasitismo de *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae), sobre diferentes instares de *Diatraea crambidoides* Grote (Lepidoptera: Crambidae), diagnóstico y servicios realizados en ingenio Santa Ana, Escuintla. Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 112 p. Consultado 13 feb. 2017. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2331/1/Trabajo%20%20de%20Graduacion%20%20Marvin%20Pec%20Hernandez%202.00yyy.pdf>

No. Bo. *Rafael Barrios*
 DOCUMENTOS DE GRADUACION
 FAUSAG
 1951 • REVISIÓN •

The seal is circular with a grey border. Inside, the Latin text "ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERA ORBIS CONSPICUA CAROLINA" is written in a serif font. The central image depicts a figure on a white horse, a golden crown, a lion, and a castle on a hill.

CAPITULO II
CUANTIFICACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA EN ACEQUIAS DE LADERA EN CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN PRIMERA SOCA FINCA AGRÍCOLA DEL SUR, INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C. A.

2.1 PRESENTACIÓN

La erosión hídrica es un proceso frecuente en regiones sub-tropicales en Guatemala la vertiente del Pacífico es la más erosionada debido a la intensidad por evento de lluvia, para el año 2016 el mes junio presentó una mayor precipitación siendo de 571 mm/mes y en el mes de septiembre la precipitación máxima diaria de 100 mm/día, de acuerdo a datos proporcionados por la estación Costa Brava del Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático (ICC), estos eventos pluviométricos acompañados de características del lugar como pendiente, cobertura vegetal y pobre desarrollo de los suelos, favorecen la pérdida de suelo fértil.

La finca Agrícola del Sur se encuentra dentro de la representatividad espacial de la estación Costa Brava, según resultados obtenidos por el ICC para el año 2016 el área de influencia de la estación presentó erosión hídrica bajo cobertura de caña de azúcar clasificada de leve (nula) (<10 T/ha/año) a fuerte (≤ 200 T/ha/año), razón por la cual es importante determinar el grado exacto de erosión hídrica en la finca. (Orrego & Santos, 2016).

Los estudios realizados sobre erosión hídrica en la zona cañera de Guatemala por ICC demuestran la importancia de la implementación de prácticas de conservación de suelo para disminuir la erosión a rangos de tasa máxima permisible de 10 T/ha/año ya que de acuerdo a la clasificación de erosión hídrica de Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) bajo este nivel la erosión es nula o leve debido a que iguala la tasa de formación del suelo. (ICC, 2012)

Las acequias de ladera permiten la sedimentación del suelo erosionado lo cual disminuye la pérdida de nutrientes en el suelo, que a futuro la pérdida de nutrientes involucra mayor uso de fertilizantes, las acequias de ladera evitan la pérdida de la capa arable, disminuyen la velocidad de escorrentía y permiten la infiltración del agua.

Al final de la investigación se determinó la tasa neta de erosión hídrica registrada bajo las condiciones climáticas, manejo de cultivo y prácticas de conservación de suelo de 5.17 T/ha/año para la época lluviosa obtenida mediante el método altímetro de parcelas de clavos

de erosión, con lo cual la captación de la acequia de ladera fue 97 T de suelo, suelo captado por la estructura de conservación del mes de mayo a octubre. Dicho dato fue registrado mediante la medición de altura en las varillas de hierro establecidas al inicio de la investigación.

El comportamiento entre las variables evaluadas demuestra que a menor cobertura vegetal se presenta el mayor grado de erosión de suelo, mediante la cobertura vegetal aumenta el grado de erosión tiene una disminución promedio de 2.4 T/mes con respecto al mes de mayo de 2.94 T/mes. Esto tiene un efecto directo en la reducción de cantidad de suelo sedimentado en promedio de 53 T/mes.

La cantidad de suelo sedimentado representa el retorno de la cantidad de fósforo que aportan 3.15 kg de fertilizante fosfato Monoamónico (MAP) (10-50-0) y potasio aportado por 122.35 kg de fertilizante 26-0-26 UP, fuentes utilizadas para el aporte de estos nutrientes al cultivo.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Marco teórico

2.2.1.1 Erosión hídrica

Erosión es el desprendimiento y arrastre del suelo y/o fragmentos de roca por acción del agua, el viento o la gravedad (Morataya & Salguero, 2014). De acuerdo con la influencia de la actividad del hombre, en relación con el desarrollo de los procesos erosivos, pueden distinguirse dos clases generales de erosión.

La erosión geológica es un proceso lento e imperceptible, es el desgaste natural de la superficie terrestre sin la intervención del hombre. La erosión natural contribuye a la formación del relieve, a los procesos de meteorización de las rocas y a la formación de los suelos. La continuidad de los declives en la superficie terrestre, las corrientes de aguas con cauces normales definidos y bien adaptados a la configuración de los valles por donde corren, y los arroyos y ríos que, excepto en las crecientes siempre tienen sus aguas claras y limpias, son señales de erosión natural asociadas a la condición normal del paisaje. (Morataya & Salguero, 2014)

Erosión antrópica o acelerada es la erosión inducida por la actuación del hombre que interfiere y rompe el equilibrio existente entre los suelos, la vegetación, el agua y el viento, lo cual da lugar a formaciones terrestres erosivas y otras condiciones anormales, como son las cárcavas o zanjas, los subsuelos descubiertos por la erosión laminar, los derrumbes, las carreteras socavadas, los lagos y reservorios colmatados y los cauces de los ríos obstruidos por sedimentos. (Morataya & Salguero, 2014)

2.2.1.2 Erosión hídrica superficial

La erosión hídrica constituye uno de los principales procesos de pérdida de suelo y representa una de las formas más completas de degradación, englobando tanto la degradación física del suelo como la química y la biológica. (Pizarro, 2009)

Este tipo de erosión es el proceso de disgregación de las partículas del suelo por la acción del agua, el cual culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas se reduce hasta el

punto de no permitir la continuación en el flujo de las partículas terrosas previamente incorporadas al mismo. (Pizarro, 2009)

La erosión hídrica puede ocurrir de variadas formas: la erosión por salpicadura, la erosión laminar, la erosión por surcos o en regueros, la erosión por cárcavas y la erosión en bancos aluviales, las cuales son definidas en los siguientes puntos (Pizarro, 2009).

2.2.1.3 Erosión por salpicadura y erosión laminar

El primer paso en el proceso de erosión hídrica comienza cuando las gotas de lluvia impactan la superficie con una energía suficiente para desplazar partículas de material sin consolidar, dando lugar al proceso denominado erosión por salpicadura. (Pizarro, 2009)

La duración, intensidad y frecuencia de las precipitaciones, logran la remoción de capas delgadas y uniformes de suelo sobre toda el área, produciendo lo que se denomina erosión laminar. Este proceso es el más perjudicial debido a que en la mayoría de las ocasiones no se le reconoce y, por ende, pocas veces se le trata. (Pizarro, 2009)

La erosión laminar se identifica mediante los siguientes síntomas:

- Presencia de montículos en el suelo
- Plantas con su sistema radicular al descubierto
- Invasión de especies vegetales especiadas de suelos degradados
- Presencia de pavimentos de erosión, que corresponde al proceso que deja al descubierto áreas con presencia de piedras de diferentes tamaños, las cuales originalmente estaban cubiertas por el suelo.

2.2.1.4 Erosión por surcos o en regueros

Ocurre cuando producto de pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno, la escorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficiente para hacer cortes y formar surcos. (Pizarro, 2009)

Los surcos corresponden a canales miniatura, que son el resultado de la remoción de aproximadamente 10 cm a 50 cm de suelo por acción de la escorrentía, la que transporta material erosionado hacia canales o riberas. (Pizarro, 2009)

2.2.1.5 Erosión en barrancos o cárcavas

Se define como el proceso de remoción de suelo o de pequeñas piedras, por acción del agua, que forma depresiones mucho más grandes que los surcos, los que usualmente transportan material durante o inmediatamente después de ocurrida la tormenta. (Pizarro, 2009)

Al comparar estas depresiones con los cauces permanentes, relativamente llanos y cóncavos en su perfil las cárcavas se caracterizan por tener cabeceras y saltos a lo largo de su curso. Además, poseen una mayor profundidad, menor anchura que los cauces estables y transportan más cantidad de sedimento. (Pizarro, 2009)

2.2.1.6 Erosión en bancos aluviales

La erosión en bancos aluviales se produce a partir de los procesos erosivos que se generan en el lecho de los barrancos o cárcavas, haciéndolos más profundos, favoreciendo con esto que el material de las riberas se vuelva inestable y se comience a desprender material desde las zonas altas. (Pizarro, 2009)

2.2.1.7 Variables influyentes en la tasa de erosión

Las variables influyentes son clima, vegetación, tipo de suelo, topografía, velocidad de flujo y uso de la tierra. (Brea & Balocchi, 2010.)

A. Clima

La variable climática más importante es la lluvia, debido a su fuerte influencia en ciertos procesos de erosión hídrica (erosión de impacto, riles, cárcavas, etc.). Sin embargo, no

todas las tormentas son iguales, por lo que existen algunas más erosivas que otras. Variables como cantidad de agua caída (mm) e intensidad de la tormenta (mm/hr), son las que determinan la erodabilidad del evento. (Brea & Balocchi, 2010)

Así en una tormenta cuya intensidad es relativamente baja las tasas de infiltración no serán superadas, por lo que no se producirá escurrimiento superficial soslayando el proceso de erosión laminar, así como la formación de riles y cárcavas. (Brea & Balocchi, 2010.)

Además, dicha tormenta no producirá erosión de impacto relevante, pues el tamaño de sus gotas no contará con suficiente energía cinética como para desprender las partículas de suelo superficial desnudo. Por otro lado, una tormenta intensa, no sólo presenta un alto potencial de erosión de impacto, sino que también genera esorrentía superficial, dando lugar a los procesos erosivos anteriormente mencionados. (Brea & Balocchi, 2010.)

La duración de la tormenta, así como la distribución temporal de su intensidad, también son factores preponderantes en las tasas de erosión producidas. Una tormenta de larga duración provocará la contribución hídrica de toda la cuenca, aumentando los caudales en los cursos de agua y generando más escurrimiento superficial. (Brea & Balocchi, 2010.)

B. Vegetación

La vegetación actúa como cubierta protectora, estableciéndose como un buffer entre el suelo y la atmósfera. Como regla general, la efectividad de la vegetación para reducir la erosión de impacto depende directamente de la altura y continuidad de la copa de los árboles, así como la densidad de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos). (Brea & Balocchi, 2010.)

La presencia de una cobertura vegetal no solo protege el suelo contra la erosión de impacto, sino que también brinda rugosidad al terreno por el que el flujo superficial viaja reduciendo su velocidad y por ende su poder erosivo. Dicha rugosidad se expresa comúnmente en términos del coeficiente de Manning, el cual representa la suma de la rugosidad de la superficie del suelo, la micro topografía y la cobertura vegetal. La altura de la vegetación y la profundidad del flujo superficial juegan un rol preponderante en la erodabilidad del caudal. Como regla general mientras más densa y homogénea sea la cubierta vegetal, mayor es su efectividad en la disminución de la erosión laminar. (Brea & Balocchi, 2010.)

Los componentes subterráneos (raíces) de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas constituyen una variable indispensable en cuanto al control de la erosión y la sedimentación, pues mantienen el suelo en su lugar. (Brea & Balocchi, 2010)

C. Tipo de suelo

No todos los suelos son iguales en términos de su resistencia a la erosión. La erosibilidad de un suelo en particular está en función de variables como textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. La textura de un suelo es importante para definir su nivel de erodabilidad, pues no todas las clases texturales se erosionan con la misma facilidad. (Brea & Balocchi, 2010)

Es interesante darse cuenta que son las partículas medianas las que más fácilmente se erosionan. Si bien las partículas más finas son más livianas, éstas poseen una mayor superficie de contacto entre ellas y, por lo tanto, una mayor cohesividad, lo que las hace más resistentes a la erosión. Por otro lado, las partículas más gruesas son más pesadas, lo que también aumenta su resistencia a la erosión. Sin embargo, las partículas medianas (0.1 mm a 1 mm) no poseen cohesividad ni peso relevante, por lo que son éstas las más erosionables. (Brea & Balocchi, 2010.)

Por esta razón se dice que la variable decisiva en términos de la erosión con respecto a la textura del suelo es el porcentaje de limo, pues dicha clase textural se encuentra entre las clases arcilla y arena, siguiendo el mismo principio antes descrito. (Brea & Balocchi, 2010.)

La materia orgánica puede mejorar casi todas las propiedades del suelo, pues la presencia de ésta aumenta la aireación e infiltración, así como la cohesividad interparticular. Además, la materia orgánica facilita el crecimiento vegetativo mediante la adición de nutrientes en el suelo. (Brea & Balocchi, 2010.)

Por estas razones el contenido de materia orgánica de un suelo dado es una variable relevante en términos de su resistencia a la erosión y por ende la producción de sedimentos. (Brea & Balocchi, 2010.)

D. Relieve

El relieve es una variable muy importante al momento de predecir la erosión y sedimentación en un sitio dado. Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán producto de una tormenta dada. La distancia horizontal en la que viaja una partícula de suelo desprendida por el impacto de una gota de lluvia, está en directa relación con la inclinación de la pendiente. (Brea & Balocchi, 2010.)

Por otro lado, la longitud de la pendiente influye en la profundidad y por ende el poder erosivo del flujo superficial que se genere siendo estas variables mayores en las secciones más bajas de la ladera debido a una mayor área de contribución. (Brea & Balocchi, 2010.)

E. Velocidad del flujo

La velocidad del caudal influye fuertemente en la erosión hídrica. Se sabe que la velocidad mínima para desprender y transportar una partícula de suelo está en función del diámetro de ésta. Sin embargo, una vez que la partícula ha sido desprendida, se necesitará menos energía para que ésta siga en movimiento. (Brea & Balocchi, 2010.)

F. Uso de la tierra

El uso de la tierra es lejos el factor más importante dentro del conjunto de los factores que afectan la erosión y la sedimentación. Actividades del rubro agropecuario provocan un daño permanente a los suelos, lo que se traduce en erosión y sedimentación. (Brea & Balocchi, 2010.)

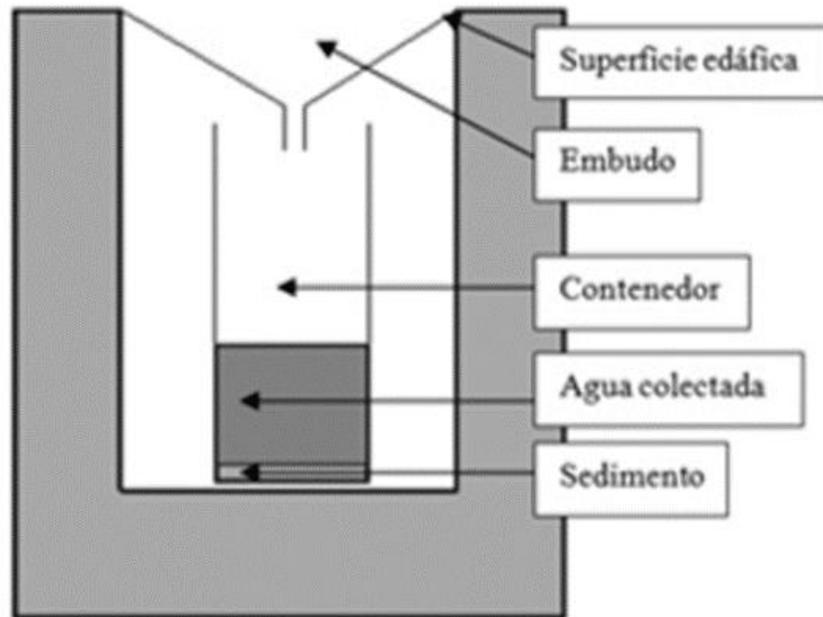
El sobrepastoreo no sólo disminuye la cubierta vegetal protectora de los suelos, sino que también compacta el suelo, produciendo más escurrimiento superficial y dando paso a distintos procesos erosivos. Por lo general, las prácticas agrícolas exponen el suelo al impacto de las gotas de lluvia, sumándose la erosión hídrica provocada por los canales de regadío. (Brea & Balocchi, 2010.)

2.2.1.8 Metodología de medición de la erosión y sedimentación

Para todo profesional involucrado en la ciencia de la erosión y la sedimentación es imprescindible ser capaz de medir (o estimar) las tasas de erosión en un sitio dado. Esto es debido a tres razones fundamentales que son inventarios de erosión (usos de la tierra), investigación y desarrollo-evaluación de métodos en control de erosión. (Brea & Balocchi, 2010.)

A. Medición de erosión de impacto

La erosión de impacto como proceso erosivo aislado puede estimarse de muchas formas. Entre las más utilizadas se encuentra el embudo de impacto (figura 13), un embudo cuya circunferencia mayor se ubica al nivel de la superficie del suelo. El embudo drena en un recipiente tanto precipitación directa como partículas de suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia, provenientes de sectores aledaños al embudo. Al término de la tormenta se colecta el recipiente y se seca, determinándose la deposición de sedimentos en un área dada, para después llevar los datos a la hectárea. (Brea & Balocchi, 2010.)

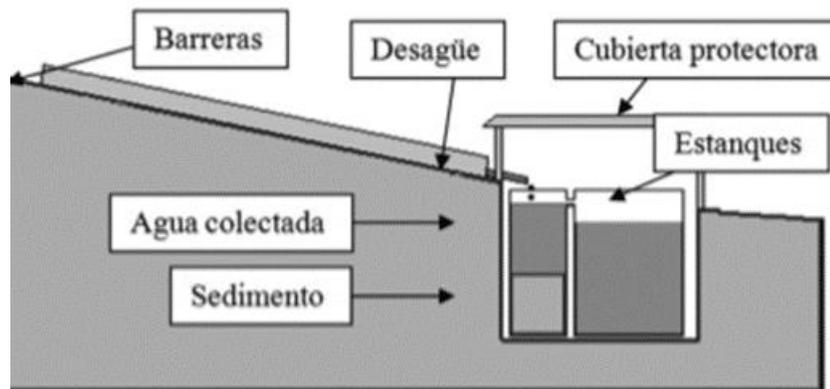


Fuente: Brea & Balocchi, 2010.

FIGURA 13. EMBUDO DE IMPACTO.

B. Parcelas de erosión

Las parcelas de erosión (figura 14) se utilizan como áreas permanentes de monitoreo, para estudiar los factores que afectan la erosión o bien cuando se desea demostrar algún hecho conocido, como enseñarles a comunidades locales cuánto ayuda la vegetación en la disminución de la erosión. Cada parcela es un área físicamente aislada del resto de la tierra, con dimensiones de ancho y largo predeterminadas, así como pendiente, tipo de suelo y vegetación conocidos. Para cada parcela se mide la escorrentía y el suelo perdido, así como la precipitación en el área de estudio. El número de parcelas es, por lo general, de dos o más réplicas por tratamiento. (Brea & Balocchi, 2010.)



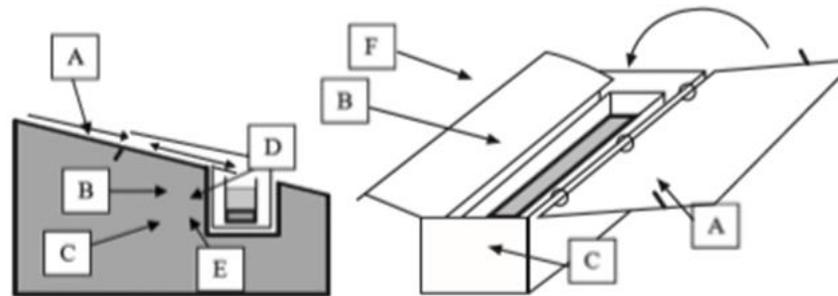
Fuente: Brea & Balocchi, 2010.

FIGURA 14. VISTA LATERAL DE UNA PARCELA DE EROSIÓN.

La escorrentía superficial producida dentro de los límites de la parcela es almacenada en un estanque. Sin embargo, para escorrentías de mayor envergadura se utilizan dos estanques, uno para depositar los sedimentos más pesados y otro para almacenar el agua restante. Las dimensiones de dichos estanques varían de acuerdo con la escala temporal de medición y el clima del área en estudio. Una vez finalizado el período de estudio, se calcula la cantidad de sedimentos acumulados en términos de peso, valor que se lleva a la hectárea (por ejemplo, mg/ha) relacionándolo con la superficie de la parcela. Además, se mide el agua acumulada, variable que se relaciona con el agua caída para obtener la relación precipitación/caudal correspondiente a cada tratamiento. (Brea & Balocchi, 2010.)

C. Colectores de Geralch

Geralch implementó un método alternativo para medir la erosión laminar y la escorrentía superficial en laderas. El método consiste en la instalación de colectores (figura 15), en los cuales se almacena la escorrentía superficial proveniente de alguna sección de la ladera. Posteriormente, se traspasa el sedimento y el caudal colectados en recipientes, los cuales se pesarán y secarán para la determinación de tasas de erosión, de acuerdo con el área de contribución del colector de Geralch específico. Sin embargo, es común expresar la erosión en términos de unidad de longitud. (Brea & Balocchi, 2010.)



Fuente: Brea & Balocchi, 2010.

FIGURA 15. MODIFICACIÓN DEL COLECTOR DE GERALCH EN VISTA LATERAL.

D. Mallas de limo

Según la experiencia, medir la erosión en laderas es, por lo general, costoso e implica mucho tiempo. Sin embargo, una metodología barata y rápida es la instalación de mallas de limo, hechas de material geotextil. Básicamente, la malla se instala en orientación paralela a las curvas de nivel, disponiendo los extremos de la pendiente arriba, para que la escorrentía superficial no tenga otra opción más que infiltrarse a través de la malla, como se presenta en la figura 16. Nótese que la malla debe enterrarse, para evitar el escape de escorrentía bajo ésta, método que se especifica en otras secciones de esta publicación. (Brea & Balocchi, 2010.)



Fuente: Brea & Balocchi, 2010.

FIGURA 16. INSTALACIÓN DE MALLAS DE LIMO.

E. Clavos de erosión

La manera más simple de medir los cambios de nivel en la superficie del suelo es utilizando clavos de erosión (figura 17), los cuales consisten en clavos de unos 20 cm de largo, con una golilla soldada en su cabeza. La metodología consiste en la instalación del clavo en forma perpendicular a la superficie del suelo, quedando ésta al mismo nivel que la golilla. Una vez transcurrido el período de medición (tormenta o lluvias invernales), se mide la distancia entre la golilla y la nueva superficie del suelo, la cual representa la pérdida de suelo neta producida en un tiempo dado. (Brea & Balocchi, 2010)



Fuente: Brea & Balocchi, 2010.

FIGURA 17. CLAVOS DE EROSIÓN PARA MEDICIÓN DE CAMBIOS EN LA SUPERFICIE DEL SUELO.

Puesto que una medición no es suficiente, se debe cubrir la totalidad del área en estudio, mediante el establecimiento aleatorio-sistemático de clavos de erosión. Además, se deben tomar muestras de suelo con el fin de determinar la densidad de éste. Una vez obtenida una altura promedio de suelo perdido y considerando el área en cuestión, se determina un volumen de suelo erosionado. Mediante el producto entre dicho volumen y la densidad del suelo, se obtiene la tasa de erosión neta. Al dividir dicha tasa por el número de hectáreas se obtiene la tasa de erosión por unidad de área y tiempo. Como todo experimento enfocado a la erosión, se debe considerar la variabilidad de los datos obtenidos, para determinar diferencias espaciales, temporales o si es el caso entre tratamientos. (Brea & Balocchi, 2010.)

Pese a la simplicidad del método, existen algunos factores a considerar, como la dificultad de relocalización de los clavos cuando éstos han sido cubiertos por hojarasca o sedimentos (deposición) o simplemente porque es difícil localizar un pequeño clavo en una extensa área. Para solucionar dicho problema se utilizan banderines o, incluso, detectores de metal. Además, los clavos pueden ser fácilmente removidos por animales tanto domésticos como salvajes. Mediante el mismo principio, es posible estimar las tasas de erosión ocurridas, mediante la medición de pedestales. (Brea & Balocchi, 2010.)

2.2.1.9 Estimación de erosión por parcelas de clavos

La conservación del suelo es la ciencia de usar y tratar el terreno para aumentar su productividad conservando en él sus características naturales de fecundidad. La conservación del suelo es, pues, de importancia primordial ya que sin ella las tierras laborables de América y, en el caso, las de todo el mundo, son imposibles de mantener en las condiciones necesarias para alimentar a la población. Según el servicio de conservación de suelos de estados unidos de norte América, el objetivo principal de la conservación del suelo es contrarrestar la erosión y fomentar el mejor uso de las tierras agrícolas y ganaderas en la mayor extensión posible. (Hernández, 2012)

Las parcelas de clavos de erosión son conocidas por diversos nombres, como varillas o estacas y presentan también algunas modificaciones.

A. Erosión media y sedimentación media

La erosión media se estima al sumar los incrementos en altura, medidos entre el tiempo i y el tiempo $i+1$, de todos los clavos de la parcela que denotaron la presencia de procesos erosivos, dividida esta sumatoria por el total de clavos presentes en la parcela. Esto define una altura de erosión promedio que normalmente se expresa en milímetros. Si este valor se transforma a metros y se multiplica por los 10,000 m² que posee una hectárea, se tendrá una estimación de la erosión en m³/ha. Asimismo, si este valor se multiplica por la densidad aparente del suelo, se tiene la expresión de la erosión en T/ha de superficie. (Brea & Balocchi, 2010.)

Del mismo modo, es posible calcular la sedimentación producida en la parcela, pero considerando como sumatoria el valor decremento de la altura del clavo, lo que significa que se han verificado procesos de sedimentación. Así también, la sumatoria de los milímetros de los clavos que mostraron sedimentación, es dividida por el total de clavos de la parcela. Para llevar la expresión a m³/ha o T/ha, se procede de igual forma a como se hizo con la erosión. (Brea & Balocchi, 2010.)

La expresión matemática que determina estos procesos se presenta a continuación:

$$X = Y * Da * 10$$

Donde

X = Suelo erosionado o sedimentado (T/ha).

Y = Altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm).

Da = Densidad aparente del suelo (T/m³).

B. Erosión neta

Se denomina erosión neta (En) a la diferencia entre la erosión y la sedimentación ocurrida en una ladera, expresada en m³/ha o T/ha. (Brea & Balocchi, 2010.)

$$E = E - S$$

Donde

E neta: Erosión neta media (T/ha)

E: Erosión normal media (T/ha)

S: Sedimentación media (T/ha)

C. Suelo movilizado

Se habla de suelo movilizado al cuantificar tanto la erosión media como la sedimentación ocurrida. La expresión matemática permite describir la totalidad de suelo que se movilizó en el terreno, expresado en T/ha. (Brea & Balocchi, 2010.)

$$\text{Suelo movilizado} = \text{erosión} + \text{sedimentación}$$

2.2.1.10 Acequias de ladera

Las acequias son aconsejables en zonas con lluvias intensas y en áreas con suelos pesados, poco permeables, donde hay exceso de escorrentía, y en suelos susceptibles a la erosión con pendientes hasta 40 % y longitudes largas. No se deben construir en terrenos con cultivos limpios o potreros de más de 30 % de pendiente, ni en terrenos con cultivos de semibosque (café, cacao, etc.) de más de 50 % de pendiente. El desnivel de las acequias varía de 0.5 % a 1 % y la profundidad es la que mayormente determina la capacidad de descarga. (Brea & Balocchi, 2010.)

Las acequias de ladera deben protegerse con una barrera viva simple o doble, sembrada de 15 cm a 30 cm del borde superior, con el objeto de frenar la fuerza del agua y filtrar los sedimentos. Se deben desaguar en un sitio bien protegido con vegetación, en donde no vayan a causar erosión. Se trazan y construyen desde el desagüe hacia arriba, asegurándose que el fondo quede lo suficientemente alto sobre el desagüe (20 cm a 40 cm), para que el agua que baje por este no penetre a las acequias, o las represe. En la construcción de varias acequias, debe iniciarse con la más alta del terreno, pues de otro modo se podrían dañar las más bajas por un aguacero fuerte. (Brea & Balocchi, 2010.)

2.2.1.11 Zanjillas de absorción

Consisten en pequeños surcos contruidos a intervalos cortos. Se trazan siguiendo curvas a nivel, con un azadón o una herramienta similar. La profundidad de estas zanjillas es entre 5 cm y 10 cm y no tienen desnivel para que el agua se infiltre. Esta práctica debe emplearse en zonas de escasas lluvias, o en suelos de texturas gruesas, o muy gruesas, sin estructura

o estructura débil, con el fin de propiciar la infiltración y la retención de humedad. También se usan en suelos de texturas finas, compactos, de baja capacidad de infiltración en regiones secas. En suelos sueltos o arenosos, deben construirse muy superficialmente y con una base ancha (en forma de batea). En suelos compactos y de estructura moderada o fuerte, pueden hacerse más angostas y profundas. No se deben construir estas zanjillas, en suelos sueltos con capas interiores impermeables, ni en zonas lluviosas ya que, si son de pendiente suave, ocasionan problemas de drenaje, y si son muy pendientes ocasionan deslizamientos, derrumbes o problemas de solifluxión. Debido a su tamaño, estas zanjillas se sedimentan y borran fácilmente, por lo cual deben considerarse como obras temporales que es necesario limpiar o reconstruir periódicamente. (Brea & Balocchi, 2010).

2.2.1.12 Muestreo de suelos

El primer paso en el muestreo es la identificación de áreas homogéneas. Luego se procede a obtener una muestra de cada una de ellas. Ésta muestra (conjunto) estará compuesta por varias submuestras (muestras parciales). Cuanto mayor es la cantidad de submuestras que se tomen, más representativos del lote, parcela o campo será la muestra total. (Bolsa de comercio de Rosario, 2016)

El recorrido a efectuar en la toma de muestra es de acuerdo con alguno de los siguientes esquemas: cuadrícula, zig-zag, diagonal y sinuosa. (Bolsa de comercio de Rosario, 2016)

Extracción de las submuestras en cada punto elegido se debe eliminar la cobertura vegetal, limpiar la superficie del suelo descartando todo lo que sea rastrojo o restos de césped, con una pala efectuar cortes hasta unos 15 cm a 20 cm de profundidad y cavar una primera palada (haciendo un hoyo en forma de v) arrojándola al costado luego una segunda palada de 3 cm de grosor aproximado, descartando los bordes mediante un corte a cuchillo, colocar en un balde o bolsa grande. Si se utilizan barrenos, introducir hasta la profundidad deseada y sacar directamente, colocar las submuestras en una bolsa grande o un balde. (Bolsa de comercio de Rosario, 2016)

Juntar el material de las submuestras, desmenuzando los terrones hasta un tamaño de aproximadamente 1 cm y mezclar muy bien. Para obtener un peso final de aproximadamente 500 g por cuarteo de la muestra conjunto, del siguiente modo: colocar el

material desmenuzado sobre una lona o plástico limpios y mezclar tirando de las esquinas opuestas, alternando las diagonales. Luego dividir en 4 partes de las cuales se guarda 1, volver a mezclar y repetir el cuarteo hasta llegar al tamaño final indicado. Embolsar e identificar. (Bolsa de comercio de Rosario, 2016)

Identificación de muestras: envasar las muestras en bolsas de plástico seco o en bolsas de papel especiales para suelos (impermeables por dentro). Consignar todos los datos relevantes a la muestra:

- Establecimiento.
- Número de lote.
- Cantidad de hectáreas a las que representa.
- Cantidad de submuestras tomadas para formar la muestra.
- Profundidad a la cual fue tomada.
- Observaciones y demás datos relevantes.

2.2.2 Marco referencial

2.2.2.1 Estaciones meteorológicas ICC

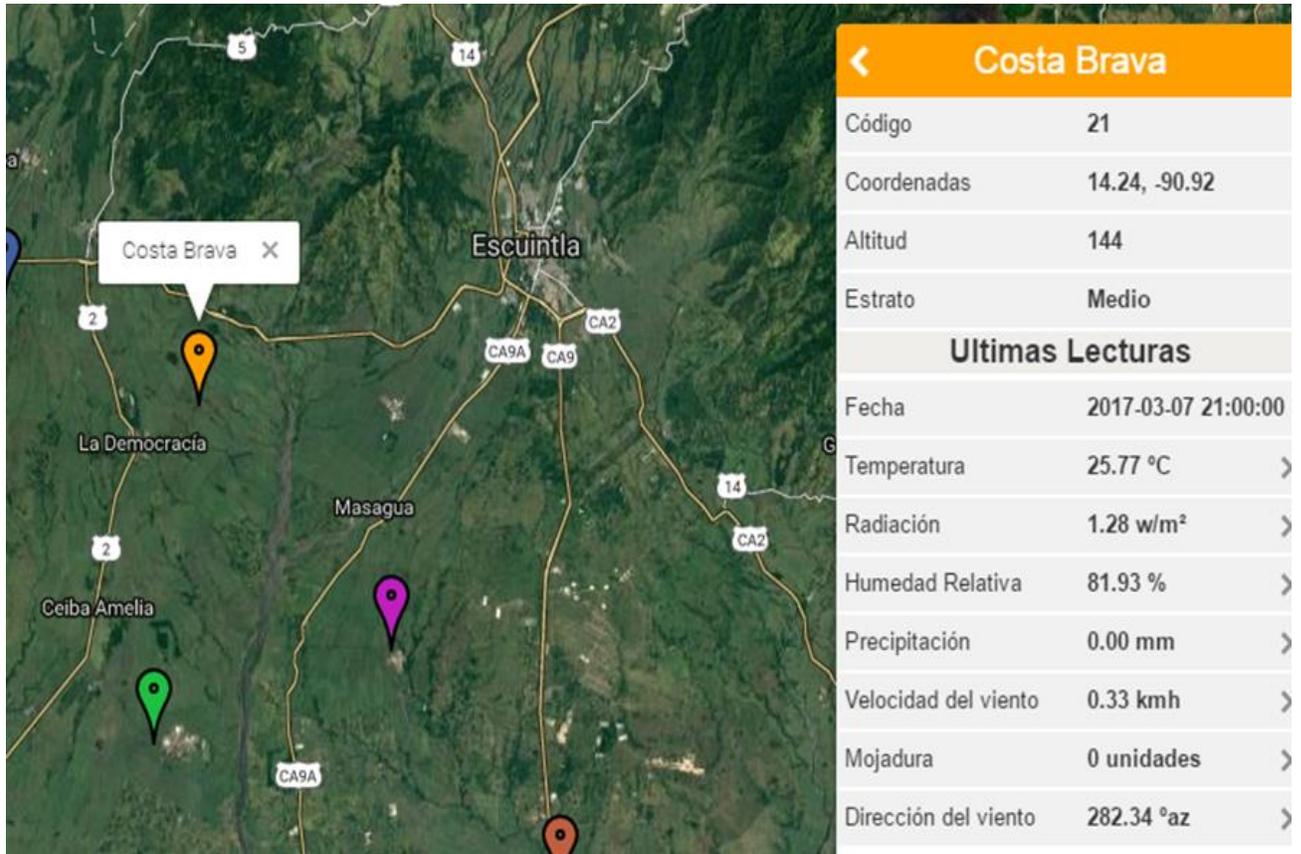
En el cuadro 10, se presenta la red de estaciones meteorológicas del ICC cuenta con 26 estaciones automáticas localizadas en la vertiente del Pacífico, las cuales generan información de precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad de la hoja, velocidad y dirección del viento cada 15 min. (sistema de información meteorológica del ICC, 2017)

CUADRO 10. ESTACIONES METODOLÓGICAS.

ESTACIÓN	CÓDIGO
CENGICAÑA	1
EL PLATANAR	3
BONANZA	4
TEHUANTEPEQ	5
BOUGANVILLA	6
SAN ANTONIO EV	8
SAN NICOLAS	9
TRINIDAD MAGDALENA	10
XOLUTA	11
PETEN OFICINA	13
LORENA	14
NARANJALES	15
EL BALSAMO	17
SAN RAFAEL	19
AMAZONAS	20
→ COSTA BRAVA	21
TRINIDAD	22
IRLANDA	23
PUYUMATE	24
TULULA	25
LA GIRALDA	26
LA CANDELARIA	27
CHIQUIRINES	28
PROVIDENCIA	29
ALAMO	30
COCALES	31
ACARIGUA	32

Fuente: sistemas de información meteorológica del ICC, 2017.

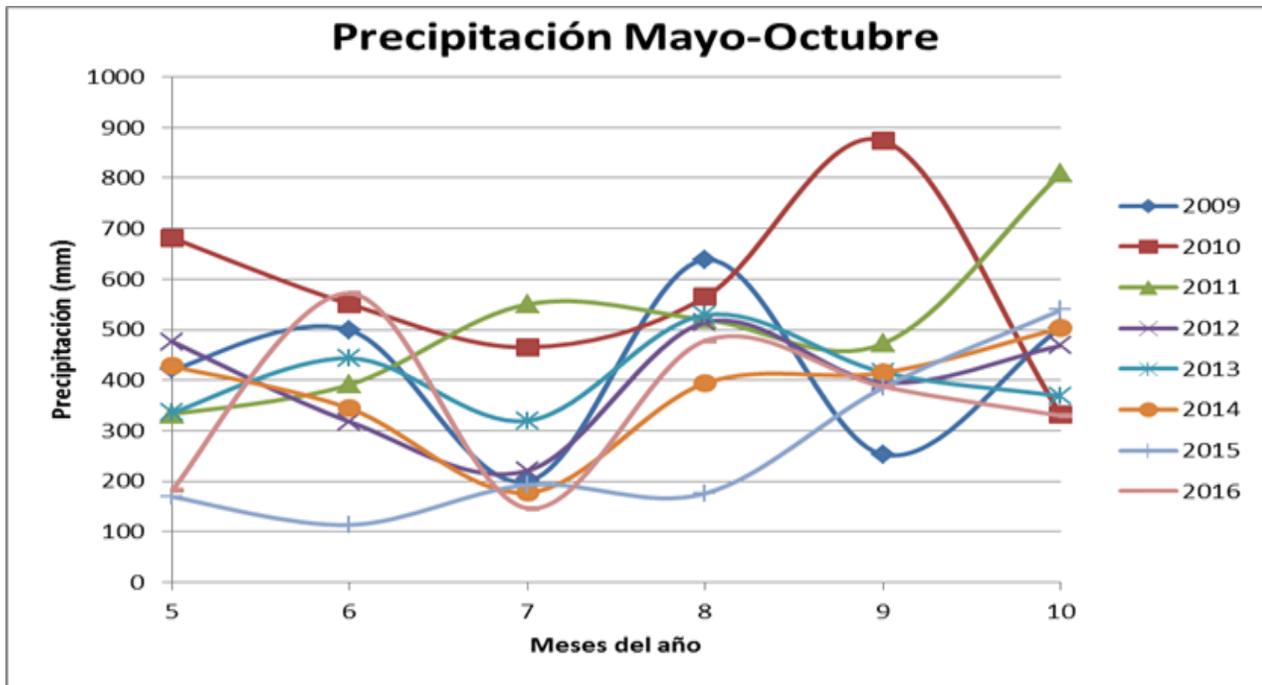
En la figura 18, se presenta la ubicación de la estación Costa Brava, es utilizada para la obtención de datos meteorológicos para la finca Agrícola del Sur del ingenio Santa Ana. (sistema de información meteorológica del ICC, 2017)



Fuente: Sistemas de Información Meteorológica del ICC, 2017.
FIGURA 18. LOCALIZACIÓN DE ESTACIÓN COSTA BRAVA.

2.2.2.2 Datos de precipitación pluvial

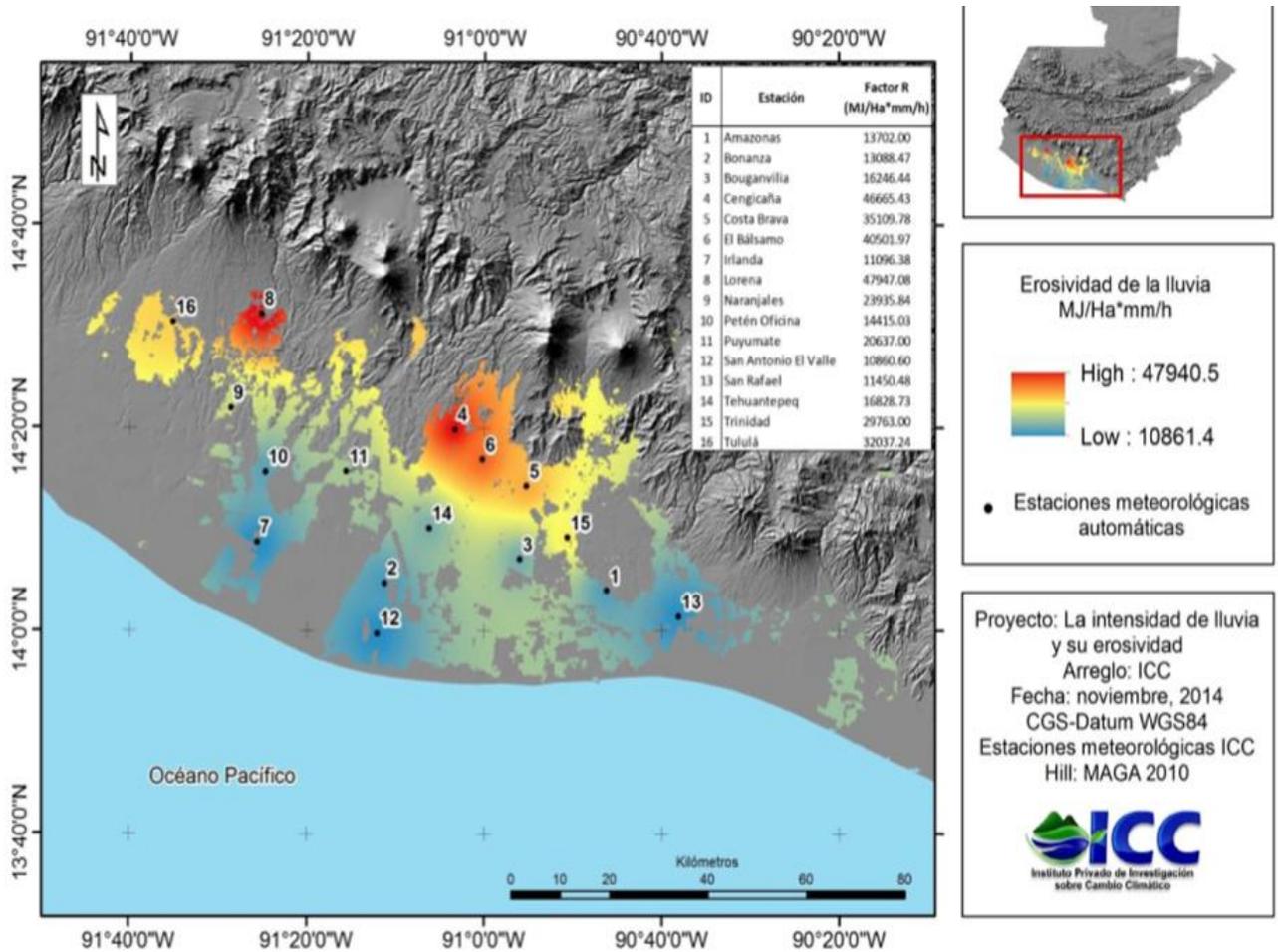
En la figura 19, se presenta la estación Costa Brava del ICC con datos de precipitación del año 2009 al 2016. (sistema de información meteorológica del ICC, 2017)



Fuente: sistemas de información meteorológica del ICC, 2017.
FIGURA 19. PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE 2009 A 2016.

2.2.2.3 Erosión hídrica potencial en zona cañera

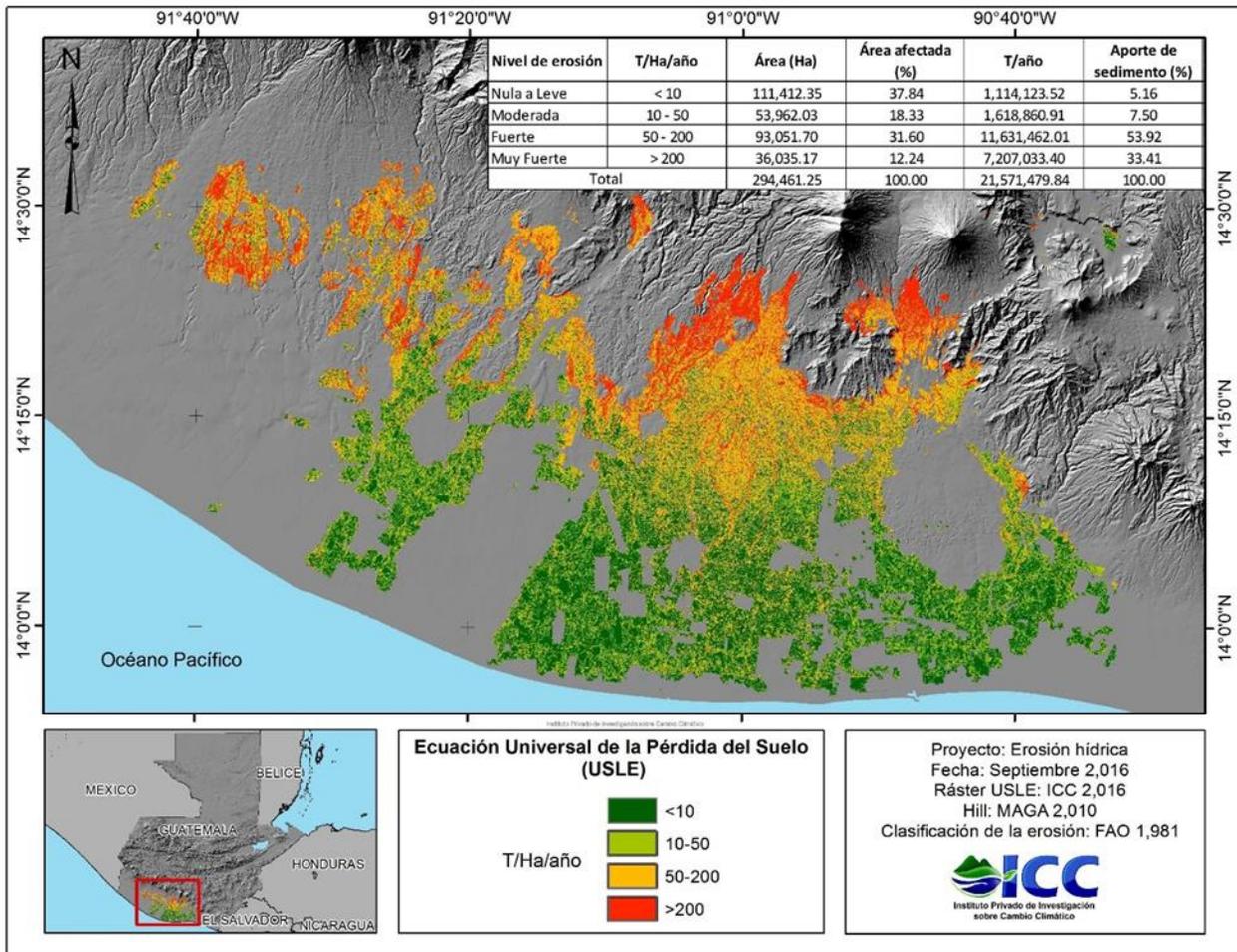
De acuerdo a la clasificación de las pérdidas de suelo propuestas por FAO, de las 294,461.25 ha analizadas, bajo el cultivo de caña de azúcar, el 37.84 % está en un nivel de erosión leve a nula (<10 T/ha/año), el 18.33 % en un nivel moderado (10 T/ha/año a 50 T/ha/año), el 31.60 % en un nivel fuerte (50 T/ha/año a 200 T/ha/año) y el 12.24 % en un nivel muy fuerte (> 200 T/ha/año) (figura 20). (Orrego & Santos, 2016)



Fuente: Orrego & Santos, 2016.

FIGURA 20. EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (MJ/HA*mm/hr) NÚMERO 5 ESTACIÓN COSTA BRAVA.

La tasa máxima permisible, cuando se habla de erosión del suelo es de 10 T/ha/año, ya que se calcula que esta es la velocidad a la que el suelo se genera, por lo que todo territorio cuyas pérdidas de suelo no superen las 10 T/ha/año no presentará pérdidas netas debido a la erosión (figura 21) (Orrego & Santos, 2016)



Fuente: Orrego & Santos, 2016.

FIGURA 21. RIESGO POTENCIAL DE EROSIÓN HÍDRICA DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA DE GUATEMALA.

La agroindustria azucarera de Guatemala, específicamente los ingenios Pantaleón, la Unión, Madre Tierra, entre otros, están implementando prácticas de conservación de suelos para evitar la erosión de los mismos; actualmente en conjunto con el ICC, se han realizado evaluaciones de acequias de ladera, en la microcuenca los Sujuyes, como prácticas de conservación de suelos, las cuales han contribuido a la disminución de la velocidad de la escorrentía, aumentando el volumen de infiltración y a la retención de los suelos de 115 T/ha/año. (Santos, 2014)

Estos son canales construidos en forma de trapecio y en curvas en los terrenos, que contribuyen a la disminución de la velocidad de la escorrentía, aumentan el volumen de

infiltración, así como a la retención de los suelos. Dichas estructuras están siendo implementadas por la agroindustria azucarera de Guatemala, como es el caso de los ingenios Pantaleón y la Unión. (ICC, 2012)

Las acequias de laderas reducen la erosión desde el 41 % hasta el 55 %, otra de las prácticas de conservación evaluadas son las terrazas de banda ancha las cuales pueden reducir la erosión hasta en un 50 %. (ICC, 2016)

La evaluación de las pérdidas de suelo, producto de la erosión hídrica, puede realizarse utilizando métodos directos como transeptos en cárcavas, clavos con roldanas, muestreo probabilístico y parcelas de escorrentía; como métodos indirectos, mediante la utilización de modelos como la ecuación universal de pérdida de suelo. (Santos, 2014)

2.2.2.4 Soca y estado fenológico del cultivo

En los cinco pantes evaluados se encuentran establecidas dos variedades de caña de azúcar las cuales son CG00-12 y CG98-46, las cuales se establecieron en el año 2015 y se realizó la primera cosecha en 2016. El resumen de los datos de importancia se presenta en el cuadro 11.

CUADRO 11. VARIEDADES Y CORTES REALIZADOS EN LOS PANTES EVALUADOS.

Código de pante	Variedad	Fecha de siembra	Fecha de corte	Número de cortes
517	CG00-102	13/12/2015	24/11/2016	1
518	CG00-102	14/12/2015	23/11/2016	1
519	CG98-46	19/11/2015	23/11/2016	1
520	CG98-46	19/12/2015	22/11/2016	1
521	CG98-46	19/12/2015	22/11/2016	1

Fuente. Elaboración propia, 2017.

2.2.2.5 Manejo del cultivo

A. Preparación del suelo para la caña de azúcar

Engloba las actividades de arado, volteo, pulido y subsolado, por último, se realizó el surcado del terreno a distancia entre surcos de 1.5 m y profundidad aproximada de 0.25 m, dichas actividades pretenden proveer las condiciones idóneas para que la semilla pueda germinar y emerger adecuadamente lo que asegura el desarrollo del cultivo.

B. Siembra comercial

La siembra en la finca Agrícola del Sur se realiza de forma convencional (manual) por lo cual no implica el uso de maquinaria.

C. Riego

El sistema de riego utilizado es aspersión/gravedad con marco de riego de 45 m* 45 m cuando la aplicación del riego es para germinación y marco de riego de 54 m* 54 m desde el tercer riego aplicado, la lámina aplicada por evento de riego es 42 mm con frecuencia de riego de 15 días, en cuanto a eficiencias de aplicación mayor a 100 % indica desgaste por tiempo de trabajo en las boquillas, razón por la cual son de mayor diámetro (cuadro 12).

CUADRO 12. CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO REALIZA EN FINCA AGRÍCOLA DEL SUR.

Eficiencia de Aplicación:	105.9%		60% - 80%
Coeficiente de Uniformidad:	81.4%		70% - 80%
Uniformidad de Distribución:	66.5%		70% - 90%
Traslape de aspersores:	90.5%		85% - 95%
Eficiencia de conducción:			90% - 95%
CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO:	83.1%		75% - 90%

Ln aplicada (mm): 42.38

Fuente. Elaboración propia, 2017.

2.2.2.6 Precipitación pluvial

En el cuadro 13, se muestra el registro de precipitación pluvial registrada de los meses de mayo a octubre de 2017.

CUADRO 13. REGISTRO DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DE ESTACIÓN INGENIO SANTA ANA.

MAYO		JUNIO		JULIO	
Fecha	Precipitación (mm)	Fecha	Precipitación (mm)	Fecha	Precipitación (mm)
01/05/2017	1	01/06/2017	0	01/07/2017	4
02/05/2017	7.5	02/06/2017	0	02/07/2017	15
03/05/2017	71	03/06/2017	0	03/07/2017	0
04/05/2017	0	04/06/2017	2.5	04/07/2017	5.5
05/05/2017	0	05/06/2017	18	05/07/2017	14
06/05/2017	0	06/06/2017	0	06/07/2017	0
07/05/2017	1	07/06/2017	3	07/07/2017	31
08/05/2017	1	08/06/2017	0	08/07/2017	0
09/05/2017	12	09/06/2017	61	09/07/2017	0
10/05/2017	0	10/06/2017	29	10/07/2017	39
11/05/2017	22	11/06/2017	18	11/07/2017	16
12/05/2017	65	12/06/2017	2	12/07/2017	16
13/05/2017	0	13/06/2017	20	13/07/2017	1
14/05/2017	14	14/06/2017	0	14/07/2017	21
15/05/2017	45	15/06/2017	17	15/07/2017	56
16/05/2017	0	16/06/2017	1	16/07/2017	7
17/05/2017	3.5	17/06/2017	10	17/07/2017	2.5
18/05/2017	9	18/06/2017	51	18/07/2017	27
19/05/2017	73	19/06/2017	6	19/07/2017	0
20/05/2017	35	20/06/2017	0	20/07/2017	0
21/05/2017	4	21/06/2017	8	21/07/2017	0
22/05/2017	0	22/06/2017	1	22/07/2017	0
23/05/2017	0	23/06/2017	0	23/07/2017	41
24/05/2017	0	24/06/2017	0	24/07/2017	12
25/05/2017	0	25/06/2017	0	25/07/2017	0
26/05/2017	0	26/06/2017	2.5	26/07/2017	7
27/05/2017	0	27/06/2017	0	27/07/2017	0
28/05/2017	2	28/06/2017	0	28/07/2017	12
29/05/2017	0	29/06/2017	7.5	29/07/2017	0
30/05/2017	48	30/06/2017	0	30/07/2017	26
31/05/2017	0			31/07/2017	81
TOTAL	414	TOTAL	257	TOTAL	434

Continuación.

AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
Fecha	Precipitación (mm)	Fecha	Precipitación (mm)	Fecha	Precipitación (mm)
01/08/2017	5	01/09/2017	0	01/10/2017	11
02/08/2017	0	02/09/2017	0	02/10/2017	25
03/08/2017	0	03/09/2017	4.5	03/10/2017	0
04/08/2017	0	04/09/2017	0	04/10/2017	9
05/08/2017	0	05/09/2017	0	05/10/2017	5
06/08/2017	52	06/09/2017	53.5	06/10/2017	5
07/08/2017	2	07/09/2017	14.5	07/10/2017	9
08/08/2017	0	08/09/2017	7.9	08/10/2017	3
09/08/2017	6	09/09/2017	28.5	09/10/2017	22
10/08/2017	4	10/09/2017	9.4	10/10/2017	14
11/08/2017	0	11/09/2017	46	11/10/2017	0
12/08/2017	24	12/09/2017	0	12/10/2017	0
13/08/2017	31	13/09/2017	2.3	13/10/2017	14
14/08/2017	1	14/09/2017	15.6	14/10/2017	0
15/08/2017	0	15/09/2017	0	15/10/2017	0
16/08/2017	16	16/09/2017	1	16/10/2017	0
17/08/2017	0	17/09/2017	58	17/10/2017	0
18/08/2017	1	18/09/2017	22	18/10/2017	0
19/08/2017	0	19/09/2017	0	19/10/2017	1.5
20/08/2017	15	20/09/2017	23	20/10/2017	19
21/08/2017	1	21/09/2017	49	21/10/2017	12
22/08/2017	0	22/09/2017	13	22/10/2017	5
23/08/2017	21	23/09/2017	32	23/10/2017	12
24/08/2017	0	24/09/2017	30	24/10/2017	2
25/08/2017	6	25/09/2017	45	25/10/2017	0
26/08/2017	0	26/09/2017	13	26/10/2017	0
27/08/2017	0	27/09/2017	0	27/10/2017	0
28/08/2017	0	28/09/2017	7	28/10/2017	14
29/08/2017	0	29/09/2017	9	29/10/2017	1
30/08/2017	0	30/09/2017	8	30/10/2017	0
31/08/2017	0			31/10/2017	48
TOTAL	185	TOTAL	492		432

Fuente. Elaboración propia, 2017.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 General

Estimar la pérdida de suelo producto de erosión hídrica mediante método altimétrico y acequias de ladera en finca Agrícola del Sur, ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala.

2.3.2 Específicos

1. Estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en áreas de cultivo de caña de azúcar mediante el método altimétrico.
2. Cuantificar el suelo sedimentado en acequia de ladera producto de erosión hídrica por escorrentía superficial.
3. Estimar los nutrientes del suelo sedimentado en acequia de ladera producto de erosión hídrica por escorrentía superficial.



Fuente: elaboración propia, 2017.

FIGURA 23. UBICACIÓN DE PARCELAS DE EROSIÓN EN PANTES 521-517.

El tamaño de las varillas de medición facilitó su localización dentro de los lotes de caña de azúcar en la toma de lecturas de erosión.

Cálculos de erosión:

Las siguientes ecuaciones matemáticas se utilizaron para determinar el proceso de erosión media y sedimentación media:

$$X = Y * D_a * 10$$

X= suelo erosionado o sedimentado (T/ha)

Y= altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm)

Da= densidad aparente del suelo (T/m³).

La erosión neta (En) es la diferencia entre la erosión y la sedimentación ocurrida en una ladera, expresada en m³/ha o T/ha.

Para cuantificar la erosión neta se utilizó la erosión media, así como la sedimentación ocurrida. La ecuación matemática permitió describir la totalidad de suelo que se erosionó en el terreno, expresado en toneladas por hectárea.

$$E_{\text{neta}} = E - S$$

E_{neta}= Erosión neta media (T/ha)

E= Erosión normal media (T/ha)

S= Sedimentación media (T/ha)

Las lecturas fueron realizadas cada mes.

Registro de precipitación diaria (mm/día) en finca Agrícola del Sur durante mayo a octubre de 2017.

- Los datos de precipitación diaria se obtuvieron de la lectura de milímetros de lluvia registrada del pluviómetro con el que se cuenta en la estación experimental del ingenio.
- La toma del dato diario de precipitación lo realizó personal del ingenio encargado del registro de datos de pluviómetros, dicho personal está capacitado para la obtención y tabulación de los datos en el registro de lluvias con él que se cuenta.

2.4.2 Cuantificación de la cantidad de suelo sedimentado en acequia de ladera producto de erosión hídrica por escorrentía superficial.

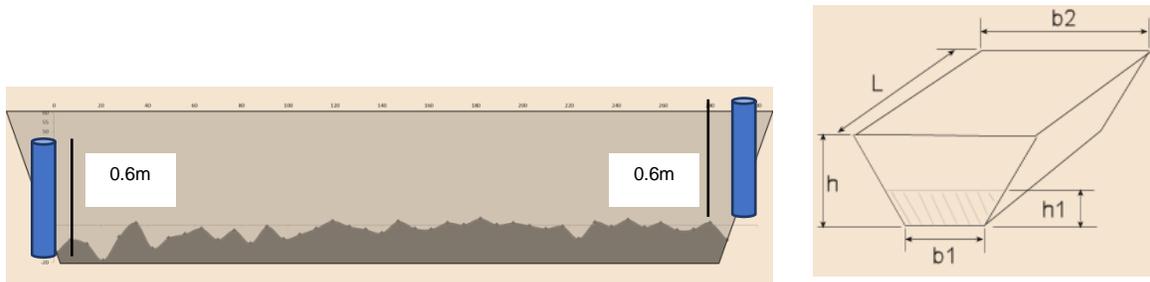
Establecimiento de las acequias de ladera presenta desnivel interno de las mismas y no ruta de evacuación para permitir la infiltración del agua producto de escorrentía superficial.

Para determinar la capacidad de la acequia se utilizó el método de la curva número en la cual se conoce el volumen de precipitación que el suelo no sea capaz de retener.

Se utilizaron varillas medidoras de sedimentación de 1 m de longitud enterrada aproximadamente 40 cm, se colocaron al centro de las acequias distanciadas entre sí a 10 m (figura 24). El total de varillas a utilizar fue de 91 (longitud de acequia 905 m). Las lecturas se realizaron de forma mensual.

Para conocer el volumen de sedimentos acumulados se utilizó la siguiente ecuación:

$$Volumen_{Trapezoide} = \left(\frac{1}{2} * (b + B) * h1 \right) * L$$



Fuente: elaboración propia, 2017.

FIGURA 24. SEDIMENTACIÓN EN ACEQUIAS DE LADERA.

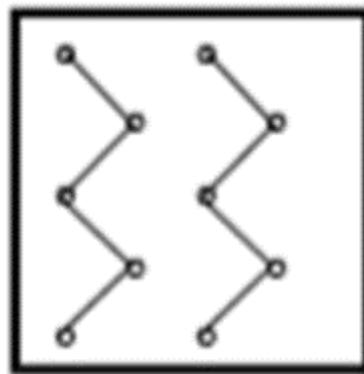
2.4.3 Cuantificación de la cantidad de nutrientes del suelo sedimentado en acequia de ladera producto de erosión hídrica por escorrentía superficial.

A. Muestreo de suelos

El muestreo se realizó con el propósito de la obtención de muestra representativa del área, del análisis de suelo se obtuvo la densidad aparente y el contenido de nutrientes del suelo sedimentado.

Pasos para muestreo:

- Se determinaron el número de muestras y submuestras.
- El recorrido efectuado se realizó en esquema de zig-zag (figura 25).



Fuente: elaboración propia, 2017.

FIGURA 25. ESQUEMA DE RECORRIDO PARA MUESTREO.

- En cada punto se limpió el área para eliminar restos de cultivo.
- Con un barreno se extrajo la muestra de suelo profundizando hasta la altura del suelo sedimentado (figura 26).



Fuente: elaboración propia, 2017.

FIGURA 26. BARRENO PARA EL MUESTREO DE SUELO.

Identificación de muestra

- Establecimiento.
- Número de lote.
- Profundidad a la cual fue tomada.

B. Análisis de suelos

Para la evaluación de la calidad de suelo erosionado y sedimentado en la acequia se realizó análisis físico-químico del suelo sedimentado en la acequia para determinar la calidad (nutrientes).

El análisis de suelos se realizó en el laboratorio del centro guatemalteco de investigación y capacitación de la caña de azúcar (CENGICAÑA). El laboratorio agronómico es una unidad de apoyo para los diferentes programas de CENGICAÑA que tiene como fin primordial el análisis de muestras de:

Análisis químico

- pH en agua
- Porcentaje de materia orgánica
- Capacidad de intercambio catiónico
- Macronutrientes: calcio, magnesio, potasio y fósforo

Análisis físico

- Humedad
- Textura (contenido porcentual de arena, arcilla y limo)
- Capacidad de campo
- Punto de marchitez permanente
- Densidad aparente

2.4.4 Análisis de resultados

En cuanto al análisis de las parcelas de erosión se realizó mediante estadística descriptiva la cual permite la recolección, agrupación y presentación de los datos, para que la descripción de estos sea rápida y fácil de presentar.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Precipitación pluvial

El registro de lluvia (figura 27) de la estación experimental del ingenio Santa Ana durante el año indica un total de 2,013 mm precipitados.

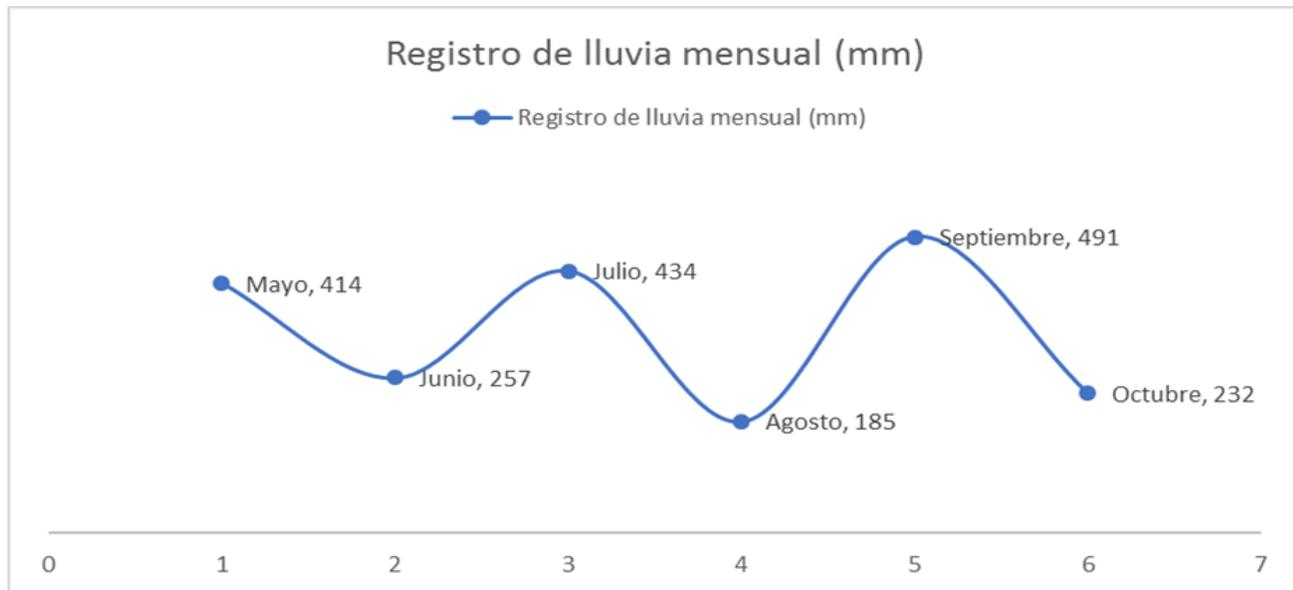


FIGURA 27. PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN FINCA AGRÍCOLA DEL SUR DE MAYO A OCTUBRE 2017.

El mes de agosto presentó menor precipitación pluvial, según boletín informativo del departamento de investigación y servicios climáticos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- la precipitación del mes de agosto generalmente presenta una disminución media de la lluvia en la primera quincena, sin embargo en el área donde se realizó la investigación se presentó una disminución de la precipitación pluvial en la segunda quincena del mes como se presenta en el cuadro 13.

2.5.2 Movimiento de suelo por lluvia.

El monitoreo sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica en los pantes 517, 518, 519, 520 y 521 mediante parcelas de clavos de erosión durante la evaluación comprendida entre los meses de mayo a octubre del 2017 muestran un nivel leve (<10 T/ha/año) de erosión hídrica. En el cuadro 14, se presenta el registro de variación de altura en los clavos de erosión de una parcela al final del mes de mayo.

CUADRO 14. LECTURA DE VARILLAS EN PARCELA DE CLAVOS DE EROSIÓN.

Pante	Parcela	Varilla	Altura inicial (cm)	Lectura (cm)	Erosión (mm)	Sedimentación (mm)
520	4	1	60	60.1	1	
520	4	2	60	60.2	2	
520	4	3	60	60		
520	4	4	60	60.5	5	
520	4	5	60	59.7		3
520	4	6	60	60.2	2	
520	4	7	60	60.1	1	
520	4	8	60	60.5	5	
520	4	9	60	60.6	6	
520	4	10	60	60		
520	4	11	60	60.5	5	
520	4	12	60	60.1	1	
520	4	13	60	60.2	2	
520	4	14	60	60		
520	4	15	60	59.8		2
520	4	16	60	59.9		1
520	4	17	60	59.5		5
520	4	18	60	60.7	7	
520	4	19	60	60.3	3	
520	4	20	60	59.8		2
Total (mm)					40	13

Como se observa en el cuadro anterior durante el periodo de lluvias la capa superficial del suelo se mantiene en constante movimiento debido a la formación de escorrentía superficial,

por esta razón al realizar el monitoreo de los clavos de erosión es común encontrar varillas que indican sedimentación.

El comportamiento de erosión hídrica dentro de las parcelas de clavos de erosión es variable, en la figura 28 se muestra el comportamiento registrado en el cuadro anterior, producto de la erosión/sedimentación causada por la lluvia del mes de mayo del 2017 indicando la pérdida de suelo en dirección a la pendiente.

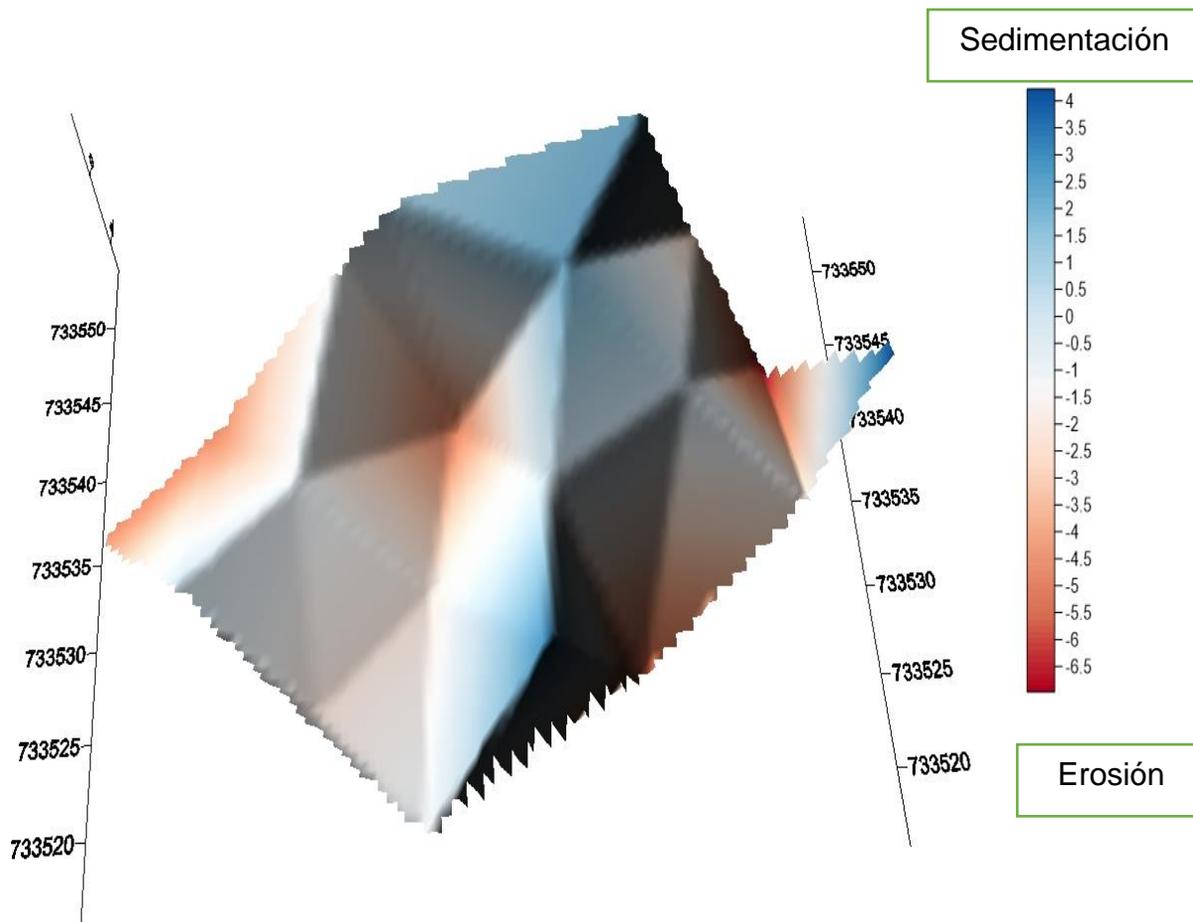


FIGURA 28. COMPORTAMIENTO DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN DEL MES DE MAYO DEL 2017.

En la figura 29, se presentan las curvas de nivel de la parcela siendo datos relacionados con el comportamiento de erosión hídrica del mes de mayo del 2017.

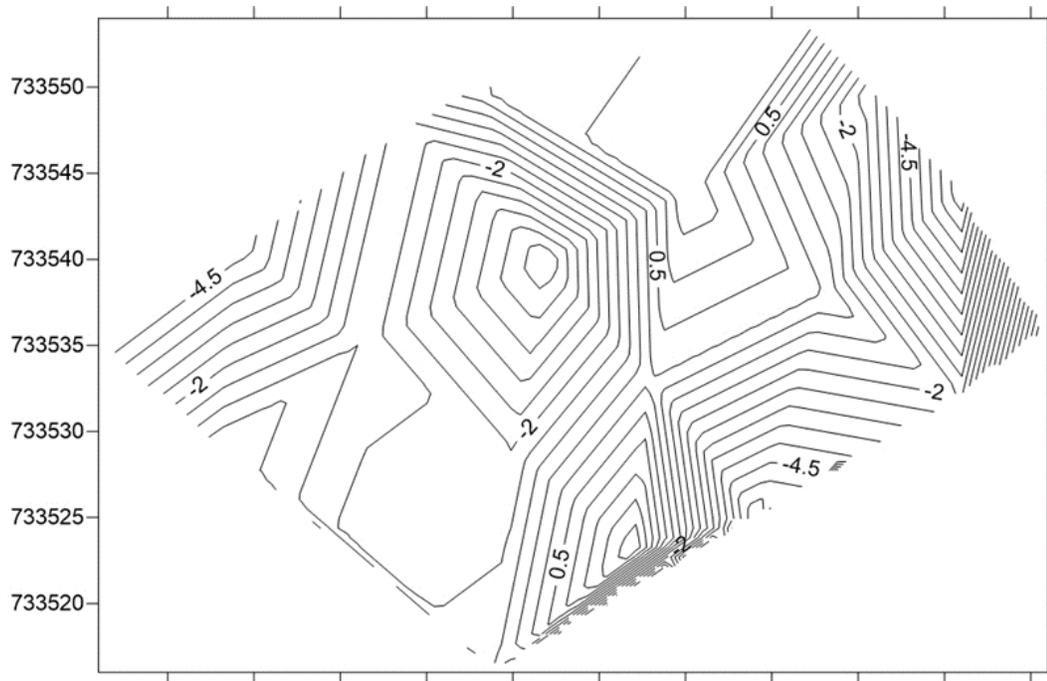


FIGURA 29. CURVAS DE NIVEL DE PARCELA DE CLAVOS DE EROSIÓN.

En el cuadro 15, se muestra la tasa de erosión hídrica mensual registrada durante la época lluviosa.

CUADRO 15. EROSIÓN REGISTRADA EN PARCELAS DE CLAVOS MAYO Y JUNIO (T/ha)

Erosión hídrica - mayo					Erosión hídrica - junio				
Pante	Parcela	Erosión (mm)	sedimentación (mm)	Erosión neta (T/ha)	Pante	Parcela	Erosión (mm)	sedimentación (mm)	Erosión neta (T/ha)
521	1	2.50	3.17	0.00	521	1	1.25	1.54	0.00
521	2	4.09	4.14	0.00	521	2	1.00	1.82	0.00
520	3	2.18	2.43	0.00	520	3	1.67	1.85	0.00
520	4	3.33	2.60	5.20	520	4	2.57	2.27	2.12
519	5	2.00	2.33	0.00	519	5	2.00	2.14	0.00
519	6	2.82	2.38	2.97	519	6	3.43	3.29	0.96
518	7	3.25	2.00	9.63	518	7	2.00	1.80	1.54
518	8	1.50	4.19	0.00	518	8	1.00	2.31	0.00
517	9	1.00	3.24	0.00	517	9	1.75	2.75	0.00
517	10	4.86	3.13	11.60	517	10	2.71	3.11	0.00

Erosión promedio (T/ha) **2.94**

Erosión promedio (T/ha) **0.46**

Varianza población 17.67

Varianza población 0.56

Desviación estandar 4.20

Desviación estandar 0.75

El mes de mayo presenta la mayor variación en la tasa de erosión hídrica por parcela, la cual se concentra en cuatro parcelas de clavos en las cuales el aspecto que posiblemente causo dicha diferencia es cobertura vegetal, debido a que la investigación se realizó en caña de azúcar en primera soca la cantidad de plantas por metro lineal tiende a presentar un mayor grado de variabilidad en comparación a áreas en las cuales se renovó el cultivo, en las figuras 16, 17 y 18 se presenta el registro de los meses de julio a octubre.

CUADRO 16. EROSIÓN REGISTRADA EN PARCELAS DE CLAVOS DE JULIO Y AGOSTO (T/ha).

Erosión hídrica - julio					Erosión hídrica - agosto				
Pante	Parcela	Erosión (mm)	sedimentación (mm)	Erosión neta (T/ha)	Pante	Parcela	Erosión (mm)	sedimentación (mm)	Erosión neta (T/ha)
521	1	1.27	1.50	0.00	521	1	1.00	1.25	0.00
521	2	1.33	1.86	0.00	521	2	1.33	1.50	0.00
520	3	1.50	1.43	0.50	520	3	1.20	1.33	0.00
520	4	1.67	1.33	2.37	520	4	1.50	1.25	1.78
519	5	1.20	1.29	0.00	519	5	1.25	1.33	0.00
519	6	1.50	1.33	1.12	519	6	1.40	1.33	0.45
518	7	1.50	1.25	1.93	518	7	1.67	1.60	0.52
518	8	1.40	1.43	0.00	518	8	1.00	1.33	0.00
517	9	1.20	1.33	0.00	517	9	1.38	1.50	0.00
517	10	1.38	1.83	0.00	517	10	1.20	1.33	0.00

Erosión promedio (T/ha) Erosión promedio (T/ha)

Varianza población 0.73

Varianza población 0.29

Desviación estandar 0.86

Desviación estandar 0.54

CUADRO 17. EROSIÓN REGISTRADA EN PARCELAS DE CLAVOS SEPTIEMBRE Y OCTUBRE (T/ha)

Erosión hídrica - septiembre					Erosión hídrica - octubre				
Pante	Parcela	Erosión (mm)	sedimentación (mm)	Erosión neta (T/ha)	Pante	Parcela	Erosión (mm)	sedimentación (mm)	Erosión neta (T/ha)
521	1	1.02	1.15	0.00	521	1	1.07	1.10	0.00
521	2	1.40	1.55	0.00	521	2	1.24	1.29	0.00
520	3	1.18	1.37	0.00	520	3	1.10	1.30	0.00
520	4	1.60	1.40	1.42	520	4	1.60	1.40	1.84
519	5	1.09	1.26	0.00	519	5	1.12	1.31	0.00
519	6	1.48	1.32	1.07	519	6	1.50	1.36	0.94
518	7	1.83	3.30	0.00	518	7	1.67	1.64	0.23
518	8	2.36	2.17	1.52	518	8	2.36	2.17	2.00
517	9	1.40	1.53	0.00	517	9	1.45	1.55	0.00
517	10	1.10	1.30	0.00	517	10	1.13	2.01	0.00

Erosión promedio (T/ha) Erosión promedio (T/ha)

Varianza población 0.39

Varianza población 0.58

Desviación estandar 0.62

Desviación estandar 0.76

CUADRO 18. TASA MENSUAL DE EROSIÓN HÍDRICA (T/ha).

Mes	Etapas fenológicas cultivo	Precipitación (mm)	Erosión T/ha
Mayo	Macollamiento-elongación I	414	2.94
Junio	Elongación I	257	0.46
Julio	Elongación I	434	0.59
Agosto	Elongación II	185	0.27
Septiembre	Elongación II	491	0.40
Octubre	Maduración	232	0.50
Total		2,013	5.17

La tasa neta de erosión hídrica registrada bajo las condiciones climáticas, manejo de cultivo y prácticas de conservación de suelo fue 5.17 T/ha/año, la cual es menor a la erosión hídrica proyectada por los resultados de la investigación sobre el riesgo potencial de erosión hídrica en la agroindustria azucarera de Guatemala (Orrego & Santos) publicada por el ICC, la cual indica un rango de erosión de 10 T/ha/año a 200 T/ha/año en suelos con cobertura de cultivo de caña de azúcar, aunque en dicha investigación no se consideran prácticas de conservación de suelo.

De acuerdo con el comportamiento en la figura 30, se puede observar que las cantidades de suelo erosionado muestran una disminución durante el transcurso de la época lluviosa, lo cual es resultado del aumento de la cobertura vegetal debido a la etapa fenológica del cultivo durante el transcurso de la época lluviosa.

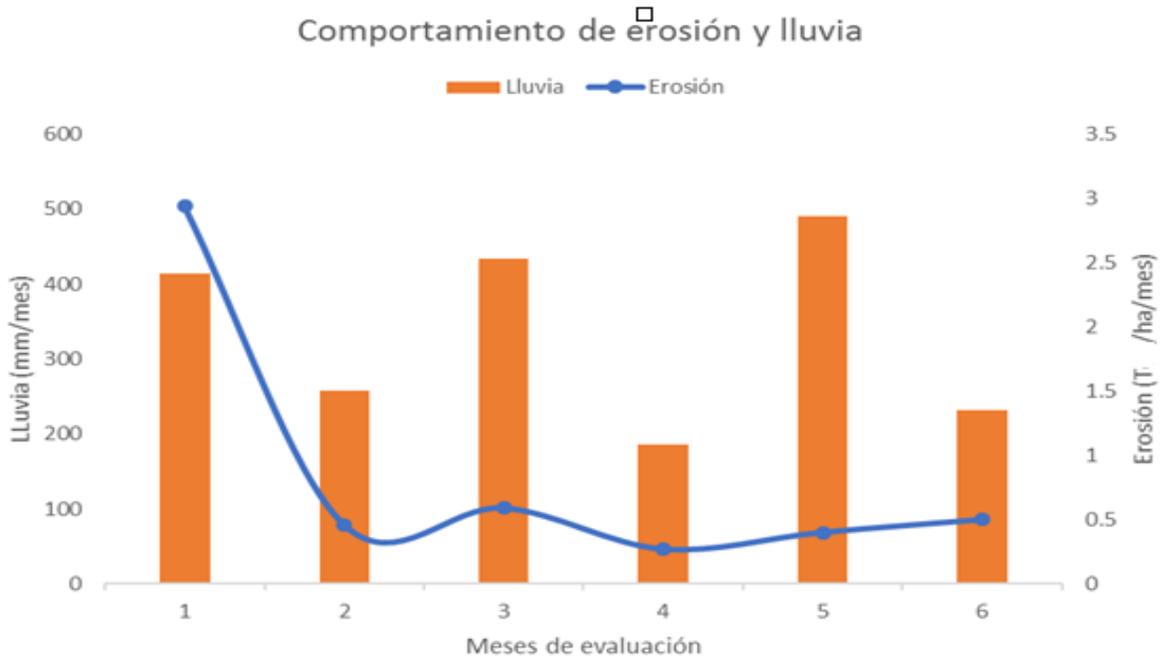


FIGURA 30. COMPORTAMIENTO DE EROSIÓN HÍDRICA Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL.

Entre otras prácticas de conservación de suelo en el área de evaluación se tiene establecido el cultivo a curvas de nivel (figura 31), lo cual disminuye los niveles de erosión hídrica.



FIGURA 31. SIEMBRA DE CULTIVO A CURVAS DE NIVEL.

Además de las prácticas de conservación de suelo otro aspecto importante en la reducción del efecto de erosión hídrica es la cobertura vegetal por lo cual la investigación se llevó a cabo en cultivo de caña de azúcar de primer tercio (corte noviembre-diciembre), siendo importante considerar la época de siembra y corte del cultivo con el objetivo de lograr que al inicio de la época lluviosa el cultivo provea de cobertura al suelo y mediante el aumento de lluvias el cultivo se encuentre en etapa de elongación.

2.5.3 Sedimentación en acequia de ladera.

La captación de la acequia (figura 32) se registró del mes de mayo a octubre. Dicho dato fue registrado mediante la medición del cambio de altura en las varillas de hierro establecidas al inicio de la época lluviosa.



FIGURA 32. MEDICIÓN DE SEDIMENTACIÓN EN ACEQUIA DE LADERA.

La cuantificación del volumen de suelo sedimentado se realizó mediante el uso del formato que se muestra en el cuadro 19, el cual se basa en dos aspectos importantes que son el

cambio de altura en la acequia y el cambio de la base superior, datos necesarios para el cálculo de volumen.

CUADRO 19. REGISTRO DE VOLUMEN DE SUELO SEDIMENTADO DEL MES DE MAYO.

Pante	varilla	Base 1 (m)	Base 2 (m)	Altura base (cm)	Altura de lectura (cm)	Altura de sedimentación (cm)	volumen sedimentado (m ³)
521	0	0.75	0.764	60	59.4	0.6	0.000
521	10	0.75	0.788	60	58.3	1.7	0.131
521	20	0.75	0.849	60	55.6	4.4	0.352
521	30	0.75	0.833	60	56.3	3.7	0.293
521	40	0.75	0.829	60	56.5	3.5	0.276
521	50	0.75	0.860	60	55.1	4.9	0.395
521	60	0.75	0.887	60	53.9	6.1	0.499
521	70	0.75	0.842	60	55.9	4.1	0.326
521	80	0.75	0.923	60	52.3	7.7	0.644
521	90	0.75	0.901	60	53.3	6.7	0.553
521	100	0.75	0.995	60	49.1	10.9	0.951
521	110	0.75	0.863	60	55.0	5.0	0.403
521	120	0.75	0.784	60	58.5	1.5	0.115
521	130	0.75	0.948	60	51.2	8.8	0.747
521	140	0.75	0.863	60	55.0	5.0	0.403
521	150	0.75	0.957	60	50.8	9.2	0.785
521	160	0.75	1.025	60	47.8	12.2	1.082
520	170	0.75	0.930	60	52.0	8.0	0.000
520	180	0.75	0.840	60	56.0	4.0	0.318
520	190	0.75	1.099	60	44.5	15.5	1.433
520	200	0.75	1.088	60	45.0	15.0	1.378
520	210	0.75	0.995	60	49.1	10.9	0.951

Continuación.							
520	220	0.75	0.971	60	50.2	9.8	0.843
520	230	0.75	0.962	60	50.6	9.4	0.804
520	240	0.75	0.984	60	49.6	10.4	0.902
520	250	0.75	1.020	60	48.0	12.0	1.062
520	260	0.75	1.027	60	47.7	12.3	1.093
520	270	0.75	0.919	60	52.5	7.5	0.626
520	280	0.75	0.874	60	54.5	5.5	0.447
520	290	0.75	0.842	60	55.9	4.1	0.326
520	300	0.75	0.813	60	57.2	2.8	0.219
520	310	0.75	0.838	60	56.1	3.9	0.310
520	320	0.75	0.840	60	56.0	4.0	0.318
520	330	0.75	0.860	60	55.1	4.9	0.395
520	340	0.75	0.986	60	49.5	10.5	0.912
520	350	0.75	1.142	60	42.6	17.4	1.646
520	360	0.75	1.047	60	46.8	13.2	1.186
519	370	0.75	0.813	60	57.2	2.8	0.000
519	380	0.75	0.928	60	52.1	7.9	0.663
519	390	0.75	0.926	60	52.2	7.8	0.653
519	400	0.75	0.896	60	53.5	6.5	0.535
519	410	0.75	0.831	60	56.4	3.6	0.285
519	420	0.75	0.849	60	55.6	4.4	0.352
519	430	0.75	0.867	60	54.8	5.2	0.420
519	440	0.75	0.847	60	55.7	4.3	0.343
519	450	0.75	0.815	60	57.1	2.9	0.227
519	460	0.75	0.908	60	53.0	7.0	0.580
519	470	0.75	0.842	60	55.9	4.1	0.326
519	480	0.75	0.867	60	54.8	5.2	0.420
519	490	0.75	0.867	60	54.8	5.2	0.420
519	500	0.75	0.829	60	56.5	3.5	0.276

Continuación.							
519	510	0.75	0.982	60	49.7	10.3	0.892
519	520	0.75	0.863	60	55.0	5.0	0.403
519	530	0.75	0.977	60	49.9	10.1	0.872
519	537	0.75	2.100	60	0.0	60.0	5.985

Como se observa en el cuadro 19, se obtiene el volumen de suelo sedimentado cada 10 m y a su vez se clasifica por tramo de acequia de acuerdo con el pante en el cual se encuentra ubicado, para determinar el peso de suelo sedimentado se determinó la densidad aparente mediante el análisis de suelo por cada tramo de acequia, obteniendo las siguientes densidades aparentes (cuadro 20) y sedimentación de suelo (cuadro 21).

CUADRO 20. ANÁLISIS FÍSICO DE SUELO.

Lote	Arcilla	Limo	Arena	Tipo de Textura	Punto de Marchitez Permanente	Capacidad de Campo	Densidad Aparente
	%				% H	g/cc	
Pante 517	9.07	22.56	68.37	Franco arenoso	13.00	41.75	0.97
Pante 518	8.90	22.45	68.65	Franco arenoso	11.52	38.16	0.96
Pante 521	9.02	18.45	72.53	Franco arenoso	10.21	27.75	1.14
Pante 520	13.44	37.03	49.53	Franco	22.98	50.16	0.79
Pante 519	11.06	28.06	60.88	Franco arenoso	16.25	36.57	0.98

CUADRO 21. TOTAL, DE SEDIMENTACIÓN DE SUELO EN ACEQUIA DE LADERA.

Sedimentación (T)						
Pante	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
521	9.070	1.028	2.268	1.071	0.393	0.174
520	11.982	2.832	2.901	0.631	2.244	0.123
519	13.381	1.362	2.848	0.655	0.417	1.549
518	22.678	3.880	5.149	0.718	2.692	0.612
517	3.392	0.658	1.156	1.325	0.137	0.237
Sedimentación general/mes (T)						
Pante	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
521-517	60.504	9.760	14.322	4.401	5.882	2.694
Total General (T)				97.56		

En el cuadro 21, se presenta un total de suelo sedimentado durante la época lluviosa de 97.56 T y se muestra el comportamiento en volumen de suelo sedimentado en cada sección de la acequia, la cual es directamente proporcional a la tasa de erosión hídrica (cuadro 22).

CUADRO 22. SEDIMENTACIÓN MENSUAL (T/ha).

Mes	Erosión (T/ha)	Sedimentación (T/ha)
Mayo	2.94	2.161
Junio	0.46	0.349
Julio	0.59	0.512
Agosto	0.27	0.157
Septiembre	0.40	0.210
Octubre	0.50	0.096
Total (T/ha)	5.17	3.48

De acuerdo con las 97.56 T de suelo sedimentado en las acequias de ladera durante el periodo de investigación, la captación de suelo erosionado dado por las diferencias de nivel

del terreno fue de 3.48 T/ha/año siendo menor a la erosión hídrica registrada de 5.17 T/ha/año.

En la figura 33, se muestra la relación del factor erosión hídrica, sedimentación y etapa fenológica del cultivo en días.



FIGURA 33. COMPORTAMIENTO DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN DE ACUERDO A LA ETAPA FENOLÓGICA DEL CULTIVO.

Como se observa en la figura 33, el mes con menor cobertura vegetal se presenta el mayor grado de erosión de suelo, mediante la cobertura vegetal aumenta el grado de erosión tiene una disminución promedio de 2.4 T/mes con respecto al mes de mayo de 2.94 T/mes.

$$\% \text{ Eficiencia de captación} = \frac{3.48 \text{ T/ha}}{5.17 \text{ T/ha}} * 100 = 67.31 \%$$

La eficiencia de captación en la acequia es 67.31 % del suelo erosionado por efecto de erosión hídrica.

La captación de suelo en cada tramo de la acequia (figura 34), tuvo diferente comportamiento debido a la erosión registrada y la influencia de los túmulos en las rondas, los cuales influenciaron la captación de suelo erosionado.

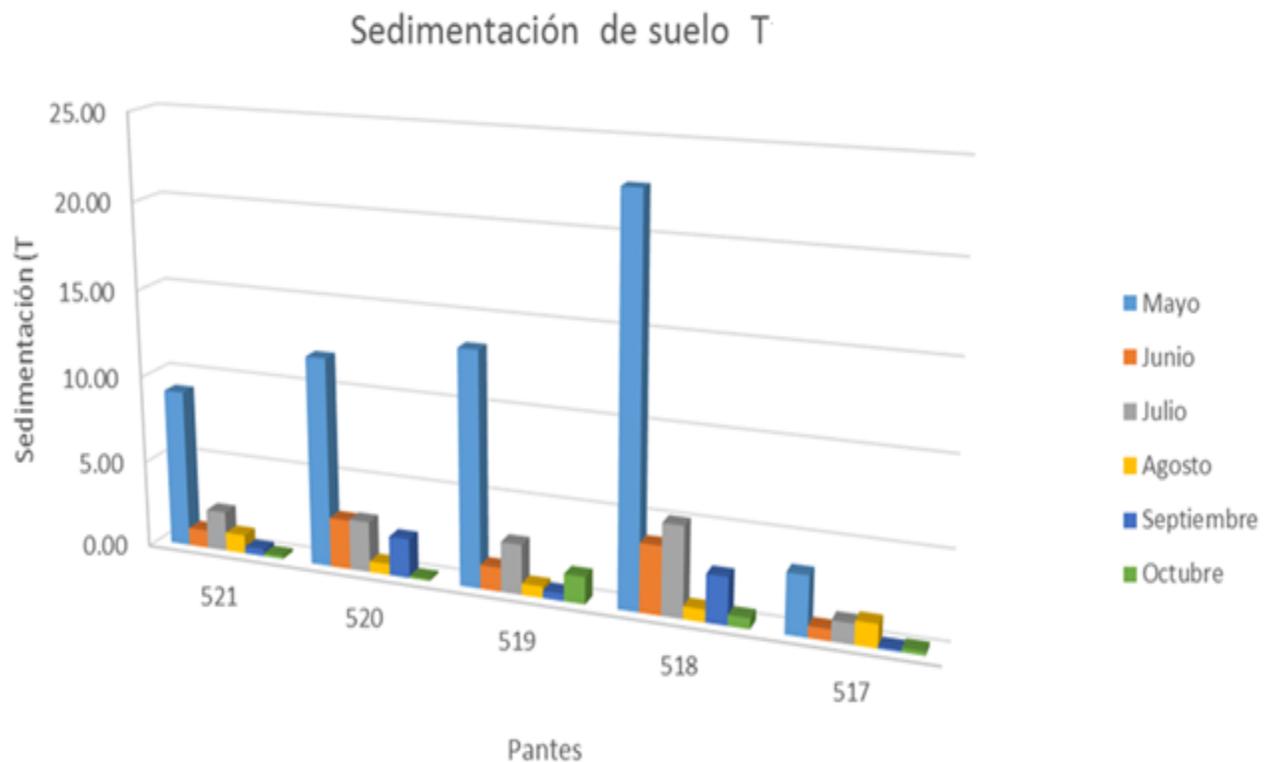


FIGURA 34. SEDIMENTACIÓN DE SUELO DE CADA TRAMO DE ACEQUIA DE LADERA.

Como se observa en la figura 34, el tramo de acequia con mayor captación de suelo erosionado es el pante 518 posiblemente durante el mes de mayo debido a que los túmulos establecidos en las rondas de estos pantes favorecieron la captación de material erosionado de pantes establecidos en las partes altas.

En la figura 35, se presenta el tramo de acequia en el pante 518 el cual capto mayor cantidad de material erosionado.



FIGURA 35. CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PANTE 518 MES DE MAYO, 2017.

El mes de mayor erosión (figura 36) fue mayo debido al estado fenológico del cultivo en macollamiento, lo cual fue directamente proporcional a la cantidad de suelo captado por la acequia de ladera.

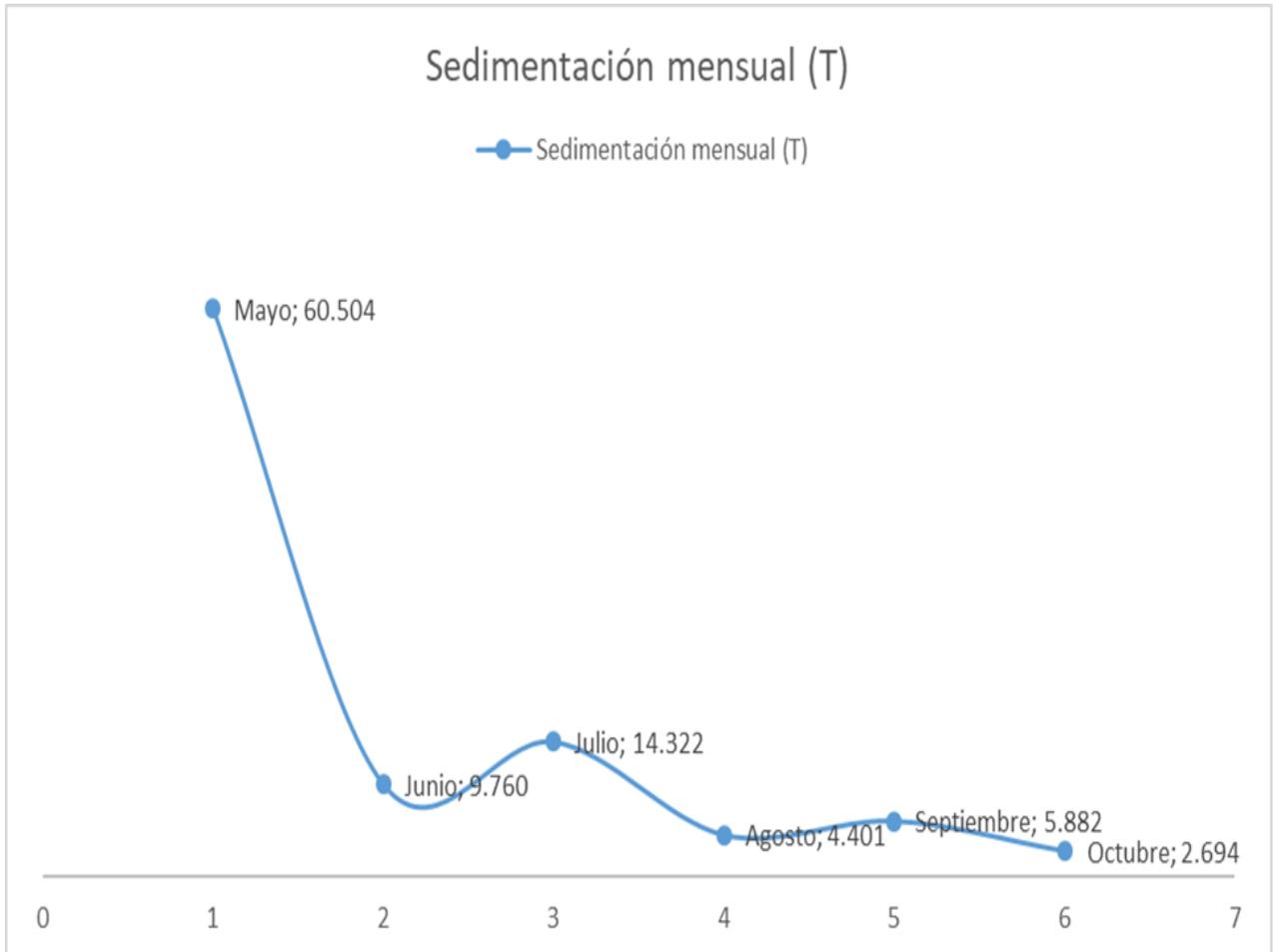


FIGURA 36. COMPORTAMIENTO DE SEDIMENTACIÓN MENSUAL EN ACEQUIA DE LADERA.

2.5.4 Nutrientes en suelo sedimentado

Para su cuantificación se muestreo el suelo en cada tramo de acequia (figura 37), obteniendo una muestra compuesta para lograr la representatividad del suelo sedimentado.



FIGURA 37. MUESTREO DE SUELO SEDIMENTADO.

Resultado de análisis químico y físico de suelo (cuadro 23), realizado en laboratorio agronómico del centro guatemalteco de investigación y capacitación de caña de azúcar CENGICAÑA.

CUADRO 23. RESULTADO DE ANÁLISIS DE SUELO SEDIMENTADO.

Resultado de Análisis Químico de Suelo

Lote	pH en agua	Materia Orgánica	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Capacidad de Intercambio Cationico	Fósforo	Cobre	Cinc	Hierro	Manganeso
		%	Meq intercambiables/100g suelo					(ppm)				
Pante 517	6.52	4.81	9.35	3.82	0.73	0.34	31.01	3.20	0.50	5.69	2.78	23.71
Pante 518	6.40	3.05	9.27	4.22	0.62	0.39	28.80	3.20	0.68	7.73	3.53	48.31
Pante 521	6.52	3.98	6.29	2.31	0.69	0.30	19.20	21.22	1.36	5.98	17.32	41.56
Pante 520	6.37	4.81	10.71	3.66	0.72	0.35	39.87	2.33	0.34	4.53	2.28	30.65
Pante 519	6.42	4.50	9.20	3.32	0.78	0.34	28.80	10.17	0.61	6.78	3.75	29.83

De acuerdo con el contenido de elemento fósforo en suelo sedimentado se realizó el cálculo en fertilizante MAP (10-50-0) que representa el suelo sedimentado en la acequia de ladera, dicho resultado se muestra en el cuadro 24.

CUADRO 24. ESTIMACIÓN DE FERTILIZANTE MAP EN SUELO SEDIMENTADO.

Fertilizante MAP (10-50-0)						
Pante	Fósforo (g/T)	Sedimentación (T)	Fósforo sedimentado (g)	P2O5 (g)	MAP (g) 10-50-0	MAP (kg) 10-50-0
517	3.2	6.91	22.1	50.7	101.3	0.101
518	3.2	35.73	114.3	261.9	523.9	0.524
519	10.17	20.21	205.5	470.9	941.7	0.942
520	2.33	20.71	48.3	110.5	221.1	0.221
521	21.22	14.01	297.3	681.1	1362.2	1.362
Total MAP (kg)						3.150

La pérdida de 3.15 kg de MAP (10-50-0) se generó a causa de la erosión hídrica en 28 ha de cultivo, la cantidad de fosfato monoamónico que no es asimilado por el cultivo debido al efecto de erosión hídrica es 0.112 kg/ha MAP (10-50-0).

El contenido de elemento potasio en suelo sedimentado se realizó el cálculo en fertilizante 26-0-26 UP, dicho resultado se muestra en el cuadro 25.

CUADRO 25. ESTIMACIÓN DE FERTILIZANTE UP EN SUELO SEDIMENTADO.

Fertilizante 26-0-26 UP							
Pante	Potasio (meq/100 g suelo)	Potasio (g/T)	Sedimentación (T)	Potasio sedimentado (g)	K2O (g)	26-0-26 UP (g)	26-0-26 UP (kg)
517	0.73	285.4	6.91	1972.2	2375.71	9137.3	9.14
518	0.62	242.4	35.73	8661.2	10433.18	40127.6	40.13
519	0.78	305.0	20.21	6163.3	7424.26	28554.8	28.55
520	0.72	281.5	20.71	5830.0	7022.71	27010.4	27.01
521	0.69	269.8	14.01	3779.6	4552.81	17510.8	17.51
Total fertilizante (kg)							122.34

La pérdida de 122.34 kg de UP (26-0-26) se generó a causa de la erosión hídrica en 28 ha de cultivo. La cantidad del fertilizante 26-0-26 UP que no es asimilado por el cultivo debido al efecto de erosión hídrica es 4.37 kg/ha (26-0-26 UP).

2.6 CONCLUSIONES

1. La tasa de erosión hídrica determinada por medio del método altimétrico de parcelas de clavos de erosión es 5.17 T/ha/año, se encuentra de acuerdo con la clasificación de la FAO dentro de un nivel de erosión hídrica nula a leve (<10 T/ha/año), considerando que el área en la cual se realizó el estudio tiene como práctica de conservación de suelo siembra a curvas de nivel y adecuada programación de siembra-corte del cultivo de caña de azúcar.
2. La cantidad de suelo sedimentado en la acequia de ladera es 97.56 T lo cual indica eficiencia en captación del 67.31 % considerando que el área inmediata de captación es 28 ha, lo cual representa una captación de 3.48 T/ha/año, aunque no es posible realizar una delimitación de toda el área para evitar la influencia de escorrentía proveniente de otra área de cultivo, por esta razón la eficiencia neta de captación podría disminuir.
3. La pérdida de nutrientes por erosión hídrica disminuye la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos empleados en la labor de fertilización por lo cual la incorporación del suelo sedimentado al área de cultivo representa el retorno de la cantidad de fósforo que aportan 0.112 kg/ha de fertilizante MAP (10-50-0) y potasio aportado por 4.37 kg/ha de fertilizante 26-0-26 UP, además de mantener la profundidad de la capa arable del suelo mediante el retorno del suelo erosionado.

2.7 RECOMENDACIONES

1. Mantener el monitoreo de sedimentación en la acequia evaluada y ampliar el monitoreo al resto de las acequias con que cuenta el ingenio Santa Ana para identificar áreas en las cuales sea necesario la implementación de este tipo de prácticas de conservación de suelo.
2. Mantener la implementación de túmulos en los extremos de las acequias lo cual permite la reducción de la velocidad de escorrentía en las calles y dirigir dicha escorrentía a la acequia, aumentando la eficiencia de captación de dichas estructuras.
3. Elaborar un programa de mantenimiento de las acequias que permita incorporar la cantidad de suelo sedimentado al área de cultivo, enfocado en la reducción de daño mecanizado por maquinaria que realice la labor de mantenimiento en periodo de soca.
4. Implementación de parcelas de escorrentía en conjunto con parcela de clavos de erosión para futuros estudios de erosión hídrica, lo cual aumentara el grado de precisión en determinación de erosión mediante la comparación de dos métodos.
5. Implementar parcelas de escorrentía que permitan determinar la lámina de escorrentía por evento de lluvia, importante para el diseño de acequias de ladera.
6. Ampliar el área bajo siembra a curva de nivel como otra alternativa inmediata a la reducción de erosión hídrica enfocado a áreas de cultivo con siembra-cosecha entre los meses de marzo y abril.

2.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Bolsa de Comercio de Rosario, Argentina. 2016. Etapas de la toma para análisis de suelo (en línea). 6 p. Consultado 1 mar. 2017. Disponible en <https://www.bcr.com.ar/Laboratorio%20Varios/Instructivo%20toma%20de%20muestras%20de%20suelo.pdf>
2. Brea, J; Balocchi, F. 2010. Proceso de erosión: sedimentación en cauces y cuencas (en línea). Chile, Universidad de Talca. 138 p. Consultado 24 feb. 2017. Disponible en http://eias.usalca.cl/isi/publicaciones/erosion_y_sedimentacion_vol1.pdf
3. Hernández, O. 2012. Trabajo de graduación realizado en la Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR-MAGA) y en la microcuenca del río El Caracol en el municipio de Acatenango, Chimaltenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 199 p.
4. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala). 2012. Evaluación de la erosión de suelos y de prácticas para conservarlos en la vertiente del Pacífico (en línea). Guatemala. 1 p. Consultado 22 feb. 2017. Disponible en <http://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/03/Evaluacion-de-la-erosion-de-suelos-y-de-practicas-para-conservarlos-en-la-vertiente-del-Pacifico.pdf>
5. _____. 2017a. Sistema de información meteorológica del ICC (en línea). Guatemala. Consultado 17 feb. 2017. Disponible en <https://redmet.icc.org.gt/>
6. _____. 2017b. Unen esfuerzos en la conservación de suelos (en línea). Consultado 26 feb. 2017. Disponible en <http://icc.org.gt/es/icc-2/>
7. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala). 2017. Perspectiva climática de agosto 2017 (en línea). Guatemala. 5 p. Consultado 1 mar. 2017. Disponible en http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/boletin_climatico/Boletin%20climatico%2008-2017.pdf
8. Morataya, E; Salguero, M. 2014. Instructivo de práctica del curso conservación de suelo y agua (PDF). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 1 CD.
9. Orrego, E; Santos, A. 2016. Riesgo potencial a erosión hídrica para la planificación del manejo de conservación de suelos de la agroindustria azucarera guatemalteca (en

- línea). Guatemala, ICC. 8 p. Consultado 27 feb. 2017. Disponible en <http://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/USLE2016.pdf>
10. Piedrahita, O. 2012. Conversión de unidades (en línea). 11 p. Consultado 10 mar. 2017. Disponible en http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Conversi%C3%B3n%20de%20unidades.pdf
11. Pizarro, R. 2009. Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile (en línea). Chile. 94 p. Consultado 25 feb. 2017. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216337s.pdf>
12. Rodríguez, P. 2008. Hidráulica II (en línea). México, Instituto Tecnológico de Oaxaca, Academia de Ingeniería Civil, Departamento de Ciencias de la Tierra. 570 p. Consultado 10 mar. 2017. Disponible en https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf
13. Santos, A. 2014. Estudio de la erosión hídrica en la parte alta de la zona cañera microcuenca Los Sujuyes, diagnóstico y servicios en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC-, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 175 p.

No. Bo. *Rolando Barrios*
FAUSAC
REVISIÓN

2.9 APÉNDICE

2.9.1 Cálculos de erosión hídrica

Cálculo de erosión/parcela: (Brea, J; Balocchi, F. 2010)

$$\begin{aligned} & \textbf{Erosión o sedimentación (mm)} \\ & = (\textit{lectura inicial cm} - \textit{lectura cm}) * 10 \end{aligned}$$

Para el cálculo de milímetros de suelo erosionado o sedimentado se utilizó el programa excel mediante las siguientes funciones.

Erosión bruta

$$= ABS((Suma.si(\frac{Erosión}{sedimentación}, "<0"))/CONTAR.SI.CONJUNTO((Erosión/sedimentación," < 0"$$

Sedimentación bruta

$$= ABS((Suma.si(\frac{Erosión}{sedimentación}, ">0"))/CONTAR.SI.CONJUNTO((Erosión/sedimentación," > 0"$$

Cálculo de movimiento de suelo y erosión neta en la parcela de clavos de erosión: (Brea, J; Balocchi, F. 2010)

Movimiento de suelo (mm)

$$= \textit{Erosión Bruta (mm)} + \textit{Sedimentación bruta (mm)}$$

Erosión neta (mm)

$$= \textit{Erosión bruta (mm)} - \textit{Sedimentación Bruta (mm)}$$

Erosión neta $\left(\frac{T}{ha}\right)$

$$= \textit{densidad aparente (T/m}^3\text{)} * \textit{erosión nets (mm)} / 1,000 * 10,000 \text{ m}^2 / 1 \text{ ha}$$

Cálculo de erosión neta mensual (T/ha): (Brea, J; Balocchi, F. 2010)

$$\begin{aligned} & \textit{Erosión media} \left(\frac{T}{ha} \right) \\ &= \frac{\sum \textit{Erosión mensual} \left(\frac{T}{ha} \right)}{\textit{No. parcelas}} \end{aligned}$$

Cálculo de tasa anual de erosión hídrica: (Brea, J; Balocchi, F. 2010)

$$\begin{aligned} & \textit{Erosión hídrica anual} \left(\frac{T}{ha} * \textit{año} \right) \\ &= \sum \textit{Erosión hídrica mensual} \left(\frac{T}{ha} * \textit{mes} \right) \end{aligned}$$

2.9.2 Cálculos de sedimentación de suelo

Cálculo de área de acequia: (Rodríguez, P. 2008)

$$\begin{aligned} & \textit{Área acequia trapezoidal} \\ &= \frac{1}{2} * ((\textit{Base 1 (m)} + \textit{Base 2(m)}) * \textit{Altura (m)}) \end{aligned}$$

Cálculo de volumen de acequia: (Rodríguez, P. 2008)

$$\begin{aligned} & \textit{Volumen m}^3 \\ &= \textit{área de acequia (m}^2\text{)} * \textit{largo (m)} \end{aligned}$$

Cálculo de toneladas de suelo erosionado:

$$\begin{aligned} & \textit{Suelo sedimentado(T)} \\ &= \textit{volumen de suelo sedimentado (m}^3\text{)} * \textit{densidad aparente (T/ m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Cálculo de suelo sedimentado por hectárea:

$$\textit{Sedimentación} \left(\frac{T}{ha} \right) = \frac{\textit{Suelo sedimentado (T)}}{\textit{Área total de captación (ha)}}$$

Cálculo de eficiencia de captación de acequia:

$$\begin{aligned} & \textit{Eficiencia de captación} (\%) \\ & = \frac{\text{captación de suelo} \left(\frac{T}{ha} \right)}{\textit{Erosión} \left(\frac{T}{ha} \right)} * 100 \end{aligned}$$

2.9.3 Cálculos de nutrientes en suelo sedimentado

Cálculo de fósforo en suelo sedimentado: (Piedrahita, O. 2012)

$$\begin{aligned} & \textit{Fósforo} (g) \\ & = \textit{fósforo} \left(ppm \text{ ó } \frac{g}{T} \right) * \textit{Suelo sedimentado} (T) \end{aligned}$$

Cálculo de pentaóxido de difósforo (P₂O₅): (Piedrahita, O. 2012)

Peso molecular P₂O₅= 141.9176 (u), peso molecular fósforo= 30.9738 (u)

$$\begin{aligned} & \textit{Contenido de P2O5} \\ & = \textit{fósforo} (g) * \frac{\textit{peso molecular P2O5}}{\textit{peso molecular P}} \end{aligned}$$

Cálculo de fosfato monoamónico (MAP 10-50-0):

$$\begin{aligned} & \textit{Fosfato monoamónico} \\ & = P2O5 (g) * \frac{100 g MAP}{50 g P2O5} \end{aligned}$$

Cálculo de fosfato monoamónico por hectárea:

$$\begin{aligned} & \textit{Fosfato monoamónico} \frac{kg}{ha} \\ & = \frac{\textit{Fosfato monoamónico total} (kg)}{\textit{Área neta de captación} (ha)} \end{aligned}$$

Cálculo de potasio de meq/100 g suelo a ppm: (Piedrahita, O. 2012)

Peso molecular potasio= 39.102 (u), valencia de potasio= 1+

$$\begin{aligned} & \text{potasio (ppm)} \\ & = \text{potasio} \left(\frac{\text{meq}}{100 \text{ g suelo}} \right) * \frac{\text{peso molecular}}{\text{valencia}} * 10 \end{aligned}$$

Cálculo de potasio en suelo sedimentado:

$$\begin{aligned} & \text{potasio (g)} \\ & = \text{potasio} \left(\text{ppm} \text{ ó } \frac{\text{g}}{\text{T}} \right) * \text{Suelo sedimentado (T)} \end{aligned}$$

Cálculo de (K₂O):

Peso molecular K₂O= (u), peso molecular potasio= 39.102 (u)

$$\begin{aligned} & \text{Contenido de K2O} \\ & = \text{potasio (g)} * \frac{\text{peso molecular K2O}}{\text{peso molecular K}} \end{aligned}$$

Cálculo de fertilizante 26-0-26 UP:

$$\begin{aligned} & \text{Fertilizante 26 - 0 - 26 up} \\ & = \text{K2O (g)} * \frac{100 \text{ g 26 - 0 - 26}}{26 \text{ g K2O}} \end{aligned}$$

Cálculo de 26-0-26 por hectárea:

$$\begin{aligned} & \text{Fertilizante 26 - 0 - 26 UP} \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \\ & = \frac{\text{Fertilizant 26 - 0 - 26 up total (kg)}}{\text{Área neta de captación (ha)}} \end{aligned}$$



CAPITULO III
SERVICIOS REALIZADOS EN ÁREA DE RIEGO Y DRENAJE REGIÓN VI, INGENIO
SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA.

3.1 PRESENTACIÓN

Los servicios ejecutados para el área de riego y drenaje se basaron en los resultados obtenidos en el diagnóstico, de acuerdo con la priorización realizada se evidencio la necesidad de implementar la evaluación de uniformidad de riegos en los distintos sistemas que se manejan y la evaluación de supervisión de riego en las siete regiones del ingenio.

En la región seis el sistema de riego por aspersión/gravedad cubre 619.65 ha, el sistema de aspersión tipo cañón cubre 756.56 ha, el sistema mecanizado de avance frontal cubre 664.96 ha y el sistema de inundación cubre 1,357.55 ha el cual es que presenta menor eficiencia de aplicación con mayor consumo de agua.

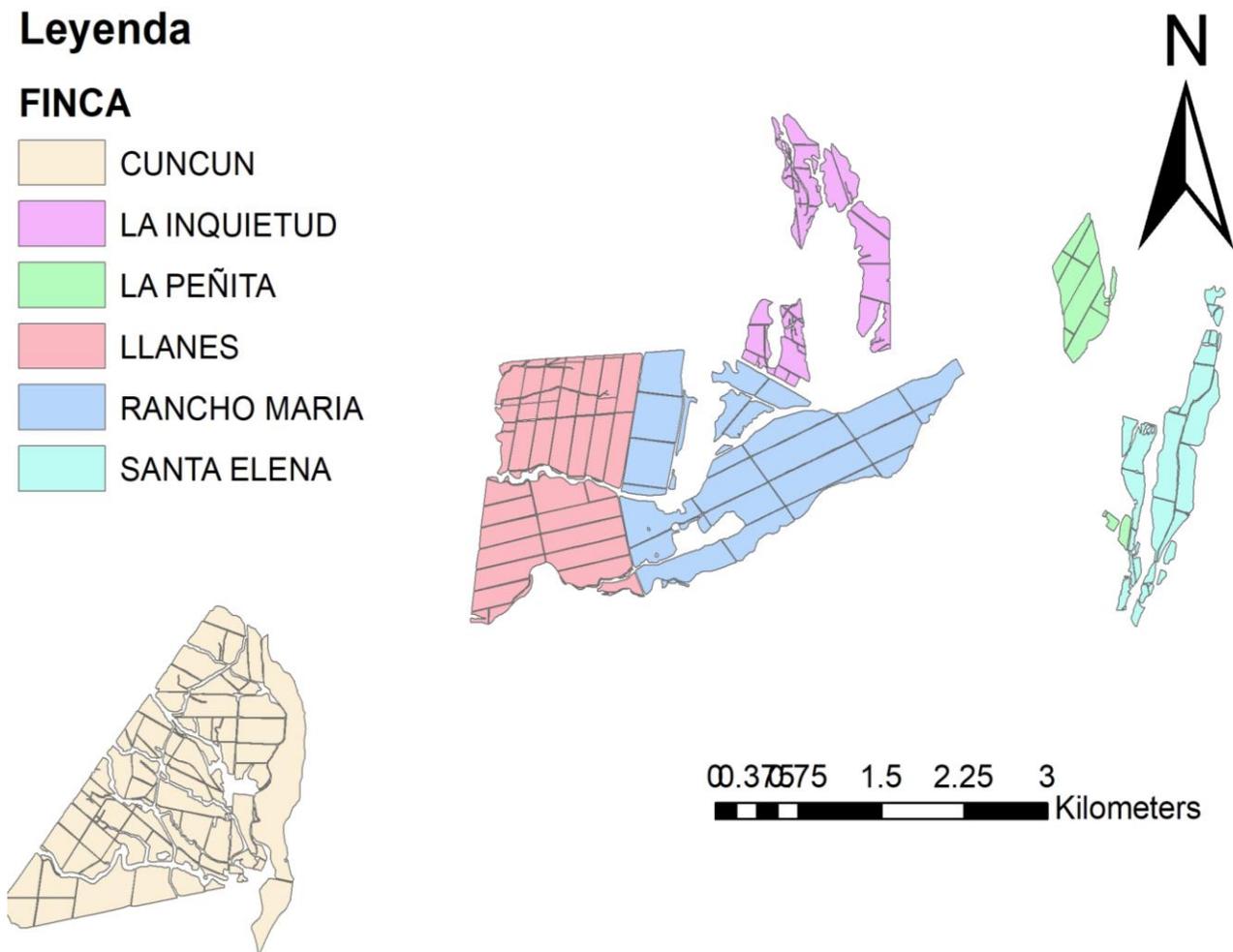
De acuerdo con las evaluaciones de uniformidad se aplica una lámina neta de 39 mm con marco de riego de 54 m * 54 m e intensidad de 19 mm/hr, con marco de riego de 45 m * 45 m se aplica una lámina de 66 mm con intensidad de riego de 33 mm/hr en ambos casos el tiempo de riego/turno es 2 hr. En riego por mini aspersión el marco de riego es 18 m* 12 m con lo cual la lámina aplicada es 28 mm con intensidad de riego de 3.49 mm/hr y tiempo de riego/turno de 8 hr. En ambos sistemas el coeficiente de uniformidad oscila entre 72 % a 81 %.

En el sistema de avance frontal la lámina promedio obtenida es 28 mm y coeficiente de uniformidad de 76 % a 83 % con velocidad porcentual real de 40 %. La supervisión de riego con la plataforma implementada tuvo una duración de 5 semanas en las cuales se obtuvo una calificación promedio a nivel de ingenio de 85 % y calidad técnica de riego promedio de 84 %.

3.2 ÁREA DE INFLUENCIA

El área de influencia en evaluación de uniformidad de riego se realizó en la región seis del ingenio Santa Ana en sistemas de riego de aspersión tipo cañón, sistema de mini-aspersión y sistema mecanizado de avance frontal.

El área de riego mediante el sistema de aspersión cañón es 1,086.5 ha distribuidos en las fincas que se presentan en la figura 38.

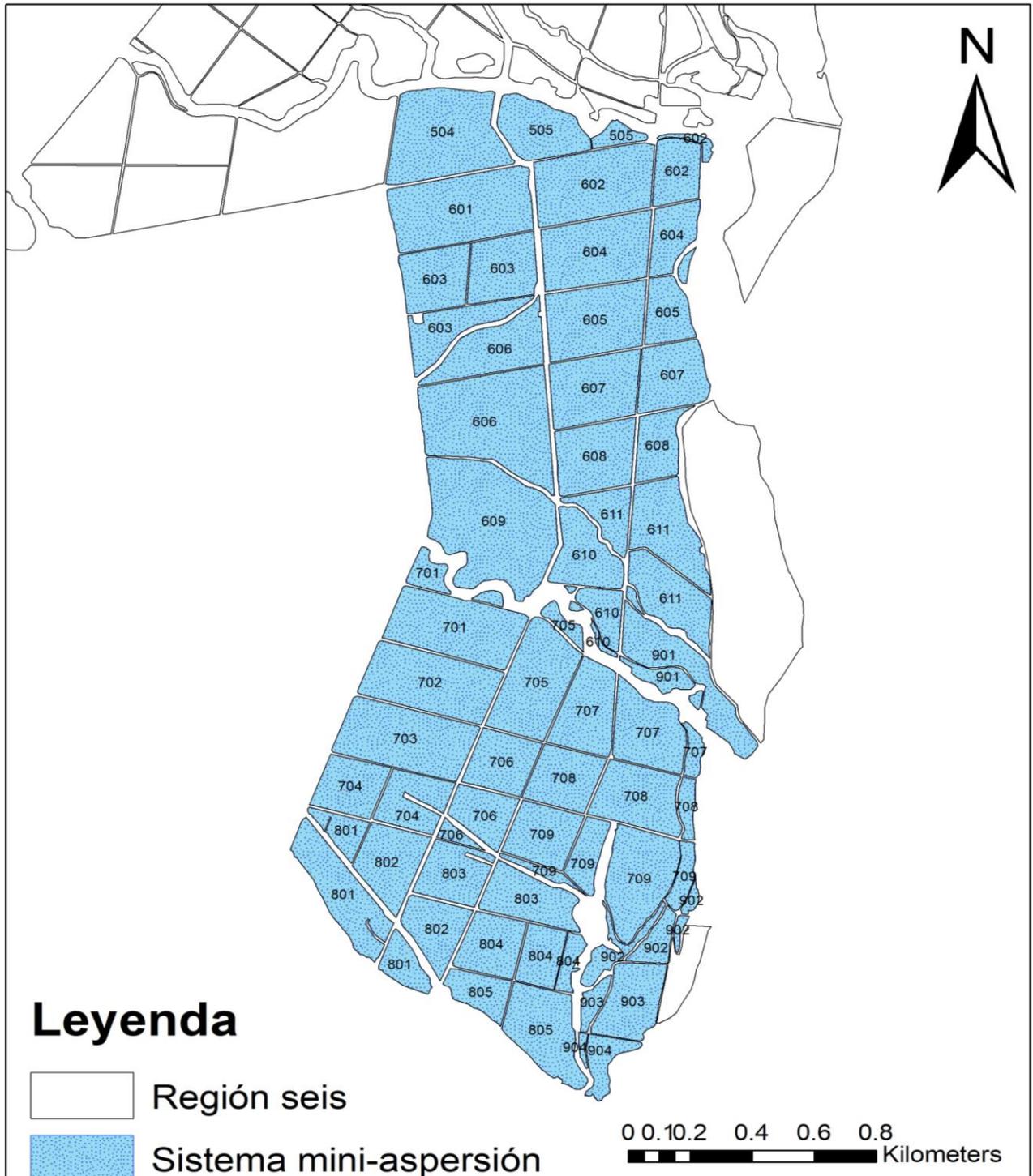


Sistema aspersión tipo cañón

Fuente. Elaboración propia.

FIGURA 38. ÁREA DE RIEGO CON SISTEMA DE ASPERSIÓN TIPO CAÑÓN.

El sistema de mini-aspersión cubre 301.1 ha en la finca Cuncun la cual tiene un total de 301.1 ha (figura 39).



Fuente. Elaboración propia.

FIGURA 39. ÁREA DE RIEGO CON SISTEMA DE MINI-ASPERSIÓN.

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 Objetivo general

- Apoyar al área de riego y drenaje del ingenio Santa Ana en la evaluación de uniformidad en sistemas de riego y supervisión de riego.

3.4 SERVICIOS PRESTADOS

3.4.1 Evaluación de uniformidad de riego en sistemas de riego aspersión tipo cañón, mini aspersión y avance frontal.

3.3.1.1. Definición de problema

En la zona cañera el agua es un recurso cada vez más escaso que obliga a manejarla con la mayor eficiencia posible dentro de las condicionantes económicas que la actividad del riego conlleva, la uniformidad de riego nos permite evaluar la lámina que se está aplicando al cultivo, cuando la lámina aplicada es menor que la requerida el cultivo sufre estrés hídrico que en la etapa de iniciación disminuye la población inicial del cultivo lo cual aumenta los costos de producción, al aplicar una lámina mayor a la requerida se aumenta el volumen de agua y puede influir en dejar de regar por la falta del recurso hídrico.

Con las evaluaciones de uniformidad a los distintos sistemas de riego se pretende determinar la lámina de agua aplicada con lo cual se pueden hacer cambios en el diseño de riego, para que la lámina aplicada sea similar a la lámina requerida del cultivo de caña.

3.3.1.2. Objetivos

- Determinar la lámina neta aplicada por evento de riego en sistemas de aspersión cañón, mini aspersión y avance frontal.
- Determinar el coeficiente de uniformidad por evento de riego en sistemas de aspersión cañón, mini aspersión y avance frontal.

3.3.1.3. Metodología

Sistemas de aspersión

La determinación de la uniformidad de distribución del agua se llevaron a cabo dos fases.

- A. Medición
- B. Análisis de datos

A. Medición

Selección del área.

Aspectos preliminares

- Frecuencia de riego.
- Marco de riego.
- Marca de aspersores.
- Altura de aspersor.
- Diámetro de boquillas.
- Horómetro inicial.
- Caudalímetro (volumen inicial).
- Diámetro de tubería principal y secundaria.
- Número de tubería principal y secundaria.
- Hora inicial de riego.
- Medición para el establecimiento de pluviómetros con uno o dos aspersores, la distancia entre pluviómetros fue 9 m debido a que esta longitud es igual a los tubos de aluminio por lo cual facilita la distribución de los pluviómetros en campo.
- Anotación del número de pluviómetros y diámetro.

En la figura 48, se presenta la distribución de pluviómetros para cuatro aspersores

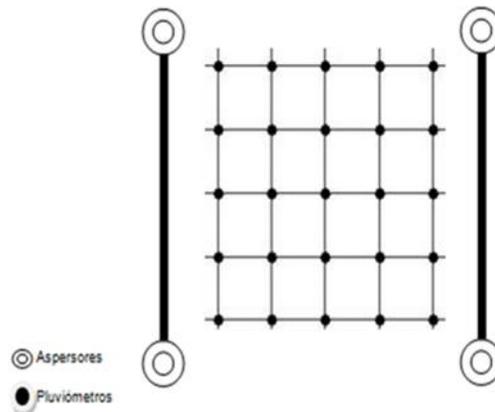


FIGURA 40. DISTRIBUCIÓN DE PLUVIÓMETROS PARA MARCO DE RIEGO 45 m* 45 m CON 4 ASPERSORES

La metodología de evaluación principal se basó en el traslape de los cuatros aspersores, en los siguientes casos el número de pluviómetros aumento para mantener dicho traslape.

Distribución de pluviómetros para dos aspersores.

La distancia entre el aspersor y el primer pluviómetro fue 4.5 m, luego se ubicó a 9 m entre pluviómetros formándose una cuadrícula (figura 49). Se colocó el total de 72 pluviómetros en marco de riego de 54 m* 54 m y 50 pluviómetros en marco de riego de 45 m* 45 m.

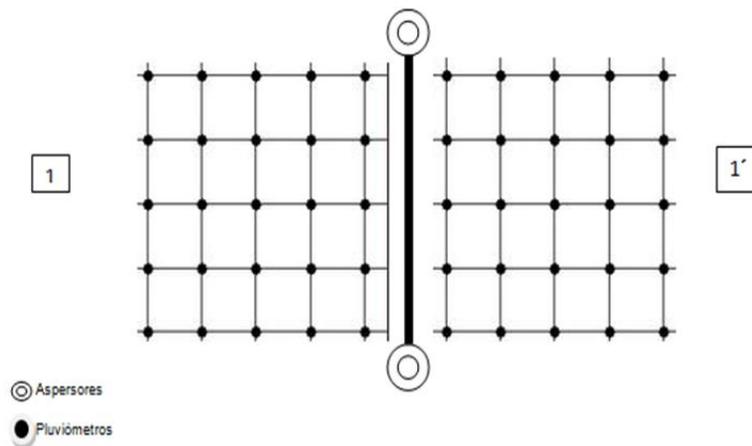


FIGURA 41. DISTRIBUCIÓN DE PLUVIÓMETROS PARA MARCO DE RIEGO 45 m* 45 m CON 2 ASPERSORES.

Distribución de pluviómetros para un aspersor.

El número de pluviómetros que se utilizó para la prueba de uniformidad de riego con un aspersor fue 144 pluviómetros en marco de riego de 54 m* 54 m y 100 pluviómetros en marco de 45 m* 45 m dicha distribución de los pluviómetros se presenta en la figura 50.

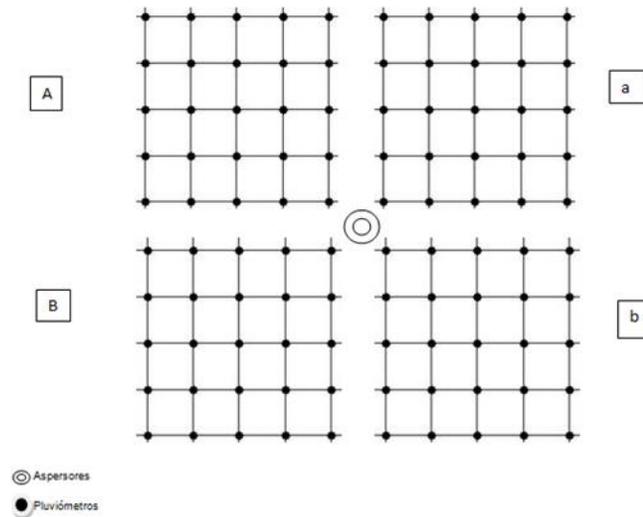


FIGURA 42. DISTRIBUCIÓN DE PLUVIÓMETROS PARA MARCO DE RIEGO CON 1 ASPERSOR.

En el caso de la prueba para un solo aspersor los resultados de 1 y 1' se obtuvieron de la siguiente suma:

$$1=A+a$$

$$1'=B+b$$

De esta manera se pudieron tabular los datos de volumen al formato de evaluación realizado.

Mediciones durante el riego

- Presión inicial y final de aspersores (psi) con el uso de manómetro.
- Revoluciones por minuto de la motobomba y presión de trabajo.
- Número de aspersores trabajando.
- Dirección y velocidad de viento (km/hr) cada 15 min.

- Tiempo de riego.

Mediciones al final de riego

- Horómetro final.
- Caudalímetro (volumen final)
- Hora final de riego
- Medición de pluviométrica, haciendo uso de una probeta graduada se obtuvo el volumen que recibió cada pluviómetro en el lapso de tiempo.

B. Análisis de datos

Determinación de láminas

La lámina aplicada se determinó en base al área del pluviómetro. Luego de medir el volumen recolectado en el pluviómetro en milímetros, se determinó la lámina de riego aplicada de la siguiente manera:

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

Dónde:

L= lamina (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.

Coeficiente de uniformidad Christiansen

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_1 - M|}{M \cdot n} \right)$$

Dónde:

X1= lámina recolectada en cada pluviómetro (mm)

n= número de pluviómetros
M= media de lámina de los pluviómetros.

Sistema mecanizado de avance frontal

En este sistema la determinación de la uniformidad de distribución del agua también consta de dos fases

- A. Medición
- B. Análisis de datos

A. Medición

Mediciones preliminares

- Medición del espaciamiento entre torre, a través de las huellas en el terreno, este dato es necesario para conocer la longitud del avance.
- Medición del establecimiento de pluviómetros, la distancia utilizada entre pluviómetros fue 5 m para obtener información precisa de la lámina aplicada.
- Se asignó un número de orden a la localización de cada pluviómetro partiendo inicio del avance.
- La distancia entre el inicio del avance y el primer pluviómetro fue de 15 m (figura 51).

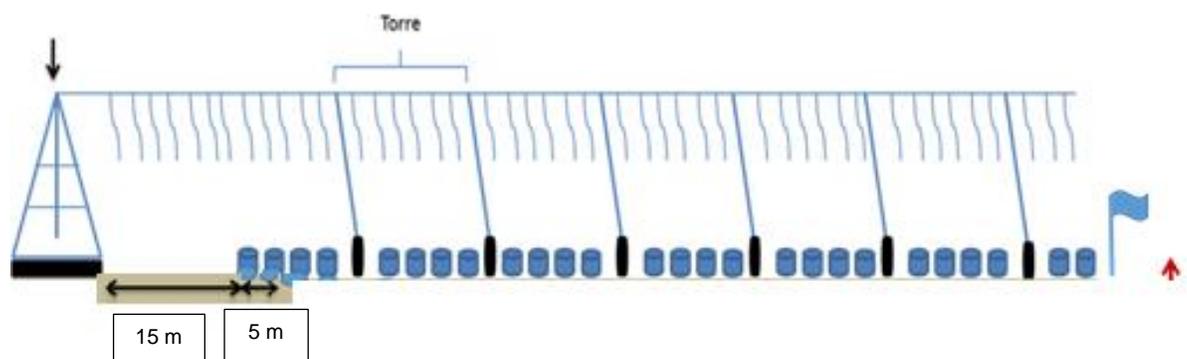


FIGURA 43. DISTRIBUCIÓN DE PLUVIÓMETROS EN AVANCE FRONTAL.

Mediciones durante el riego

- Medición de la velocidad del viento y dirección del viento cada 15 min.

- Prueba de velocidad del sistema (medición de la velocidad media registrada de la última torre), para lo cual se colocó una marca de inicio en el momento que se detiene la última torre, se midió 5 m y se realizó la segunda marca, se determinó el tiempo en el cual la torre se desplaza dicha distancia y se determina la velocidad en metros por minutos, este procedimiento se repite 6 veces.
- Prueba de velocidad porcentual de desplazamiento del sistema (medición de la velocidad media desplazamiento de la última torre), se tomó lectura del tiempo en reposo y movimiento de la torre, para determinar el porcentaje de tiempo que se desplaza.
- Mientras se realizó la prueba se colocó 1 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 de agua en los pluviómetros.

B. Análisis de información

Determinación de láminas

Para la determinación de la lámina se calculó el área del pluviómetro. 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= lamina (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. Se basa en una medición de pluviometría dentro de un área cubierta por aspersores.

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

Dónde:

CUh = coeficiente de uniformidad de Hermann y Hein, en %.

n = número de pluviómetros.

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

Di = superficie regada por el pluviómetro i.

3.4.2 Material y equipo

Para sistema de aspersión tipo cañón y miniaspersión.

Materiales

- 1 cinta métrica de 50 m.
- 1 cinta métrica de 3 m.
- Número de pluviómetros mínimo de 120, diámetro mayor de 25 cm.
- 2 probetas graduadas de 1 L.
- 1 anemómetro
- 1 Manómetro con tubo pitot acoplado

Para evaluación de sistema mecanizado de avance frontal.

Materiales

- Cinta métrica de 50 m.
- Número de pluviómetros 150, diámetro de 30 cm.
- Recipientes o bolsas de arroba para la medición de caudal.
- Cronómetro
- Probeta graduada de 1 L.
- Anemómetro
- Estacas de madera para prueba de velocidad
- Manómetro con tubo pitot acoplado.

3.4.3 Resultados

A. Evaluación de equipos de aspersión

Se evaluó dos equipos de riego de aspersión tipo cañón con categoría 294-0038 (cuadro 26) y 294-0185.

CUADRO 26. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 294-0038.

INFORMACIÓN GENERAL DE RIEGO		INFORMACIÓN TÉCNICA		DATOS DE ASPERSIÓN	
Frecuencia de riego:	10			Marca aspersor #1:	Nelson 150
Marco de riego:	6*6 (54x54)			Marca aspersor #2:	Nelson 150
No. De aspersores trabajando:	2			Diámetro boquilla Aspersor #1 (Plg):	1.2
MOTOBOMBA				Diámetro boquilla Aspersor #2 (Plg):	1.2
RPM:	1700			Presión inicial de aspersores (PSI):	60
Presión de Trabajo (PSI):	40			Presión final de aspersores (PSI):	45
TUBERÍA Y CONDUCCIÓN				Caudal Media Aspersor #1 (GPM):	322
Largo de conducción (m):	558			Caudal Media Aspersor #2 (GPM):	248
Largo de laterales (m):	189			Tiempo de riego (hr):	2
Distancia motobomba-aspersor (m):	747			Altura de porta aspersores (m):	1.5

La totalidad de los aspersores utilizados en sistema de riego por aspersión cañón son Nelson F-150 los cuales tienen un caudal de descarga de 12.89 Lps con presión mínima de trabajo de 50 psi lo cual representa un requerimiento en presión de descarga de la bomba centrífuga de 85-90 psi, durante la evaluación se observa la disminución de la presión de trabajo de los aspersores de 60 psi a 45 psi, trabajando bajo el límite inferior recomendado por el fabricante 50 psi.

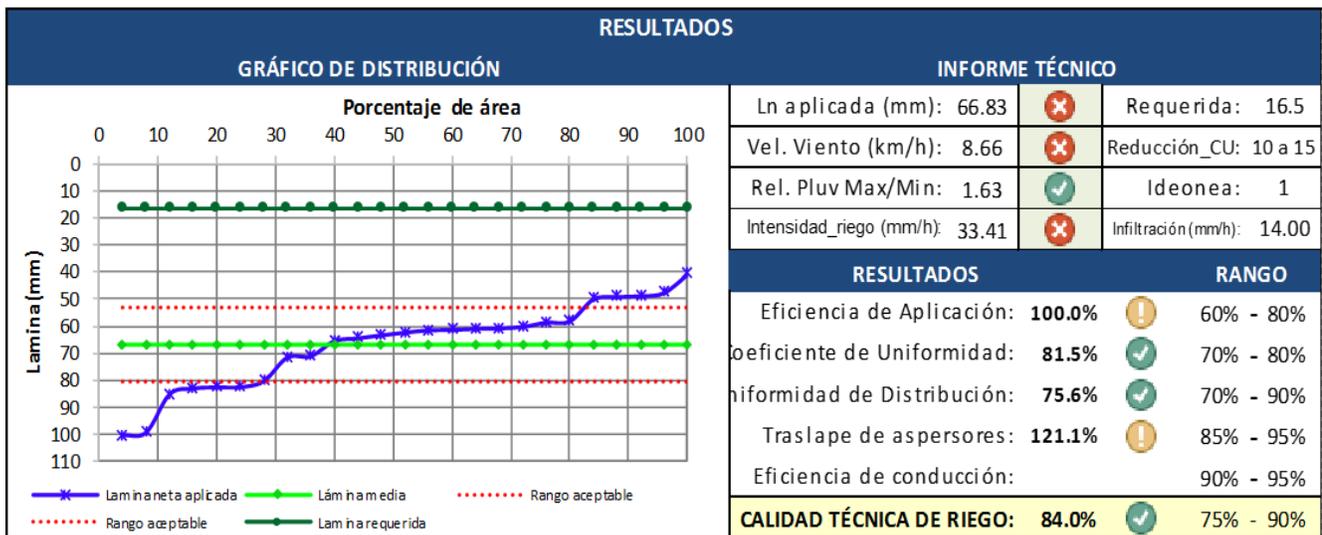
En el cuadro 27, se presenta la intensidad de riego de 19.57 mm/hr por lo cual la lámina aplicada durante la evaluación es 39.14 mm siendo mayor a la lámina de 28 mm requerida por el cultivo en etapa de iniciación con frecuencia de riego de 10 días.

CUADRO 29. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 294-0185.

INFORMACIÓN TÉCNICA			
INFORMACIÓN GENERAL DE RIEGO		DATOS DE ASPERSIÓN	
Frecuencia de riego:	10	✓	Marca aspersor #1: Nelson 150
Marco de riego:	5x5 (45x45)	✗	Marca aspersor #2: 0
No. De aspersores trabajando:	3	✓	Diámetro boquilla Aspersor #1 (Plg): 1.2
MOTOBOMBA		✓	Diámetro boquilla Aspersor #2 (Plg): 0
RPM:	1900	!	Presión inicial de aspersores (PSI): 56
Presión de Trabajo (PSI):	70	!	Presión final de aspersores (PSI): 56
TUBERÍA Y CONDUCCIÓN		✗	Caudal Media Aspersor #1 (GPM): 317
Largo de conducción (m):	72	✗	Caudal Media Aspersor #2 (GPM): 0
Largo de laterales (m):	162		Tiempo de riego (hr): 2
Distancia motobomba-aspersor (m):	234	✓	Altura de porta aspersores (m): 1.9

Durante la evaluación la presión de trabajo de los aspersores es óptima a diferencia de la evaluación de la motobomba 294-0038 debido a que la distancia de tubería de conducción es menor, en este caso la evaluación (cuadro 30) se realizó en base a un solo aspersor utilizando la metodología adecuando como se mencionó en los incisos anteriores.

CUADRO 30. EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 294-0185.



La intensidad de riego se determinó en 33 mm/hr por lo cual la lámina aplicada durante la evaluación es 67 mm siendo mayor a la lámina de 17 mm requerida por el cultivo en etapa

de iniciación con frecuencia de riego de 10 días, en este caso la gran diferencia entre la lámina aplicada y la requerida es debido a que la evaluación se realizó en el primer riego después de siembra por lo cual el objetivo es llegar el suelo a capacidad de campo (CC) a una profundidad de 50 cm a 60 cm. En el cuadro 31, se muestra el diagnóstico en base al resultado de la evaluación y las oportunidades de mejora.

CUADRO 31. OPORTUNIDADES DE MEJORA EN BASE AL DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO 294-0185.

DIASNÓSTICO	OPORTUNIDADES DE MEJORA
<p>El coeficiente de uniformidad de trabajo es 81.5 % estando dentro del rango adecuado, aunque el mismo fue afectado por la velocidad de viento mayor a 5 km/hr. La lámina aplicada es 66.8 mm siendo superior a la lámina requerida de 16.5 mm por lo cual el 100 % del área regada recibe la lámina necesaria, la evaluación se realizó después de siembra asegurando la germinación del cultivo desde el aspecto de riego, durante el tiempo de evaluación no se observaron fugas.</p>	<p>Debido a la alta lámina aplicada se debería implementar el monitoreo de profundidad de mojado con el objetivo de verificar si es posible aumentar la frecuencia de riego, la cual dará la oportunidad de regar más área siendo de beneficio debido a la falta de disponibilidad de agua en la finca.</p>

B. Comparación de evaluación de motobomba 294-0038 y 294-0185

En el cuadro 32, se presenta que en base a los aspectos evaluados es importante dar importancia al aumento de uniformidad de riego que se obtiene al disminuir marco de riego en este caso a marco de riego de 45 m* 45 m (5*5). Al igual la intensidad de riego aumentó lo cual permite junto con un control adecuado de riego disminuir el tiempo de riego por turno, con el objetivo de aplicar lámina de riego similar a la lámina requerida por el cultivo de acuerdo a la etapa fenológica.

CUADRO 32. COMPARACIÓN DE PRUEBAS DE UNIFORMIDAD.

294-0038		294-0185	
Intensidad de riego (mm/hr): 19.57		Intensidad de riego (mm/hr): 33.41	
Resultados		Resultados	
Eficiencia de aplicación:	88.2 %	Eficiencia de aplicación:	100.0 %
Coeficiente de uniformidad:	73.2 %	Coeficiente de uniformidad:	81.5 %
Uniformidad de distribución:	53.9 %	Uniformidad de distribución:	75.6 %
Traslape de aspersores:	90.8 %	Traslape de aspersores:	121.6 %
Calidad técnica de riego:	80.2 %	Calidad técnica de riego:	84.0 %

C. Evaluación de equipo de mini aspersión

En sistema de riego por mini aspersión se evaluó el equipo de riego categoría 360-0002 bajo las siguientes características de trabajo (cuadro 33).

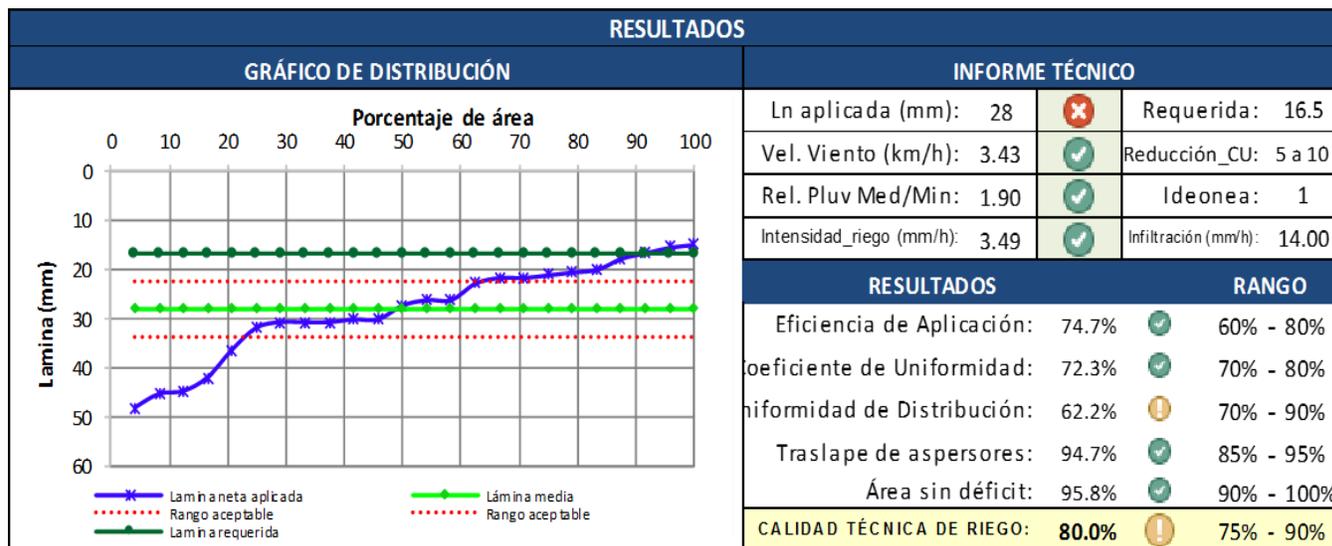
CUADRO 33. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 360-0002.

INFORMACIÓN TÉCNICA				
INFORMACIÓN GENERAL DE RIEGO			DATOS DE ASPERSIÓN	
Frecuencia de riego:	10		✓	Marca aspersor #1:
Tiempo de riego programado (hr):	8	✓	Marca aspersor #2:	Faber 305
Marco de riego:	12*18	!	Diámetro boquilla Aspersor #1 (Plg):	0.15625
No. De aspersores trabajando:	250	!	Diámetro boquilla Aspersor #2 (Plg):	0.15625
MOTOBOMBA		!	Presión inicial de aspersores (PSI):	44
RPM:	1450	!	Presión final de aspersores (PSI):	44
Presión de Trabajo (PSI):	67	!	Caudal Media Aspersor #1 (GPM):	4
TUBERÍA Y CONDUCCIÓN		✓	Caudal Media Aspersor #2 (GPM):	4
Distancia Hidrante - Ultimo aspersor (m):	75	✓	Tiempo de riego (hr):	1
			Altura de porta aspersores (m):	0.9

En cuanto a mini aspersión se utilizaron los aspersores Faber 305, los cuales tienen un caudal de descarga de 4 gpm a 44 psi de presión, para la evaluación de este sistema de

riego la evaluación tiene una duración de 1 hr (cuadro 34), para determinar la intensidad de riego en mm/hr y así proyectar la lámina neta aplicada en este caso para un total de 8 hr/turno de riego.

CUADRO 34. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 360-0002



La evaluación de la motobomba 360-0002 se realizó en la etapa de iniciación del cultivo para evitar la intercepción del área foliar en la captación del pluviómetro, para este equipo de riego la eficiencia de aplicación fue de 74.7 % y lámina neta aplicada de 28 mm lo que asegura el 96 % de área del cultivo sin déficit hídrico (cuadro 35).

CUADRO 35. DIAGNÓSTICO DE EVALUACIÓN EN CAMPO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EQUIPO 360-0002

DIASNÓSTICO	OPORTUNIDADES DE MEJORA
La lámina aplicada es 28 mm mayor a la lámina requerida de 16.5 mm con lo cual el 96 % del área no representa déficit hídrico, con traslape entre aspersores de 95 % el coeficiente de uniformidad es 72.3 % y uniformidad de distribución de 62.2 %. Bajo estas condiciones de operación la calidad técnica de riego es 80 %. La relación pluviométrica indica que con respecto a la lámina media se aplica 1.9 veces	El tiempo de riego recomendado después de siembra es 8 hr para aplicar una lámina de 28 mm, cuando el cultivo se encuentra a un mes de haber realizado la siembra el requerimiento hídrico es mayor por lo cual el tiempo de riego se debe aumentar a 10 hr aplicando una lámina de 35 mm tomando en cuenta una eficiencia de aplicación de 75 %. implementando estas

mayor volumen de agua que en el punto de menor pluviometría.	recomendaciones el área sin déficit hídrico será del 100 %.
--	---

En cuanto a la calidad de técnica de riego de 80 %, es el promedio ponderado de eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad, uniformidad de distribución, traslape de aspersores y área sin déficit.

D. Evaluación de equipos mecanizados

Evaluación de avance frontal 3267-0001

El avance fue evaluado en dos ocasiones, en la primera evaluación (cuadro 36) las características técnicas del equipo fueron las siguientes:

CUADRO 36. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 3267-0001

INFORMACIÓN GENERAL DE RIEGO	
Frecuencia de riego (días)	10
Velocidad (m/hr)	50.51
Área de riego (ha/hr)	2.2
INFORME TÉCNICO	
Lámina máxima (mm)	53.19
Lámina media (mm)	32.06
Lámina menor (mm)	6.37
Lámina 25 % menor (mm)	20.76
Velocidad porcentual real (%)	42
Lámina requerida (mm)	16.5
Velocidad de viento (km/hr)	8.8

Con velocidad de 50 m/hr y velocidad porcentual real de 42 %, el equipo aplica una lámina media de 32 mm (figura 52), siendo mayor a la lámina requerida por el cultivo de 17 mm con frecuencia de riego de 10 días.

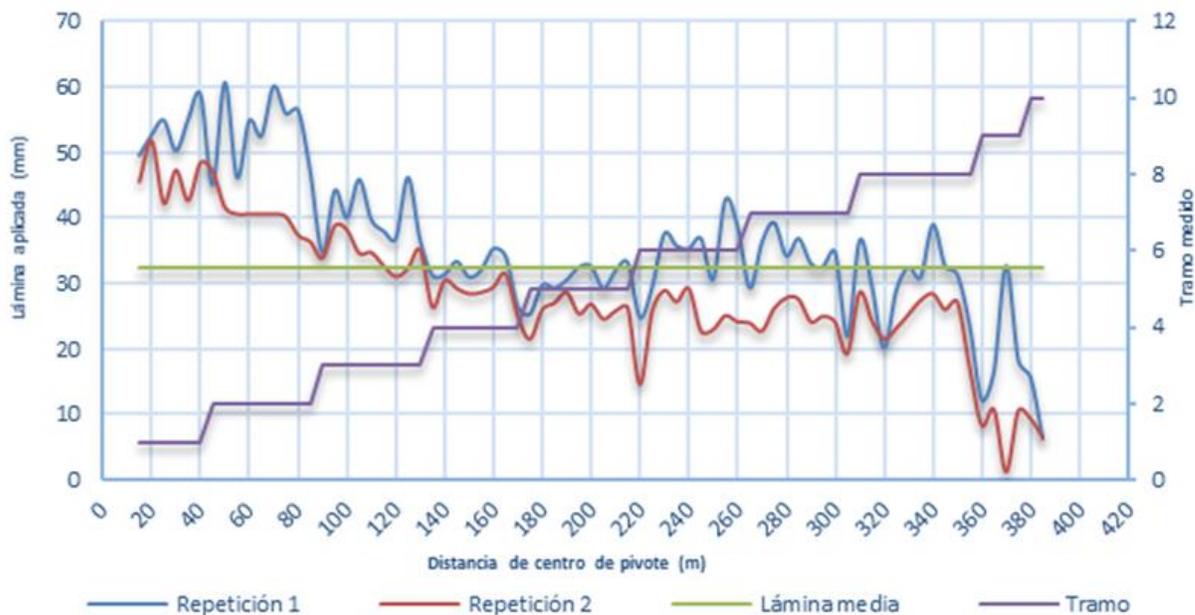


FIGURA 44. DISTRIBUCIÓN DE LA LÁMINA APLICADA DE RIEGO

Se observa una variación en la lámina aplicada a lo largo de las torres del pivote teniendo una lámina máxima de 53 mm y lámina mínima de 6.37 mm, teniendo un coeficiente de uniformidad 76 % como se muestra en el cuadro 37.

CUADRO 37. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 3267-0001

RESULTADOS	
Relación Vel. Programada/real	71.25 %
Coeficiente de uniformidad	76.53 %
Uniformidad de distribución	64.76 %
Coeficiente de programación	5.03
CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO	70.85 %

De acuerdo con los resultados obtenidos la calidad técnica de riego es 70.85 % para mejorar la calidad técnica de riego se recomiendan las siguientes oportunidades de mejora (cuadro 38).

CUADRO 38. DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EQUIPO 3267-0001.

DIAGNÓSTICO	OPORTUNIDADES DE MEJORA
<p>Con velocidad porcentual de 30 % el avance 3267-0001 tiene la capacidad de regar a una velocidad de 50.51 m/hr y debido al largo que tiene riega 2.2 ha de caña por hora. Bajo estas condiciones riega en promedio 32.06 mm de agua por evento de riego, que duplica la lámina de agua requerida de 16.5 mm basándose en una frecuencia de riego de 10 días, la lámina media es muy alta en comparación a la lámina requerida, el punto de menor pluviometría recibió 6.37 mm de agua y el mayor 53.79 mm, lo que implica que se regó en promedio 5 veces más que el punto de menor pluviometría cuando la relación máxima aceptable es de 1.2. En campo se observó que el aspensor tipo cañón instalado en el avance no cuenta con la paleta de distribución de agua, con la gráfica de distribución lámina se observó que en las primeras 2 torres la lámina de agua aplicada fue de 50 mm.</p>	<p>Dentro del área regada el 50 % se encuentra sobre la media de 32.06 mm, sin embargo el 97 % se encuentra sobre la lámina requerida, bajo estas condiciones la caña no presentará signos de estrés por deficiencia de agua, aunque existe un alto consumo de agua y combustible innecesario ocasionado por las altas intensidades de riego aplicadas por los aspersores de la torre 1 y 2; mejorando los caudales de los aspersores de estas torres, y el aspensor tipo cañón dañado será posible aumentar la velocidad porcentual del avance regando más área por hora, con una mayor uniformidad.</p>

Implementas las oportunidades de mejora se realizó la segunda evaluación del equipo, las características técnicas del equipo se muestran en el cuadro 39.

CUADRO 39. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 3267-0001

INFORMACIÓN GENERAL DE RIEGO	
Frecuencia de riego:	10
Velocidad (m/hr):	51.95
Área de riego(ha/hr):	2.2
INFORME TÉCNICO	
Lámina máxima (mm):	43.15
Lámina media (mm):	30.02
Lámina menor (mm):	12.87
Lámina 25 % menor (mm):	21.83
Velocidad Porcentual real:	40 %
Lamina requerida (mm):	27.5
Velocidad de viento (km/hr):	1.7

Con velocidad de 51.95 m/hr y velocidad porcentual real de 40 %, el equipo aplica una lámina media de 30 mm (figura 53) siendo mayor a la lámina requerida por el cultivo de 27.5 mm con frecuencia de riego de 10 días.

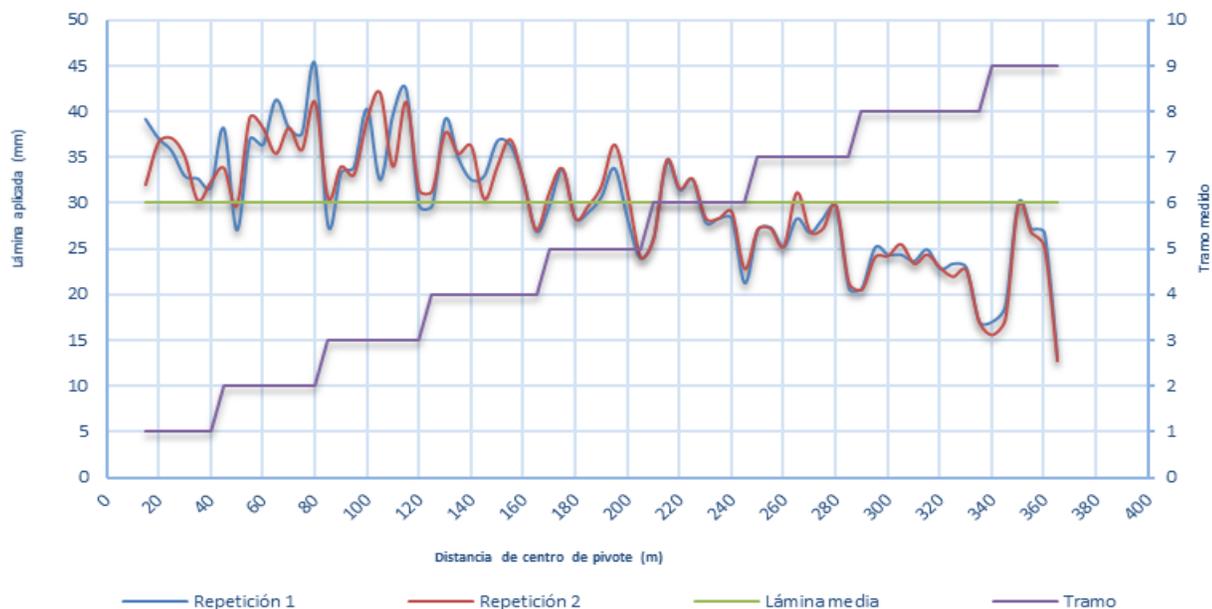


FIGURA 45. DISTRIBUCIÓN DE LA LÁMINA APLICADA DE RIEGO.

Se observa una variación en la lámina aplicada a lo largo de las torres del pivote teniendo una lámina máxima de 43 mm y lámina mínima de 13 mm, teniendo un coeficiente de uniformidad 83 % como se muestra en el cuadro 40.

CUADRO 40. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE CALIDAD DE EQUIPO 3267-0001.

RESULTADOS	
Relación velocidad programada/real:	74.08 %
Coefficiente de uniformidad:	83.10 %
Uniformidad de distribución:	72.69 %
Coefficiente de programación:	2.33
CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO	76.62 %

De acuerdo con los resultados obtenidos la calidad técnica de riego es 76.62 % para mejorar la calidad técnica de riego se recomiendan las siguientes oportunidades de mejora (cuadro 41).

CUADRO 41. DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA EL EQUIPO 3267-0001.

DIAGNÓSTICO	OPORTUNIDADES DE MEJORA
<p><i>Con velocidad porcentual programada de 30% el avance 3267-0001 tiene la capacidad de regar a una velocidad de 51.95 m/h, y debido al largo que tiene riega 2.2 ha de caña por hora. Bajo estas condiciones riega en promedio 30.02 mm de agua por evento de riego siendo mayor a la lámina requerida de 27.5 mm basándose en una frecuencia de riego de 10 días, la lámina media, aunque es mayor a la lámina requerida solo el 55 % del área regada no presenta estrés hídrico, el punto de menor pluviometría recibió 12.87 mm de agua y el mayor 43.15 mm, lo que implica que se regó en promedio 2 veces más que el punto de menor pluviometría cuando la relación máxima aceptable es de 1.2</i></p>	<p><i>La lámina aplicada disminuye desde la torre 5 por lo cual se debe realizar la inspección del número de boquilla de los aspersores para determinar el caudal de descarga, de ser necesario se debe estimar el número de boquilla que se debe utilizar desde la torre 5 para aumentar la lámina aplicada y el coeficiente de uniformidad.</i></p>

Evaluación de avance frontal 3267-0002

Las características técnicas del equipo se muestran en el cuadro 42.

CUADRO 42. INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO 3267-0002

INFORMACIÓN GENERAL DE RIEGO	
Frecuencia de riego (días)	10
Velocidad (m/hr)	52.36
Área de riego (ha/hr)	2.4
INFORME TÉCNICO	
Lámina máxima (mm)	28.15
Lámina media (mm)	21.11
Lámina menor (mm)	14.43
Lámina 25 % menor (mm)	17.49
Velocidad porcentual real (%)	40
Lámina requerida (mm)	27.5
Velocidad de viento (km/hr)	1.7

Con velocidad de 52.36 m/hr y velocidad porcentual real de 40 %, el equipo aplica una lámina media de 21 mm (figura 54) siendo menor a la lámina requerida por el cultivo en fase de macollamiento de 27 mm con frecuencia de riego de 10 días.

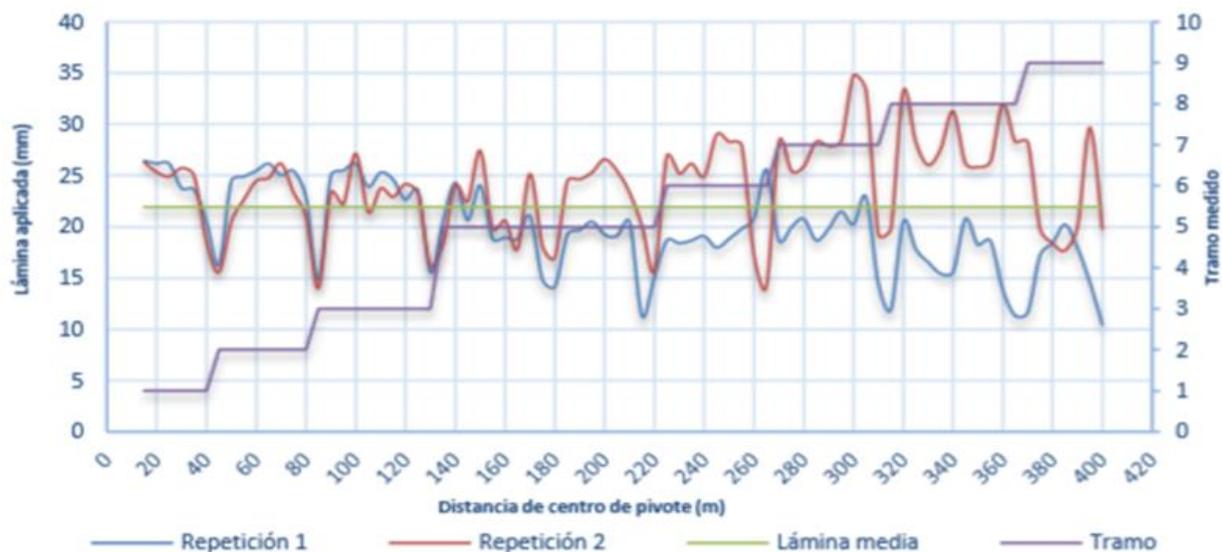


FIGURA 46. DISTRIBUCIÓN DE LÁMINA APLICADA DE RIEGO.

Se observa una variación en la lámina aplicada a lo largo de las torres del pivote teniendo una lámina máxima de 28 mm y lámina mínima de 14 mm, teniendo un coeficiente de uniformidad de 88 % como se muestra en el cuadro 43.

CUADRO 43. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD EQUIPO 3267-0002

RESULTADOS	
Relación Vel. Programada/real	74.08 %
Coeficiente de uniformidad	88.44 %
Uniformidad de distribución	82.83 %
Coeficiente de programación	1.46
CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO	81.78 %

De acuerdo con los resultados obtenidos la calidad técnica de riego es 81.78 % para mejorar la calidad técnica de riego se recomiendan las siguientes oportunidades de mejora (cuadro 44).

CUADRO 44. DIAGNÓSTICO Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EQUIPO 3267-0002

DIASNÓSTICO	OPORTUNIDADES DE MEJORA
<p>En las condiciones actuales del avance 3267-0002 aplica una lámina de 21.1 mm la cual es menor a la lámina requerida de 27.5 mm, por lo cual el cultivo estará bajo estrés hídrico en 90 % del área regada con una frecuencia de riego de 10 días, el punto de menor pluviometría recibió una lámina de 14.4 mm y el punto de máxima pluviometría es 28.1 mm con lo cual se rego 1.5 veces más que en el punto de mayor pluviometría cuando la relación máxima aceptable es 1.2 se observaron fugas en la manguera que transporta agua al aspersor komet, además la velocidad porcentual real es 40 % mayor a la velocidad programada de 30 %</p>	<p>Debido a que la lámina media aplicada es menor a la lámina requerida por el cultivo, se recomienda disminuir la velocidad porcentual programada. En cuanto a la fuga mencionada en el diagnostico ya fue reparada en el transcurso de la semana solo se debe mantener el monitoreo debido a que por este tipo de problemas el coeficiente de uniformidad del avance disminuye 2 % y aumenta el consumo de agua. Además, durante la inspección de calidad se identificaron 7 aspersores los cuales no tienen regulador de presión por lo cual es necesario instalarlos.</p>

3.4.4 Supervisión de riego del ingenio Santa Ana en base al área de riego semanal.

3.3.1.4. Definición de problemas

El ingenio no cuenta con una plataforma de análisis que le permita mantener una evaluación en cuanto al área de riego semanal por región, por lo cual no conoce el área de riego que debe cumplir cada equipo en base al sistema de riego y la meta promedio de área de riego, consumo promedio de combustible por hora.

Además, no realiza evaluaciones de calidad a los sistemas de riego por aspersión y mecanizado por lo cual no se tiene datos sobre el funcionamiento de los quipos que les permita implementar mejoras como el gestionar la reparación de tubería con fugas, reparación de aspersores, compra de accesorios. Este aspecto es importante en cuanto a la supervisión de riego.

3.3.1.5. Objetivos

- Generar informe de supervisión de riego en cumplimiento de área semanal del ingenio Santa Ana.
- Evaluar la calidad de riego en sistemas de riego aspersión tipo cañón y mecanizado de avance frontal.

3.3.1.6. Metodología

Informe de evaluación de riego semanal se elaboró con la siguiente información. Se llenó una hoja de inscripción.

- Ingreso de información en libro de Excel en el cual se creó las siguientes hojas Inscripción, metas, calidad de riego, hoja de data, mayordomo 1, mayordomo 2, región, el número de hojas de mayordomos vario por región.
- En la hoja de inscripción se realizó el ingreso los datos de mayordomos, caporales y los equipos que supervisan, este paso se realizó para cada una de las regiones.

Así mismo se llevó una hoja donde se definieron las metas de sistemas de riego, con la siguiente información.

- Se determinó los marcos de riego en sistemas de aspersión tipo cañón y mini aspersión.
- Conteo de número de aspersores operando por motobomba.
- Consulta de hoja técnica de avances y pivotes para el dato de área de riego por hora.

En cuanto a sistemas de aspersión tipo cañón para el cálculo de área por día con tiempo de riego de 2 hr se realizó con la siguiente formula:

$$A(\text{ha/día}) = \frac{(\text{Dist Asp}(m) * \text{Dist Lat}(m) * \text{No. asp})}{10,000} * 8.5 \text{ turnos}$$

Dónde:

A= Área ha/día

Dist Asp= distancia entre aspersores (m)

Dist Lat= distancia entre laterales (m)

No. asp= número de aspersores operando.

En cuanto a sistemas de mini aspersión el cálculo de área por día con tiempo de riego de 11 hr se realizó con la siguiente formula:

$$A(\text{ha/día}) = \frac{(\text{Dist Asp}(m) * \text{Dist Lat}(m) * \text{No. asp})}{10,000} * 1.54 \text{ turnos}$$

Dónde:

A= área ha/día

Dist Asp= distancia entre aspersores (m)

Dist Lat= distancia entre laterales (m)

No. asp= número de aspersores operando.

En cuanto a sistemas de avance frontal el cálculo de área por día se realizó con la siguiente ecuación.

$$A(\text{ha/día})= A(\text{ha/hr}) * 17 \text{ hr}$$

Dónde:

A= área ha/día

A (ha/hr): Área de riego por hora del avance

Hoja de Data

- La hoja de data se introdujo los datos de área de riego por día y semanal de cada equipo de riego por región.
- En base al consumo promedio se determinó el cumplimiento de rendimiento de combustible (gal/hr) de cada equipo de riego.
- Se ingresaron los resultados de cumplimiento de calidad de riego en base a la evaluación semanal de los equipos de riego.
- Se ingresaron horas de trabajo semanal de cada equipo de riego registradas en las boletas de riego reportadas por cada región.
- Los datos de esta hoja se actualizaron de forma semanal, gran parte de los datos que se utilizaron fueron obtenidos de la base de datos del ingenio.

Hojas de mayordomos

- En esta hoja se presentó la evaluación de 6 aspectos de supervisión de riego para los cuales los datos para calcularlos se obtuvieron de la hoja data, los aspectos evaluados son cumplimiento de rendimiento (ha/día), cumplimiento de rendimiento combustible (gal/día), cumplimiento de programación semanal (ha), cumplimiento de

calidad técnica de riego (%), cumplimiento de utilización semanal (hr laboradas/día), cumplimiento de ha/hr (%).

- Cumplimiento de rendimiento (ha/día) el resultado se presentó en porcentaje del área de la meta de riego que se estableció para cada equipo de riego y el área de riego diario.
- Cumplimiento de rendimiento combustible (gal/día) el resultado se presentó en porcentaje, se evaluó el consumo de combustible de equipo por hora con respecto al promedio que se tiene registrado en zafras anteriores.
- Cumplimiento de programación semanal (ha) el resultado se presentó en porcentaje, se evaluó el acumulado semanal de meta de área de riego por equipo y el obtenido en cada semana.
- Cumplimiento de calidad técnica de riego (%), la meta base de calidad de riego se estableció en 75 % y la nota semanal por equipo fue reportada por los gestores de riego.
- Cumplimiento de utilización semanal (hr laboradas/día) el resultado se presentó en porcentaje, la meta base de horas laboradas se estableció en 17 hr ya que se estima un tiempo perdido diario de 7 hr, el cual se genera en cambio de turnos de riego, traslado de tubería, fallas mecánicas del equipo y velocidad de viento mayor a 15 km/hr ya que en este caso es necesario detener el riego.
- Cumplimiento de ha/hr (%) es la relación de la meta diaria/17 hr por el área regada diaria/17 hr.

Hoja de región e ingenio

- Se realizó el resumen y promedio de los resultados obtenidos por cada mayordomo con lo cual se obtuvo la nota semanal de riego por región.
- Se realizó el resumen y promedio de los resultados obtenidos por cada región con lo cual se obtuvo la nota semanal de supervisión de riego del Ingenio.

Evaluación de calidad de riego (hoja de cumplimiento de calidad de riego)

Descripción de distribución de tuberías y accesorios

Cuando se inició turno de riego se realizó un recorrido por la tubería de conducción en la cual se verifico los siguientes aspectos:

- Diseño acorde.
- Caudal compartido.
- En los aspersores uno se aleja y otro se acerca al punto de bombeo.
- La instalación de la tubería no tiene que presentar quiebres.
- Ordenamiento de la tubería y accesorios distribuidos en campo.
- Fugas

Determinación las presiones de operación de aspersores y motobomba

La presión de trabajo de la motobomba se inspecciono en el tablero de control o bien en el manómetro de salida que se encuentra en la bomba centrifuga, el rango de presión ideal es 80 psi a 100 psi.

En el caso de la presión de los aspersores con el uso de manómetro con tubo pitot se introdujo en el chorro del aspersor y se tomó la lectura de la presión en psi, el rango de presión fue el siguiente:

- Aspersor Nelson F 150: 50 psi a 65 psi
- Aspersor Twin Komet 101: 30 psi a 65 psi
- Aspersor Mariner: 45 psi a 70 psi

Con los datos de presión de obtenidos se debe determinar el diámetro de mojado y caudal de los aspersores.

3.3.1.7. Resultados

Supervisión de riego

En el cuadro 45, se muestra el resumen de la nota semanal a nivel de ingenio de la semana 1.

CUADRO 45. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 1.

RESUMEN DE NOTA SEMANA 1			
VARIABLE EVALUADA	REAL	META	CUMP
Cumplimiento rendimiento ha/día	776.10	1,055.28	74 %
Cumplimiento rendimiento combustible (gal/hr)	2.82	2.82	100 %
Cumplimiento rendimiento semanal (ha)	5,076.43	7,386.93	69 %
Cumplimiento calidad Técnica de Riego (%)	81.01	75.00	100 %
Cumplimiento utilización semanal (hr)	15.90	17.00	94 %
Cumplimiento de ha/hr	0.30	0.35	86 %
NOTA SEMANAL INGENIO	87.0 %		

En el cuadro 46, se muestra el resumen de la nota semanal a nivel de ingenio de la semana 2, en la cual se presenta una reducción 0.5 % con respecto a la semana 1.

CUADRO 46. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 2.

RESUMEN DE NOTA SEMANA 2			
VARIABLE EVALUADA	REAL	META	CUMP
Cumplimiento rendimiento ha/día	743.81	1,037.28	72 %
Cumplimiento rendimiento combustible (gal/hr)	2.86	2.82	98 %
Cumplimiento rendimiento semanal (ha)	4,938.25	7,260.93	68 %
Cumplimiento calidad técnica de riego (%)	84.81	75.00	100 %
Cumplimiento utilización semanal (hr)	16.38	17.00	96 %
Cumplimiento de ha/hr	0.30	0.35	84 %
NOTA SEMANAL INGENIO	86.5 %		

En el cuadro 47, se muestra el resumen de la nota semanal a nivel de ingenio de la semana 3, en la cual se presenta una reducción de 3.6 % con respecto a la semana 2.

CUADRO 47. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 3.

RESUMEN DE NOTA SEMANA 3			
VARIABLE EVALUADA	REAL	META	CUMP
Cumplimiento rendimiento ha/día	808.81	1,191.66	68 %
Cumplimiento rendimiento combustible (gal/hr)	2.72	2.83	100 %
Cumplimiento rendimiento semanal (ha)	4,758.71	8,341.59	57 %
Cumplimiento calidad técnica de riego (%)	90.76	75.00	100 %
Cumplimiento utilización semanal (hr)	16.03	17.00	94 %
Cumplimiento de ha/hr	0.31	0.40	78 %
NOTA SEMANAL INGENIO	82.9 %		

La semana 3 es la que presenta menor porcentaje de cumplimiento en los aspectos evaluados.

En el cuadro 48, se muestra el resumen de la nota semanal a nivel de ingenio de la semana 4, en la cual se presenta un aumento de 3.4 % con respecto a la semana 3.

CUADRO 48. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 4.

RESUMEN DE NOTA SEMANA 4			
VARIABLE EVALUADA	REAL	META	CUMP
Cumplimiento rendimiento ha/día	804.28	1,129.06	71 %
Cumplimiento rendimiento combustible (gal/hr)	2.78	2.83	100 %
Cumplimiento rendimiento semanal (ha)	4,777.48	7,903.44	60 %
Cumplimiento calidad técnica de riego (%)	76.96	75.00	100 %
Cumplimiento utilización semanal (hr)	15.29	17.00	90 %
Cumplimiento de ha/hr	0.43	0.44	96 %
NOTA SEMANAL INGENIO	86.3 %		

En el cuadro 49, se muestra el resumen de la nota semanal a nivel de ingenio de la semana 5, en la cual se presenta una reducción de 2.9 % con respecto a la semana 4.

La disminución de cumplimiento de área de riego en la semana 5 se debe a la reducción de riego en la región seis por el inicio de las lluvias lo que representó una disminución en cumplimiento de riego del 10 %.

CUADRO 49. RESUMEN DE SUPERVISIÓN DE RIEGO DE LA SEMANA 5.

RESUMEN DE NOTA SEMANA 5			
VARIABLE EVALUADA	REAL	META	CUMP
Cumplimiento rendimiento ha/día	735.20	1,196.48	61 %
Cumplimiento rendimiento combustible (gal/hr)	2.85	2.80	98 %
Cumplimiento rendimiento semanal (ha)	4,745.12	8,375.38	57 %
Cumplimiento calidad técnica de riego (%)	87.23	75.00	100 %
Cumplimiento utilización semanal (hr)	14.33	17.00	84 %
Cumplimiento de ha/hr	0.46	0.46	100 %
NOTA SEMANAL INGENIO	83.4 %		

En el cuadro 50, se presenta la meta de área de riego propuesta para las regiones del ingenio Santa Ana.

CUADRO 50. TOTAL, DE ÁREA REGADA A NIVEL INGENIO.

Semana de supervisión	Área regada (ha)	Meta de área de riego (ha)
1	4,849.63	7,860.26
2	4,686.77	7,260.93
3	4,520.97	8,341.59
4	4,490.03	8,108.32
5	4,473.87	8,207.66
Total (ha)	23,021.3	39,778.8

Durante las 5 semanas evaluadas la meta total de riego fue 39,778.8 ha de las cuales fue posible aplicar riego a 23,021.3 ha representado el 57.87 % en cumplimiento de rendimiento de área con riego. En el cuadro 51, se presenta la meta de riego establecida para la región uno, la cual fue 4,743.3 ha de las cuales fue posible aplicar riego a 2,894.3 ha representado el 61 % en cumplimiento de riego.

CUADRO 51. TOTAL, ÁREA REGADA REGIÓN UNO.

Semana de supervisión	Área de riego (ha)	Meta de área de riego (ha)
1	615.61	942.48
2	572.60	942.48
3	592.98	942.48
4	603.91	957.91
5	509.24	957.91
Total (ha)	2,894.3	4,743.3

En el cuadro 52, se presenta la meta de riego establecida para la región dos, la cual fue 3,016.3 ha de las cuales fue posible aplicar riego a 1570.7 ha representado el 52 % en cumplimiento de riego

CUADRO 52. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN DOS.

Semana de supervisión	Área de riego (ha)	Meta de área de riego (ha)
1	328.61	603.26
2	357.57	603.26
3	292.14	603.26
4	284.06	603.26
5	308.31	603.26
Total (ha)	1,570.7	3,016.3

En el cuadro 53, se presenta la meta de riego establecida para la región tres de 11,169.5 ha de las cuales fue posible aplicar riego a 6,184.3 ha representado el 55 % en cumplimiento de riego.

CUADRO 53. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN TRES.

Semana de supervisión	Área de riego (ha)	Meta de área de riego (ha)
1	1339.16	2369.01
2	1207.79	2159.01
3	1217.39	2268.91
4	1198.57	2103.67
5	1221.38	2268.91
Total (ha)	6,184.3	11,169.5

En el cuadro 54, se presenta la meta de riego establecida para la región cuatro de 2,987 ha de las cuales fue posible aplicar riego a 2,003.8 ha representado el 67 % en cumplimiento de riego.

CUADRO 54. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN CUATRO.

Semana de supervisión	Área de riego (ha)	Meta de área de riego (ha)
1	374.41	604.35
2	452.72	604.35
3	385.21	604.35
4	377.40	569.65
5	414.07	604.35
Total (ha)	2,003.8	2,987.0

En el cuadro 55, se presenta la meta de riego establecida para la región cinco de 8,407.1 ha de las cuales fue posible aplicar riego a 5,296.3 ha representado el 63 % en cumplimiento de riego.

CUADRO 55. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN CINCO.

Semana de supervisión	Área de riego (ha)	Meta de área de riego (ha)
1	1,013.24	1,806.86
2	1,086.90	1,183.16
3	1,096.54	1,806.86
4	1,086.27	1,803.36
5	1,013.36	1,806.86
Total (ha)	5,296.3	8,407.1

En el cuadro 56, se presenta la meta de riego establecida para la región seis de 3,502 ha de las cuales fue posible aplicar riego a 2,016.7 ha representado el 58 % en cumplimiento de riego.

CUADRO 56. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN SEIS.

Semana de supervisión	Área de riego (ha)	Meta de área de riego (ha)
1	559.32	695.77
2	485.43	846.14
3	452.73	846.14
4	353.58	609.02
5	165.68	504.92
Total (ha)	2,016.7	3,502.0

En el cuadro 57, se presenta la meta de riego establecida para la región siete de 5,953.6 ha de las cuales fue posible aplicar riego a 3,055.1 ha representado el 51 % en cumplimiento de riego.

CUADRO 57. TOTAL, DE ÁREA REGADA REGIÓN SIETE.

Semana de supervisión	Área de riego (ha)	Meta de área de riego (ha)
1	619.28	838.53
2	523.76	922.53
3	483.98	1,269.59
4	586.24	1,461.46
5	841.83	1,461.46
Total (ha)	3,055.1	5,953.6

Evaluación de calidad de riego

La calidad técnica de riego se evaluó durante 5 semanas obteniendo los siguientes resultados.

CUADRO 58. RESULTADO DE EVALUACIÓN DE CALIDAD.

Variable evaluada	Puntuación	Meta
CTR Semana 1	81 %	75 %
CTR Semana 2	85 %	75 %
CTR Semana 3	91 %	75 %
CTR Semana 4	77 %	75 %
CTR Semana 5	87 %	75 %

La disminución en el porcentaje de calidad de riego se debió principalmente a dos aspectos la presencia de basura en el área de bombeo y un gran número de fugas en la tubería de conducción en sistema de aspersión tipo cañón.

En cuanto a sistemas de riego mecanizado la disminución en el porcentaje de calidad se debe principalmente al mal funcionamiento del aspensor tipo cañón ubicado en la última torre ya que el giro del aspensor debe ser de 180°, además se observó en varias ocasiones que el distribuidor del aspensor no funciona aplicando una lámina alta en poca área del cultivo.



FIGURA 47. INSPECCIÓN DE CALIDAD EN AVANCE FRONTAL, INSPECCIÓN DE BOQUILLAS.