

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN SEMICOMERCIAL DEL MOMENTO DE APLICACIÓN DE UN RIEGO
PRECORTE EN EL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR DEL CULTIVO
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*), POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE
MADURANTE, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA
S. A., ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

FREDY GENARO MARROQUIN PÉREZ

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

**TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN EVALUACIÓN SEMICOMERCIAL DEL
MOMENTO DE APLICACIÓN DE UN RIEGO PRECORTE EN EL RENDIMIENTO Y
PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum
spp*), POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE MADURANTE, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS
EN GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA S. A., ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

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

POR

FREDY GENARO MARROQUIN PÉREZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Ing. M. Sc. Murphy Olympos Paíz Recinos

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

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

Guatemala, noviembre 2019

Guatemala, noviembre 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: **“EVALUACIÓN SEMICOMERCIAL DEL MOMENTO DE APLICACIÓN DE UN RIEGO PRECORTE EN EL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*), POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE MADURANTE, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA S. A., ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.”** como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, 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. _____

Fredy Genaro Marroquin Pérez

ACTO QUE DEDICO

A:

- Dios** Por bendecirme en todo momento de mi vida para lograr el triunfo que hoy se celebra, ya que sin su intervención esto no sería posible.
- Mis padres** Por la maravillosa crianza recibida, el extraordinario esfuerzo realizado para sostener mi educación y por el apoyo que me han brindado en todo momento de la vida sin importar la situación.
- Mis hermanos** Por el apoyo brindado en los momentos de necesidad.
- Mis sobrinas** Para que este logro les sirva de ejemplo de superación y perseverancia.
- Mi novia** Por brindarme su apoyo en mis actividades y decisiones. Así también por motivarme para alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTOS

A:

- Dios** Por no desampararme durante mis estudios y brindarme lo necesario para poder completarlos.
- Mis padres** Porque con su amor, ejemplo de superación y perseverancia he sido formado para luchar por el cumplimiento de mis sueños y metas.
- Mis hermanos** Por ser un apoyo como familia.
- Mis sobrinas** Por recordarme que sin importar la situación se debe ayudar sin esperar recompensa alguna.
- Mi novia** Por estar a mi lado dándome el apoyo y motivación para alcanzar esta meta.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser mi casa de estudios superiores.
- Facultad de Agronomía** Por ser la unidad académica donde he podido formar mis conocimientos.
- Mis profesores** Por haber compartido el conocimiento necesario en el desarrollo de mis estudios y ser de guía para culminar los mismos.

| | |
|------------------------------------|---|
| Mis asesores | Por guiarme en la culminación de este proceso brindándome las herramientas necesarias y con la buena voluntad que caracteriza a un buen profesional |
| Compañeros de estudio | Porque fuimos de apoyo unos con otros en la persecución de esta meta. |
| Grupo Corporativo Santa Ana | Por ser la entidad que me permitió la realización del ejercicio profesional supervisado sin complicación alguna. |
| Compañeros de trabajo | Porque hemos logrado desenvolvernos en el ámbito laboral sin necesidad de opacar a los demás. |

“Estoy agradecido con todos los que me dijeron ¡no!, gracias a ellos lo hice yo mismo”.

A. Einstein.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMEN | xv |
| | |
| CAPÍTULO I | |
| DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE RIEGOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C. A. ... | 1 |
| 1.1 PRESENTACIÓN | 3 |
| 1.2 OBJETIVOS | 4 |
| 1.2.1 Objetivo general | 4 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.3 METODOLOGÍA..... | 5 |
| 1.3.1 Cuantificación de las fuentes de agua y su disponibilidad..... | 5 |
| 1.3.2 Determinación de los diferentes sistemas de riego | 5 |
| 1.3.3 Descripción del estado en que se encuentran los equipos de riego..... | 5 |
| 1.3.4 Identificación de la problemática en el área de riegos..... | 5 |
| 1.3.5 Jerarquización de la problemática..... | 6 |
| 1.4 RESULTADOS | 7 |
| 1.4.1 Ubicación..... | 7 |
| 1.4.2 Vías de acceso..... | 7 |
| 1.4.3 Extensión..... | 7 |
| 1.4.4 Estructura organizacional | 8 |

| | Página |
|---|---------------|
| 1.4.4.1 Gerencia general | 9 |
| 1.4.4.2 División de recursos humanos | 9 |
| 1.4.4.3 División administrativa | 9 |
| 1.4.4.4 División industrial | 9 |
| 1.4.4.5 División de informática | 9 |
| 1.4.4.6 División financiera | 9 |
| 1.4.4.7 División agrícola y servicios | 10 |
| 1.4.5 Fuentes de agua | 11 |
| 1.4.5.1 Ríos | 11 |
| 1.4.5.2 Pozos y pocetas | 12 |
| 1.4.6 Sistemas de riego utilizados | 14 |
| 1.4.6.1 Sistemas de riego por región administrada | 16 |
| 1.4.7 Estado actual del equipo utilizado en riego | 17 |
| 1.4.8 Problemática | 28 |
| 1.4.9 Jerarquía de problemas | 29 |
| 1.5 CONCLUSIONES | 31 |
| 1.6 BIBLIOGRAFÍA | 32 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| EVALUACIÓN SEMICOMERCIAL DEL MOMENTO DE APLICACIÓN DE UN RIEGO PRECORTE EN EL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum spp</i>), POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE MADURANTE, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A..... | 33 |
| 2.1 PRESENTACIÓN | 35 |
| 2.2 MARCO TEÓRICO..... | 37 |
| 2.2.1 Marco conceptual | 37 |
| 2.2.1.1 Importancia de la caña de azúcar | 37 |
| 2.2.1.2 Fenología de la caña de azúcar | 37 |
| 2.2.1.3 Variedad CP72-2086..... | 38 |
| 2.2.1.4 Riego en la caña de azúcar..... | 40 |
| 2.2.1.5 El riego en el incremento del rendimiento de la caña de azúcar | 41 |
| 2.2.1.6 El riego precorte y su importancia..... | 43 |
| 2.2.1.7 Capilaridad en el suelo..... | 44 |
| 2.2.1.8 Sistema de riego por aspersion tipo cañón | 45 |
| 2.2.1.9 Uniformidad de riego | 45 |
| 2.2.1.10 Coeficiente de uniformidad de riego..... | 45 |
| 2.2.1.11 Madurantes en el cultivo de caña de azúcar | 49 |
| 2.2.1.12 Factores que afectan la respuesta de la planta al madurante..... | 49 |

| | Página |
|---|---------------|
| 2.2.1.13 Efectos de los madurantes en la producción | 52 |
| 2.2.2 Marco referencial | 53 |
| 2.2.2.1 Ubicación | 53 |
| 2.2.2.2 Extensión | 54 |
| 2.2.2.3 Sistemas de riego utilizados | 54 |
| 2.2.2.4 Variedad de caña de azúcar utilizada | 55 |
| 2.2.2.5 Localidades de investigación | 55 |
| 2.3 OBJETIVOS | 58 |
| 2.3.1 Objetivo general | 58 |
| 2.3.2 Objetivos específicos | 58 |
| 2.4 HIPÓTESIS | 58 |
| 2.5 METODOLOGÍA | 59 |
| 2.5.1 Tratamientos y distribuciones | 59 |
| 2.5.1.1 Tratamiento uno (1) | 59 |
| 2.5.1.2 Tratamiento dos (2)..... | 60 |
| 2.5.1.3 Tratamiento tres (3) | 60 |
| 2.5.1.4 Tratamiento cuatro (4) | 60 |
| 2.5.2 Diseño experimental | 60 |
| 2.5.2.1 Unidad experimental | 60 |

| | |
|---|----|
| 2.5.2.2 Sistema de riego empleado..... | 61 |
| 2.5.2.3 Arreglo espacial | 62 |
| 2.5.2.4 Variables de respuesta..... | 63 |
| 2.5.3 Manejo de la investigación | 64 |
| 2.5.3.1 Selección de lotes | 64 |
| 2.5.3.2 Caracterización de suelos | 65 |
| 2.5.3.3 Evaluación técnica para la calidad de riego | 66 |
| 2.5.3.4 Monitoreo de la precipitación pluvial | 69 |
| 2.5.3.5 Monitoreo de los valores de evapotranspiración | 69 |
| 2.5.3.6 Cosecha del área de investigación..... | 70 |
| 2.5.4 Análisis de información..... | 71 |
| 2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 73 |
| 2.6.1 Caracterización de suelos | 74 |
| 2.6.2 Uniformidad de riego | 77 |
| 2.6.3 Registro de evapotranspiración..... | 83 |
| 2.6.4 Registro de lluvias | 84 |
| 2.6.5 Relación lámina de riego y evapotranspiración | 86 |
| 2.6.6 Influencia debida a la implementación de un riego pre corte en el largo de entrenudos, diámetro de tallo, altura de planta y población | 87 |

| | Página |
|---|---------------|
| 2.6.6.1 Largo de entre nudos..... | 88 |
| 2.6.6.2 Altura de planta..... | 89 |
| 2.6.6.3 Diámetro de tallo y población..... | 91 |
| 2.6.6.4 Detección del nivel freático | 92 |
| 2.6.7 Rendimiento de caña (T/ha) y productividad de azúcar (T/ha) | 92 |
| 2.6.8 Análisis financiero | 97 |
| 2.7 CONCLUSIONES | 99 |
| 2.8 RECOMENDACIONES | 100 |
| 2.9 BIBLIOGRAFÍA | 101 |
| 2.10 ANEXOS | 107 |
| CAPÍTULO III | |
| SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA S.A., ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A. | 121 |
| 3.1 PRESENTACIÓN..... | 123 |
| 3.2 ÁREA DE INFLUENCIA | 124 |
| 3.3 OBJETIVO GENERAL | 124 |
| 3.4 SERVICIO PRESTADOS..... | 125 |
| 3.4.1 Monitoreo de la humedad en el suelo con base en el programa CENGIRIEGOS .. | 125 |
| 3.4.1.1 Definición del problema | 125 |
| 3.4.1.2 Objetivos específicos | 125 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.1.3 Metodología | 126 |
| 3.4.1.4 Material y equipo | 129 |
| 3.4.1.5 Evaluación..... | 129 |
| 3.4.1.6 Constancias | 133 |
| 3.4.2 Diseño y establecimiento de la red geodésica para el Grupo Corporativo Santa Ana | 135 |
| 3.4.2.1 Definición del problema..... | 135 |
| 3.4.2.2 Objetivos específicos | 135 |
| 3.4.2.3 Metodología | 136 |
| 3.4.2.4 Material y equipo | 138 |
| 3.4.2.5 Evaluación..... | 138 |
| 3.4.2.6 Constancias | 140 |
| 3.5 BIBLIOGRAFÍA | 142 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| Figura 1. Estructura organizacional en Grupo Corporativo Santa Ana | 8 |
| Figura 2. Organización administrativa, Departamento de Ingeniería Agrícola | 10 |
| Figura 3. Sistemas de riego y porcentaje de cobertura por región administrada | 16 |
| Figura 4. Árbol de problema para el inventario de equipos de riego desactualizado | 28 |
| Figura 5. Árbol de problema para el registro discontinuo de caudales | 29 |
| Figura 6. Crecimiento en la actividad del riego en la zona cañera de Guatemala | 41 |
| Figura 7. Priorización de la programación del riego según estrato altitudinal | 42 |
| Figura 8. Esquema de distribución del agua en sistemas de riego por aspersión en campo | 48 |
| Figura 9. Ubicación Grupo Corporativo Santa Ana | 53 |
| Figura 10. Esquema general de las unidades experimentales a manejar durante el desarrollo de la investigación | 61 |
| Figura 11. Croquis de campo para investigación riego precorte | 62 |
| Figura 12. Formato de tarjeta para identificación de muestras de suelo..... | 66 |
| Figura 13. Distribución de recipientes en prueba de uniformidad | 68 |
| Figura 14. Distribución de lámina de riego por aspersión en marco de evaluacion de 45 m * 45 m en etapa de maduración | 82 |
| Figura 15. Relación lluvia – Eto para primera localidad (La Liganta 02) | 85 |
| Figura 16. Relación lluvia – Eto para segunda localidad (Cuernavaca 03)..... | 85 |

| | |
|---|-----|
| Figura 17. Relación lluvia – Eto para tercera y cuarta localidad (Portuaria 13 y 15) | 86 |
| Figura 18A. Diseño básico de sistema de riego y distribución de tratamientos implementado en primera localidad..... | 112 |
| Figura 19A. Diseño básico de sistema de riego y distribución de tratamientos implementado en segunda localidad | 113 |
| Figura 20A. Diseño básico de sistema de riego y distribución de tratamientos implementado en tercer localidad..... | 114 |
| Figura 21A. Diseño básico de sistema de riego y distribución de tratamientos implementado en cuarta localidad | 115 |
| Figura 22A. Ficha técnica motor John Deere 4045T | 116 |
| Figura 23A. Ficha técnica bomba cornell 4HH | 117 |
| Figura 24A. Hoja de registro electrónica para evaluación de riego | 118 |
| Figura 25A. Red de pluviómetros en Grupo Corporativo Santa Ana | 119 |
| Figura 26. Registro de lotes en programa CENGIRIEGOS | 126 |
| Figura 27. Comparación entre el estado de humedad del suelo entre el manejo dado y el recomendado | 127 |
| Figura 28. Resumen de la evapotranspiración generada en el cultivo | 128 |
| Figura 29. Resumen del manejo hídrico en el cultivo | 129 |
| Figura 30. Contenido de humedad en suelo región uno (1) | 130 |
| Figura 31. Contenido de humedad en suelo, región dos (2) | 131 |
| Figura 32. Contenido de humedad en suelo, región tres (3) | 131 |

| | Página |
|--|---------------|
| Figura 33. Contenido de humedad en suelo, región cuatro (4)..... | 132 |
| Figura 34. Contenido de humedad en suelo, región cinco (5)..... | 132 |
| Figura 35. Contenido de humedad en suelo, región seis (6)..... | 133 |
| Figura 36. Identificación de punto de referencia | 138 |
| Figura 37. Red geodésica desarrollada en Grupo Corporativo Santa Ana, zafra 2016/2017 | 140 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Página |
|--|---------------|
| Cuadro 1. Parámetros de calificación para priorización y jerarquía de problemas..... | 6 |
| Cuadro 2. Extensión del área productiva en Grupo Corporativo Santa Ana, distribuida en sus regiones administrativas | 8 |
| Cuadro 3. Caudal promedio en los ríos de influencia a Grupo Corporativo Santa Ana, desde el 01 de abril 2005 hasta el 30 de abril 2016 | 11 |
| Cuadro 4. Distribución de pozos en Grupo Corporativo Santa Ana | 12 |
| Cuadro 5. Distribución de pocetas por fincas en Grupo Corporativo Santa Ana..... | 13 |
| Cuadro 6. Resumen del número de pocetas por región en Grupo Corporativo Santa Ana..... | 14 |
| Cuadro 7. Área cubierta por los sistemas de riego implementados en fincas del Grupo Corporativo Santa Ana | 15 |
| Cuadro 8. Estado actual de la maquinaria empleada para riego categorizada como equipo de aspersión y caudaleras | 18 |
| Cuadro 9. Resumen de la cantidad y tipo de equipos para riego disponibles por región clasificados como aspersión y caudaleras | 26 |
| Cuadro 10. Distribución del equipo categorizado como Pivotes, Avances y de Gas en Grupo Corporativo Santa Ana | 27 |
| Cuadro 11. Grado de importancia para los problemas detectados | 30 |
| Cuadro 12. Etapas fenológicas de la caña de azúcar | 38 |
| Cuadro 13. Calificación de los coeficientes de uniformidad de riego | 47 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 14. Extensión del área productiva en Grupo Corporativo Santa Ana distribuida en sus respectivas regiones | 54 |
| Cuadro 15 Descripción de los tratamientos para investigación en riego precorte..... | 59 |
| Cuadro 16. Largo promedio de parcelas por localidad | 63 |
| Cuadro 17. Detalle de las localidades de investigación riego precorte 2016/2017 | 65 |
| Cuadro 18. Fecha de corte en localidades de investigación | 73 |
| Cuadro 19. Perfil se duelo en localidades de investigación | 74 |
| Cuadro 20. Resultados del análisis físico de suelo..... | 75 |
| Cuadro 21. Láminas de agua de acuerdo al suelo de cada localidad de investigación | 76 |
| Cuadro 22. Resultados de la evaluación de calidad de riego | 78 |
| Cuadro 23. Resumen de las evaluaciones de uniformidad de riego realizadas por tratamiento..... | 80 |
| Cuadro 24. Evapotranspiración de referencia registrada por localidad desde el momento de riego hasta la cosecha | 83 |
| Cuadro 25. Registro de precipitación durante investigación | 84 |
| Cuadro 26. Valores de K obtenidos por la aplicación de un riego precorte | 87 |
| Cuadro 27. Respuesta del cultivo en el largo de entrenudos por la aplicación de un riego precorte..... | 88 |
| Cuadro 28. Resumen del incremento promedio del largo de entrenudos por la aplicación de un riego precorte | 89 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 29. Respuesta del cultivo en la altura de planta por la aplicación de un riego precorte | 90 |
| Cuadro 30. Resumen del incremento promedio en altura de planta por la aplicación de un riego precorte | 91 |
| Cuadro 31. Valores promedio para rendimiento de caña y productividad de azúcar obtenidos por la implementación de un riego precorte en relación a la no aplicación de riego | 92 |
| Cuadro 32. Análisis de varianza para la variable rendimiento de caña (T/ha) | 93 |
| Cuadro 33. Prueba de medias de Tuckey para la variable rendimiento de caña (T/ha) | 94 |
| Cuadro 34. Análisis de varianza para la variable productividad de azúcar (T/ha) | 95 |
| Cuadro 35. Prueba de medias de Tuckey para la variable productividad de azúcar (T/ha) | 95 |
| Cuadro 36. Relación del incremento promedio de caña en T/ha por lámina de agua aplicada (mm)..... | 96 |
| Cuadro 37. Utilidades parciales promedio en una hectárea obtenidas por aplicación de un riego precorte en relación a la no aplicación de riego | 98 |
| Cuadro 38A. Eto de referencia mensual | 107 |
| Cuadro 39A. Costos de operacion segun activo 17 - 18 | 107 |
| Cuadro 40A. Parámetros asociados al costo de operación de un sistema de riego por aspersión..... | 108 |
| Cuadro 41A. Ficha técnica aspensor komet twin 101 plus..... | 109 |

Cuadro 42A. Rendimiento de caña (T/ha) y productividad de azúcar (T/ha) obtenidos en cada localidad..... 110

Cuadro 43A. Detalle de cálculo para utilidades parciales en una hectárea, obtenidas por la aplicación de un riego precorte en relación a la no aplicación de riego..... 111

Cuadro 44. Detalle de la condición de humedad en campo reportada por software CENGIRIEGOS..... 134

Cuadro 45. Bancos de marca ubicados región 1, Grupo Corporativo Santa Ana, zafra 2016/2017 141

EVALUACIÓN SEMICOMERCIAL DEL MOMENTO DE APLICACIÓN DE UN RIEGO PRECORTE EN EL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*), POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE MADURANTE, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA S. A., ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

Este documento constituye un informe de las actividades que fueron realizadas durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) requerido por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mismo que fue realizado en el Grupo Corporativo Santa Ana. El trabajo está comprendido por tres capítulos: I) diagnóstico realizado en el área de riegos perteneciente al Departamento de Ingeniería Agrícola, II) investigación titulada: “Evaluación semicomercial del momento de aplicación de un riego precorte en el rendimiento y productividad de azúcar del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*) posterior a la aplicación de madurante” y III) servicios profesionales prestados a la institución antes mencionada.

El Capítulo I, está enfocado en el diagnóstico del Departamento de Ingeniería Agrícola. En este departamento se efectuó una caracterización que permitió diagnosticar específicamente el área de riegos. Dentro de los principales resultados obtenidos se tuvo que las principales fuentes de agua de acceso libre que dispone la empresa son producto de los ríos Acomé, Achiguate, María Linda, Los Esclavos y Guacalate. Así también existen estructuras que permiten la extracción de agua subterránea y el almacenamiento de agua superficial y subsuperficial. Dentro de estos se encuentran siete pozos mecánicos y ochenta y tres pocetas o norias.

Los sistemas de riego que se manejan dentro de la empresa son 10, siendo el de mayor uso la aspersion tipo cañón (59.34 %) y el de menor uso por infiltración (< 1 %). El diagnóstico realizado permitió conocer el estado de los equipos de riego utilizados, encontrando que hacían falta equipos de todos los registrados en la base de datos de la empresa.

Los principales problemas detectados durante el diagnóstico del área de riegos fueron: 1) inventario de equipos de riego desactualizado y 2) registro discontinuo de caudales.

El Capítulo II, describe la investigación realizada en la evaluación semicomercial del momento de aplicación de un riego precorte en el rendimiento y productividad de azúcar del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*) posterior a la aplicación de madurante. La cual tuvo como objetivo general determinar el efecto sobre la producción de caña y azúcar en la variedad CP72-2086 a causa de la aplicación de un riego precorte.

Dicha investigación consistió en evaluar tres momentos de aplicación de un solo riego precorte y comparar los efectos que este tuvo en el cultivo en relación a la no aplicación de este riego. Esto se realizó en siembras tipo plantía (0 cortes), que fueron cosechadas en el tercer tercio (marzo – abril) de la época de zafra, específicamente entre la última semana de marzo y las dos primeras semanas de abril 2016. Se utilizó un sistema de riego por aspersión tipo cañón, con lo que se determinó la productividad de azúcar (T/ha) y el rendimiento de caña (T/ha).

Los resultados obtenidos indicaron que si existió una respuesta positiva del cultivo por la aplicación de este tipo de riego, principalmente cuando se aplicó entre 30 días y 40 días precorte. El tratamiento que mejor respuesta presentó en cuanto a rendimiento de caña en T/ha, productividad de azúcar en T/ha, y utilidades parciales fue cuando se aplicó riego faltando 30 días para el corte. En este momento de aplicación se presentó un incremento promedio de caña de 37.76 T/ha, azúcar 0.9 T/ha, y una utilidad parcial de Q. 1,970.44/ha a Q. 2,997.1/ha respecto a no aplicar ningún riego precorte.

En el Capítulo III, se presenta un informe de los servicios brindados a la empresa. Describiéndose los dos que mayor impacto tuvieron en la empresa, siendo estos 1) monitoreo de la humedad en el suelo con base en el programa CENGIRIEGOS y 2) diseño y establecimiento de la red geodésica para el Grupo Corporativo Santa Ana.



CAPÍTULO I
DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE RIEGOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA, GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C. A.

1.1 PRESENTACIÓN

El Grupo Corporativo Santa Ana está ubicado en la Finca Cerritos, en el kilómetro 65, hacia el sur de la ciudad de Guatemala. Es una empresa enfocada en la producción y comercialización de la caña de azúcar y otros subproductos como: energía eléctrica, melaza, torta de cachaza, entre otros (Santa Ana, 2013).

Como es habitual, en cualquier proceso de inversión a una nueva institución se hace necesario la realización de un diagnóstico sobre aspectos productivos, administrativos y hasta culturales de la empresa donde se pretende realizar las labores. Guatemala ocupa el quinto puesto en exportación de azúcar. Siendo una de las industrias más tecnificadas y estudiadas de todo el país (Paz, 2010). Logrando así colocarse como una de las industrias más innovadoras y tecnológicas a nivel nacional.

Para lograr una producción competitiva en el mercado, el Grupo Corporativo Santa Ana está conformado por seis divisiones, las cuales son: agrícola y servicios, industrial, recursos humanos, financiera, informática y administrativa. (Santa Ana, 2013).

El Departamento de Ingeniería Agrícola se encuentra dentro de la división agrícola y servicios, la cual tiene por objetivo velar por la infraestructura civil, el riego, el drenaje y el diseño agrícola de las fincas. A su vez, se divide en tres áreas de trabajo: ingeniería civil, riego, y diseño agrícola y topografía.

El desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado - EPS requerido por la Facultad de Agronomía en la Universidad de San Carlos de Guatemala se llevó a cabo dentro de la "división agrícola y servicios", específicamente en el Departamento de Ingeniería Agrícola. En este departamento se efectuó una investigación inicial que permitió diagnosticar específicamente el área de riegos, mismo que dio a conocer y comprender su estructura y funcionamiento, así como los puntos en los cuales existen algunas deficiencias de funcionalidad.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Diagnosticar los sistemas de riego utilizados y el quipo existente con la finalidad de evaluar el estado actual del equipo de riego

1.2.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar las fuentes de agua y su disponibilidad.
2. Determinar los diferentes sistemas de riego utilizados.
3. Describir el estado actual del equipo utilizado en riego.
4. Identificar la problemática.
5. Jerarquizar la problemática.

1.3 METODOLOGÍA

El diagnóstico se realizó en el “Departamento de Ingeniería Agrícola”, y los elementos considerados en este estudio fueron los relacionados directamente con el área de riego, por lo que la información técnica que en este documento se encuentre ha sido tomada de los registros pertenecientes al Grupo Corporativo Santa Ana.

Los procesos seguidos en la realización del diagnóstico y que están acorde a los objetivos planteados son detallados en los siguientes incisos:

1.3.1 Cuantificación de las fuentes de agua y su disponibilidad

Se efectuó mediante la búsqueda en los registros geográficos de la zona y consultando la base de datos propia del Grupo Corporativo Santa Ana para poder realizar la ubicación de una forma más exacta y precisa mediante los programas Google Earth y/o ArcGis.

1.3.2 Determinación de los diferentes sistemas de riego

Se procedió inicialmente con una entrevista dirigida hacia el Jefe del Departamento de Ingeniería Agrícola, quien fue la fuente primaria en la obtención de la información requerida. Posteriormente, se revisaron los registros o informes de riegos de épocas anteriores para corroborar o contrastar la información recabada en la entrevista, y así determinar correctamente los sistemas de riego que se emplean en la empresa.

1.3.3 Descripción del estado en que se encuentran los equipos de riego

Se consultó directamente los registros de maquinaria y equipo existentes. De los cuales se extrajo la información de aquellos equipos que se utilizan en las actividades de riego.

1.3.4 Identificación de la problemática en el área de riegos

Una vez obtenida toda la información requerida en los incisos anteriores, se procedió a determinar las problemáticas existentes con base en la temática del árbol de problemas, el cual permitió mostrar claramente las causas y efectos de un problema real.

1.3.5 Jerarquización de la problemática

Se procedió a darle lugar de importancia a los problemas encontrados en el área de riegos desde un punto de vista técnico, por medio de un cuadro de priorización de problemas que comparó cada problema encontrado y al cual se le asignó un porcentaje de peso de acuerdo a una entrevista realizada con el jefe del Departamento de Ingeniería Agrícola.

El método de clasificación de orden de importancia y peso utilizado se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros de calificación para priorización y jerarquía de problemas.

| Problema | Grado de importancia | Calificación de prioridad |
|------------|---|---|
| 1, 2, ...n | Numérico en orden ascendente 1, 2, 3, ... n | Porcentaje en orden ascendente 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 % |
| | A mayor numero, menor grado de importancia | A mayor porcentaje, mayor prioridad |

Fuente: elaboración propia, 2017.

1.4 RESULTADOS

1.4.1 Ubicación

El Grupo Corporativo Santa Ana se localiza en la finca Cerritos, a 65.6 km de la ciudad de Guatemala. La empresa se encuentra a una altitud media de 220 metros sobre el nivel del mar. Está situado a 4.50 km del municipio de Escuintla, colinda al Norte con la carretera que conduce hacia Santa Lucía Cotzumalguapa, al Sur y Este con el municipio de Masagua, y al Oeste con la finca Rancho María. Las instalaciones cuentan con una extensión de 423.24 ha (Pérez, 2008).

1.4.2 Vías de acceso

Se puede acceder por la carretera al pacífico, a 4.5 km del municipio de Escuintla, y a 23 km de Santa Lucía Cotzumalguapa. Dentro de la empresa existe una red de calles de terracería, donde circulan vehículos dentro del casco de la finca, para la comunicación entre fincas anexas existen rutas, caminos y rondas para acceder a los lotes de las fincas (Márquez & López, 2006).

1.4.3 Extensión

Cuenta con un área productiva de 25,002.86 ha, dividido en 7 regiones, cuyas extensiones pueden observarse en el cuadro 2, teniendo cada región un máximo del 18 % del área productiva.

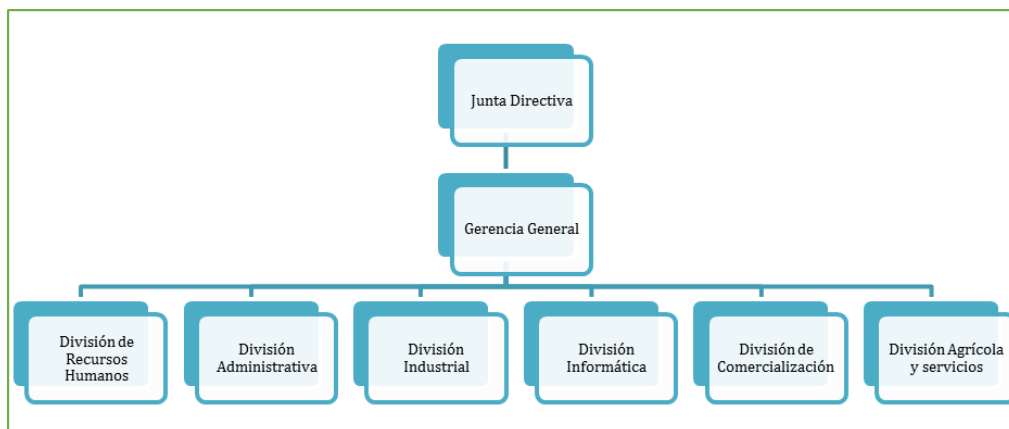
Cuadro 2. Extensión del área productiva en Grupo Corporativo Santa Ana, distribuida en sus regiones administrativas.

| Región | Área (ha) | Área productiva (%) |
|-------------------|------------------|---------------------|
| 1 | 4,582.28 | 18.33 |
| 2 | 3,223.85 | 12.89 |
| 3 | 3,566.97 | 14.27 |
| 4 | 2,204.77 | 8.82 |
| 5 | 4,097.43 | 16.39 |
| 6 | 3,398.72 | 13.59 |
| 7 | 3,928.86 | 15.71 |
| Área total | 25,002.89 | 100.00 |

Fuente: elaborado con base a datos del Departamento de Ingeniería Agrícola, 2016.

1.4.4 Estructura organizacional

El Grupo Corporativo Santa Ana está organizado con base a una estructura tipo vertical, la cual designa las divisiones administrativas existentes para el cumplimiento de las metas y objetivos de la empresa. Esta organización se puede apreciar en la figura 1.



Fuente: Santa Ana, 2013.

Figura 1. Estructura organizacional en Grupo Corporativo Santa Ana.

1.4.4.1 Gerencia general

Se ocupa de la dirección, planificación, coordinación, supervisión, control y evaluación de las actividades técnicas y administrativas de las gerencias de cada división. Define e interpreta las políticas establecidas por la dirección (Santa Ana, 2013).

1.4.4.2 División de recursos humanos

Su misión es satisfacer en forma eficaz los requerimientos de los recursos humano adecuado mediante técnicas y procedimientos actualizados, propiciando las condiciones óptimas para su desarrollo personal y dentro de la empresa, con el propósito de lograr la mayor eficiencia (Santa Ana, 2013).

1.4.4.3 División administrativa

Es una división completamente de servicios, comprometida con las otras cinco divisiones de la corporación, su función es asistir las necesidades de las otras divisiones en forma eficiente y oportuna, a través de una organización adecuada, utilizando para ello recurso humano capacitado y tecnología para satisfacer sus clientes (Santa Ana, 2013).

1.4.4.4 División industrial

Se encarga de la transformación de la caña de azúcar y otros derivados, administrando recursos humanos, físicos, y tecnológicos para satisfacer las necesidades de los clientes nacionales e internacionales (Santa Ana, 2013).

1.4.4.5 División de informática

Se encarga de proporcionar soluciones relacionadas con la planificación, comunicación, tecnología de la información, automatización industrial y control de procesos, para optimizar la producción y administración (Santa Ana, 2013).

1.4.4.6 División financiera

Su función es administrar adecuadamente los recursos financieros de la corporación para la ejecución del proceso productivo. Su misión es generar información financiera confiable

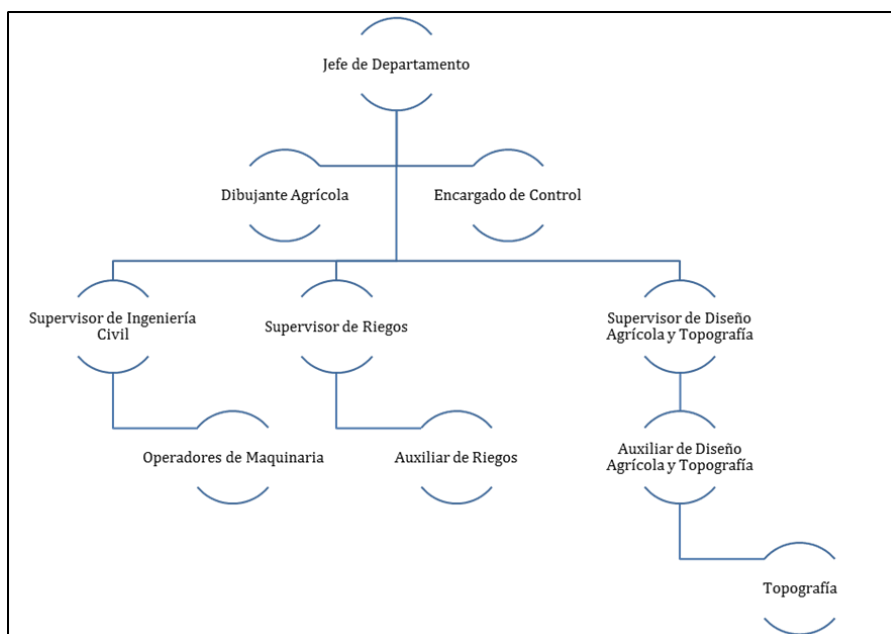
y oportuna, a través del desarrollo de recurso humano, de procedimientos y tecnología actualizada para que la administración del Grupo Corporativo pueda tomar las decisiones adecuadas en el momento oportuno (Santa Ana, 2013).

1.4.4.7 División agrícola y servicios

Está constituido por un equipo multidisciplinario cuyo compromiso fundamental es el aprovechamiento integral y sostenible de los recursos naturales, para producir caña de azúcar y otros productos agrícolas, servicios de cosecha, talleres, y transporte (Santa Ana, 2013).

A. Departamento de ingeniería agrícola

Con base en una entrevista con el jefe de dicho departamento se pudo establecer que el Departamento de Ingeniería Agrícola se encuentra conformado por el jefe del departamento, dibujante agrícola, control administrativo, y los distintos supervisores de las áreas del departamento y bajo ellos se encuentran los auxiliares de cada área, así como se muestra en la figura 2.



Fuente: elaborado con base a datos del Departamento de Ingeniería Agrícola, 2016.

Figura 2. Organización administrativa, Departamento de Ingeniería Agrícola.

1.4.5 Fuentes de agua

1.4.5.1 Ríos

Las regiones en las que está conformado el Grupo Corporativo Santa Ana están ubicadas dentro de cinco cuencas costeras, las cuales son: río Acomé, río Achiguate, río María Linda, río Paso Hondo y la del río Los Esclavos.

Así mismo, los principales ríos que atraviesan los distintos lotes la empresa son: el río María Linda, río Achiguate, río Acomé, río los Esclavos y río Guacalate.

De los ríos mencionados, el Instituto de Investigación sobre Cambio Climático – ICC, mantiene el registro del caudal de oferta de los ríos antes mencionados, los cuales se listan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Caudal promedio en los ríos de influencia a Grupo Corporativo Santa Ana, desde el 01 de abril 2005 hasta el 30 de abril 2016.

| Nombre del río | Caudal (m ³ /s) |
|----------------|----------------------------|
| Achiguate | 10.19 |
| Acomé | 5.12 |
| Guacalate | 8.22 |
| Los Esclavos | 6.52 |
| María Linda | 3.78 |

Fuente: elaboración propia, 2017.

El dato del caudal es un valor promedio de una serie de datos que el ICC ha venido registrando desde abril 2005 hasta abril 2016. Con lo cual, se tiene un valor realmente confiable, ya que la serie de años de monitoreo es bastante amplia.

Ahora bien, el caudal del río Los Esclavos se generó por medio de aforo realizado por el Departamento de Ingeniería Agrícola en febrero de 2016 y para el río Acomé se realizó en mayo 2016.

Desde el punto de vista hidrológico, tener un solo registro de caudal para un río no constituye una fuente de información lo suficientemente confiable, ya que a lo largo del tiempo se pueden presentar factores ambientales que alteren el comportamiento de un río.

1.4.5.2 Pozos y pocetas

Actualmente, se tienen como fuentes de agua alternativas a los ríos, pocetas y pozos mecánicos. De los cuales, se cuenta con 83 pocetas distribuidas en las 7 regiones del Grupo Corporativo Santa Ana, con una capacidad aproximada de 172,800 m³ y con 7 pozos mecánicos distribuidos en la región 3. Así mismo, actualmente se tiene en marcha un proyecto de apertura de 10 nuevos pozos, los cuales se distribuirán en las regiones 1, 2, 5, y 6. Esta información se presenta en los cuadros 4 a 6.

Cuadro 4. Distribución de pozos en Grupo Corporativo Santa Ana.

| Región | Pozos existentes | Pozos en proceso | Caudal de operación promedio m ³ /s |
|--------|------------------|------------------|--|
| 1 | ---- | 1 | ---- |
| 2 | ---- | 4 | ---- |
| 3 | 7 | ---- | 1 |
| 4 | ---- | 2 | ---- |
| 5 | ---- | 1 | ---- |
| 6 | ---- | 6 | ---- |

Fuente: elaborado con base a datos del Departamento de Ingeniería Agrícola, 2016.

La única región que cuenta con pozos es la 3, esto debido a que es en esta región donde se implementa en mayor cantidad el riego por mini aspersión.

Cuadro 5. Distribución de pocetas por fincas en Grupo Corporativo Santa Ana.

| Región | Finca | Número pocetas |
|--------|-------------------------|----------------|
| 1 | Los Portales | 1 |
| 1 | Los Cerritos (Taxisco) | 4 |
| 1 | La Colina | 1 |
| 1 | La Ceiba-Taxisco | 2 |
| 1 | Valde Peña | 1 |
| 1 | Canarias | 4 |
| 1 | Cuernavaca | 1 |
| 1 | San Federico | 2 |
| 1 | Flor de La Laguna | 2 |
| 1 | El Tejal del toro | 2 |
| 1 | El Chaguite | 1 |
| 3 | Iguazú | 1 |
| 3 | Rio Plata | 1 |
| 3 | La Aurora | 4 |
| 3 | La Prosperidad | 3 |
| 3 | Portuaria | 2 |
| 3 | Orinoco | 3 |
| 3 | Amazonas | 1 |
| 3 | El Tesoro | 3 |
| 3 | Paso Antonio | 1 |
| 3 | Mi Cielo | 1 |
| 3 | El Jardín | 1 |
| 4 | Botón Blanco II | 1 |
| 4 | El Esfuerzo - La Gomera | 1 |
| 4 | El Prado | 1 |
| 4 | Floresta (Obero) | 1 |
| 4 | La Fronda | 4 |
| 4 | La Giralda | 7 |
| 4 | Las Victorias | 4 |
| 4 | Loma Linda | 4 |
| 4 | Santa Clara | 3 |
| 5 | Caña Brava | 1 |
| 5 | El Diamante | 4 |
| 5 | El Manantial | 1 |
| 5 | La Unión | 2 |
| 6 | Piedras Coloradas | 1 |
| 6 | Cuncun | 2 |
| 7 | Costa Rica | 2 |
| 7 | Versalles | 2 |

Fuente: elaborado con base a datos del Departamento de Ingeniería Agrícola, 2016.

Cuadro 6. Resumen del número de pocetas por región en Grupo Corporativo Santa Ana.

| Región | Pocetas |
|--------|---------|
| 1 | 21 |
| 3 | 21 |
| 4 | 26 |
| 5 | 8 |
| 6 | 3 |
| 7 | 4 |
| Total | 83 |

Fuente: elaboración propia, 2016.

Como se puede observar en el cuadro 6, son las regiones de la 1 a la 5 las que mayor número de pocetas poseen. Esto se puede justificar, si se ve la extensión de estas regiones (presentado en cuadro 2), con lo que efectivamente, son las regiones de mayor extensión productiva dentro de la empresa.

1.4.6 Sistemas de riego utilizados

Con base en los registros obtenidos de la zafra 2015-2016, se contemplan 10 sistemas de riego diferentes empleados en la actualidad para el riego del cultivo de caña de azúcar. Así mismo, también se cuenta con un área a la cual no se le aplica riego alguno.

Los sistemas de riego empleados y la extensión que estos cubren se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Área cubierta por los sistemas de riego implementados en fincas del Grupo Corporativo Santa Ana.

| Sistema de riego | Área cubierta (ha) | Área regada (%) |
|----------------------------|--------------------|-----------------|
| Aspersión | 14,503.10 | 59 |
| Avance frontal | 2,584.70 | 11 |
| Bombeo gravedad inundación | 1,227.70 | 5 |
| Bombeo gravedad manga | 674.59 | 3 |
| Gravedad aspersión | 750.83 | 3 |
| Gravedad inundación | 1,692.09 | 7 |
| Gravedad manga | 345.91 | 1 |
| Infiltración | 64.38 | 0.26 |
| Mini aspersión | 1,456.32 | 6 |
| Pivote | 1,139.88 | 5 |
| Total | 24,439.50 | 100 |

Fuente: elaborado con base a datos del Departamento de Ingeniería Agrícola, 2016.

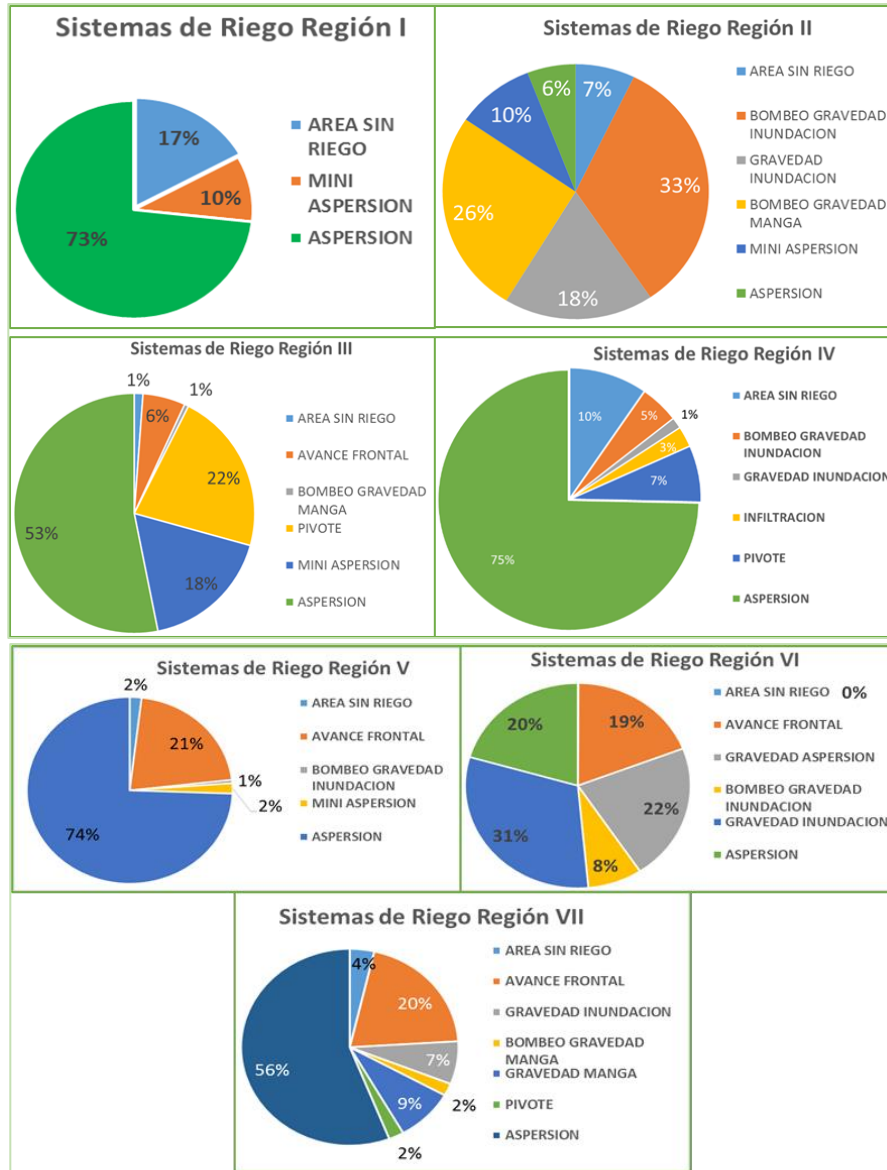
De acuerdo con el cuadro anterior se puede observar que el 94 % del área productiva (24,439.50 ha) está bajo algún sistema de riego, y que solo el 6 % de la misma (1,494.52 ha) se encuentra sin riego. Siendo el riego por aspersión el más empleado, abarcando el 59 % del área de riego (14,503.10 ha) y quedando por último el riego por infiltración, el cual solamente cubre el 0.26 % del área bajo riego (64.38 ha).

Analizando el área de riego que se tiene en cada una de las regiones que conforman la empresa, es la región 6 la que mayor porcentaje de área cubierta por sistema de riego posee (99.91 %), dejando tan solo 3 ha sin riego (< 0.1 %).

Contrario a la región 6 se observa que es la región 1 la que menos porcentaje de área cubierta por riego mantiene (83.01 %), dejando 794.57 ha sin regar (16.99 %).

1.4.6.1 Sistemas de riego por región administrada

A continuación, se presenta una serie de graficas basadas en la información presentada en el cuadro 7, que expresan el tipo de riego empleado en cada una de las regiones que conforman la empresa y el porcentaje del área total de la región que abarca cada uno de ellos.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 3. Sistemas de riego y porcentaje de cobertura por región administrada

Con apoyo de las gráficas presentadas en la figura 3 se puede apreciar de mejor forma que en efecto, el sistema de riego por aspersión es el más empleado en cada una de las regiones que conforman la empresa. A excepción de la región 2, cuyo sistema de riego predominante es el bombeo por gravedad en manga.

Quedando entonces de una forma más clara que el porcentaje de área sin riego que se tiene es relativamente bajo ($< 0.1 \%$). Así mismo, en riego por aspersión se realizan evaluaciones de uniformidad de riego con el fin de regular y optimizar el uso del recurso agua. Sin embargo, esta evaluación requiere de un trabajo laborioso tanto en campo, como en gabinete. Siendo el de gabinete el más tardado ya que no hay un método que agilice la generación de resultados con los que se puedan tomar decisiones más rápidas y puntuales.

Un último punto a considerar en este apartado y que es de relevancia para el buen uso del recurso hídrico es que el sistema de riego por inundación está quedando sin uso. El porcentaje de área que estos sistemas están cubriendo se encuentra entre los más bajos en la mayoría de las regiones productivas. Esto demuestra el interés que existe en dar eficiencia al uso del agua para riego sin que se incida en conflictos sociales.

No obstante, aunque se haga uso de sistemas de riego que reducen la demanda de agua, significa que se están cubriendo las necesidades fisiológicas del cultivo. Es decir, que los eventos de riego, en su mayoría, no son planeados de acuerdo a los parámetros fisiológicos y a los requerimientos hídricos de la caña de azúcar; dado que los eventos de riego son programados por los distintos jefes de región, los cuales han seguido una frecuencia de riego semi-fija, la cual es de 15 a 18 días.

No hay un balance hídrico que permita optimizar verdaderamente el uso del agua para riego en el cultivo de caña de azúcar.

1.4.7 Estado actual del equipo utilizado en riego

En el cuadro 8, se presentan varios listados donde se puede encontrar la información básica sobre la maquinaria o equipo que es utilizado para las actividades de riego.

Cuadro 8. Estado actual de la maquinaria empleada para riego categorizada como equipo de aspersión y caudaleras.

| Código máquina | Descripción | Región | Status | Tipo adquisición | Fecha adquisición |
|----------------|---|--------|--------------|------------------|-------------------|
| 12 0294-000028 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 12 0294-000029 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 12 0294-000030 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 12 0294-000036 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 12 0294-000037 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 12 0294-000044 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 2/04/1998 |
| 12 0294-000059 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 2/04/1998 |
| 12 0294-000060 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 2/04/1998 |
| 12 0294-000076 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 27/10/1998 |
| 12 0294-000109 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 27/10/1998 |
| 01 0294-000118 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 27/10/1998 |
| 01 0294-000119 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 27/10/1998 |
| 01 0294-000120 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 27/10/1998 |
| 01 0294-000121 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 27/10/1998 |
| 01 0294-000123 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 22/02/1999 |
| 01 0294-000131 | Motobombas d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Leasing | 22/02/1999 |
| 01 0294-000132 | Motobombas d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Leasing | 5/11/1999 |
| 01 0294-000133 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Leasing | 5/11/1999 |
| 01 0294-000140 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Leasing | 5/11/1999 |
| 01 0294-000162 | Motobomba d/aspersión d/800 | 1 | En operación | Propio | 5/11/1999 |
| 01 0294-000163 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 | 1 | En operación | Propio | 6/12/2000 |
| 01 0294-000164 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 | 1 | En operación | Propio | 6/12/2000 |
| 01 0294-000165 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 | 1 | En operación | Propio | 9/12/2000 |
| 01 0294-000166 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/12/2000 |
| 01 0294-000167 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/12/2000 |

| | | | | | |
|----------------|---|---|--------------|-----------|------------|
| 01 0294-000168 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/12/2000 |
| 01 0294-000169 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 9/12/2000 |
| 01 0294-000187 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 1 | En operación | Propio | 15/12/2000 |
| 01 0294-000191 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 1 | En operación | Propio | 31/07/2001 |
| 01 0294-000192 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 1 | En operación | Propio | 31/07/2001 |
| 01 0294-000193 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 1 | En operación | Propio | 31/07/2001 |
| 01 0307-000005 | Motobomba mini-aspersión | 1 | En operación | Leasing | 31/07/2001 |
| 01 0307-000006 | Motobomba mini-aspersión | 1 | En operación | Leasing | 31/07/2001 |
| 01 0307-000009 | Motobomba de aspersión miniriego | 1 | En operación | Leasing | 31/07/2001 |
| 09 0307-000017 | Motobomba de aspersión miniriego de 400 g.p.m (hechiza) | 1 | En operación | Propio | 31/07/2001 |
| 01 0394-000014 | Motobomba d/aspersión d/500 g.p.m d/60 a 80 hp | 1 | En operación | Propio | 31/07/2001 |
| 01 0394-000018 | Motobomba d/caudal centrífuga d/80 a 120 hp | 1 | En operación | Propio | 26/08/2002 |
| 01 0394-000019 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/60 a 80 hp) | 1 | En operación | Propio | 26/08/2002 |
| 01 0394-000020 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/60 a 80 hp) | 1 | En operación | Leasing | 26/08/2002 |
| 01 0394-000023 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/60 a 80 hp) | 1 | En operación | Leasing | 17/06/2004 |
| 01 0396-000013 | Motobomba d/caudal | 1 | En operación | Propio | 17/06/2004 |
| 01 0396-000019 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 1 | En operación | Propio | 17/06/2004 |
| 01 0396-000024 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 1 | En operación | Propio | 17/06/2004 |
| 01 0396-000030 | Motobomba d/caudal | 1 | En operación | Propio | 7/10/2004 |
| 12 5294-000003 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 1 | En operación | Arrendado | 7/10/2004 |
| 12 0294-000014 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Propio | 4/12/2006 |
| 12 0294-000031 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Propio | 4/12/2006 |
| 12 0294-000061 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Propio | 4/09/2006 |
| 12 0294-000078 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Propio | 4/12/2006 |
| 12 0294-000079 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Propio | 15/08/2006 |
| 01 0294-000129 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Propio | 14/08/2006 |
| 01 0294-000139 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Leasing | 14/08/2006 |
| 01 0294-000150 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Leasing | 14/08/2006 |
| 01 0294-000151 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 2 | En operación | Leasing | 14/08/2006 |

| | | | | | |
|----------------|--|---|--------------|-----------|------------|
| 01 0294-000172 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 2 | En operación | Propio | 14/08/2006 |
| 09 0307-000001 | Motobomba de aspersión miniriego | 2 | En operación | Propio | 14/08/2006 |
| 01 0307-000002 | Motobomba de aspersión miniriego | 2 | En operación | Leasing | 14/08/2006 |
| 01 0307-000003 | Motobomba de aspersión miniriego | 2 | En operación | Leasing | 28/03/2010 |
| 01 0307-000008 | Motobomba mini-aspersión | 2 | En operación | Leasing | 22/11/2010 |
| 01 0394-000012 | Motobomba d/aspersión d/500 g.p.m d/60 a 80 hp | 2 | En operación | Propio | 1/12/2010 |
| 01 0394-000026 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/62 hp) | 2 | En operación | Leasing | 7/12/2010 |
| 12 0396-000002 | Motobomba d/caudal centrifuga d/80 a 120 hp | 2 | En operación | Propio | 3/10/2011 |
| 01 0396-000034 | Motobomba d/caudal centrifuga.(d/80 a 120 hp) | 2 | En operación | Propio | 29/05/2012 |
| 01 0396-000039 | Motobomba d/caudal centrifuga.(d/80 a 120 hp) | 2 | En operación | Propio | 26/11/2012 |
| 12 0397-000003 | Motobomba d/caudal centrifuga d/35 a 49 hp | 2 | En operación | Propio | 27/11/2012 |
| 12 5397-000001 | Motobomba d/caudal centrifuga d/30 a 80 hp | 2 | En operación | Arrendado | 27/11/2012 |
| 12 0294-000022 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 27/11/2012 |
| 12 0294-000032 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 27/11/2012 |
| 12 0294-000039 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 27/11/2012 |
| 12 0294-000063 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 27/11/2012 |
| 12 0294-000064 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 | 3 | En operación | Propio | 16/02/2013 |
| 01 0294-000090 | Equipo de riego estacionario | 3 | En operación | Propio | 16/02/2013 |
| 01 0294-000091 | Equipo de riego estacionario | 3 | En operación | Propio | 16/02/2013 |
| 01 0294-000093 | Equipo de riego estacionario | 3 | En operación | Propio | 16/02/2013 |
| 01 0294-000152 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Leasing | 16/02/2013 |
| 01 0294-000156 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Leasing | 16/02/2013 |
| 01 0294-000157 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Leasing | 16/02/2013 |
| 01 0294-000170 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 16/02/2013 |
| 01 0294-000171 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 16/02/2013 |
| 09 0294-000181 | Motobomba de riego de 1200 g.p.m | 3 | Paso Antonio | Propio | 16/02/2013 |
| 09 0294-000182 | Moto-bomba de riego de 2500 g.p.m (hechiza) | 3 | En operación | Propio | 7/01/2014 |
| 01 0294-000194 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 3 | En operación | Propio | 7/01/2014 |
| 01 0307-000012 | Motobombas de aspersión miniriego | 3 | En operación | Leasing | 7/01/2014 |

| | | | | | |
|----------------|--|---|--------------|-----------|------------|
| 01 0307-000013 | Motobombas de aspersión miniriego | 3 | En operación | Leasing | 7/01/2014 |
| 01 0307-000014 | Motobombas de aspersión miniriego | 3 | En operación | Leasing | 18/02/2014 |
| 01 0307-000015 | Motobombas de aspersión miniriego | 3 | En operación | Leasing | 18/02/2014 |
| 01 0307-000016 | Motobombas de aspersión miniriego | 3 | En operación | Leasing | 18/02/2014 |
| 12 0394-000005 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m d/60 a 80 hp | 3 | En operación | Propio | 18/02/2014 |
| 01 0394-000013 | Motobomba d/aspersión d/500 g.p.m d/60 a 80 hp | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0394-000022 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/60 a 80 hp) | 3 | En operación | Leasing | 29/10/2014 |
| 12 0394-000028 | Motobombas d/aspersión d/400 g.p.m.(d/60 a 80 hp) | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0395-000002 | Motobomba d/caudal d/turbina < 100 hp | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 12 0396-000003 | Motobomba d/caudal centrifuga d/80 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0396-000006 | Motobomba d/caudal centrifuga d/80 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0396-000008 | Motobomba d/caudal centrifuga d/80 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0396-000010 | Motobomba d/caudal | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0396-000011 | Motobomba d/caudal | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0396-000017 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0396-000025 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0396-000026 | Motobomba d/caudal (rpm 1,800) | 3 | En operación | Propio | 29/10/2014 |
| 01 0396-000033 | Motobomba d/caudal centrifuga.(d/80 a 120 hp) | 3 | En operación | Propio | 5/11/1999 |
| 01 0396-000035 | Motobomba d/caudal centrifuga.(d/80 a 120 hp) | 3 | En operación | Propio | 29/12/2014 |
| 12 0396-000042 | Motobomba d/caudal | 3 | En operación | Propio | 9/03/2015 |
| 12 0396-000045 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 3/04/2015 |
| 12 0396-000046 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Propio | 15/04/2015 |
| 01 0396-000047 | Motobombas d/caudal centrifuga.(d/80 a 120 hp) | 3 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 01 0397-000005 | Motobomba d/caudal centrifuga d/30 a 80 hp | 3 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 01 0397-000006 | Motobomba de caudal | 3 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 01 0398-000001 | Motobomba d/caudal d/turbina > d/100 hp | 3 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 01 0398-000003 | Motobomba d/caudal d/turbina > d/100 hp | 3 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 12 5294-000004 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 3 | En operación | Arrendado | 3/02/2012 |
| 12 5294-000006 | Motobomba d/asper. D/800 g.p.m d/100 a 120 hp "prest." topke | 3 | En operación | Arrendado | 3/02/2012 |

| | | | | | |
|----------------|--|---|--------------|-----------|------------|
| 12 0294-000007 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 12 0294-000041 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 12 0294-000042 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 12 0294-000054 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 12 0294-000055 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 3/02/2012 |
| 12 0294-000057 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 12/03/2012 |
| 12 0294-000058 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 20/11/2012 |
| 01 0294-000130 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 20/11/2012 |
| 01 0294-000153 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Leasing | 22/02/2013 |
| 01 0294-000173 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 22/02/2013 |
| 01 0294-000188 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 4 | En operación | Propio | 22/02/2013 |
| 01 0307-000007 | Motobomba mini-aspersión | 4 | En operación | Leasing | 22/02/2013 |
| 12 0394-000001 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m d/60 a 80 hp | 4 | En operación | Propio | 8/12/2014 |
| 12 0394-000002 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m d/60 a 80 hp | 4 | En operación | Propio | 28/01/2014 |
| 12 0394-000003 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m d/60 a 80 hp | 4 | En operación | Propio | 28/01/2014 |
| 12 0394-000004 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m d/60 a 80 hp | 4 | En operación | Propio | 28/01/2014 |
| 12 0394-000011 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m d/60 a 80 hp | 4 | En operación | Propio | 28/01/2014 |
| 01 0394-000024 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/60 a 80 hp) | 4 | En operación | Propio | 30/03/2014 |
| 01 0394-000025 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/60 a 80 hp) | 4 | En operación | Propio | 16/03/2015 |
| 01 0394-000027 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/62 hp) | 4 | En operación | Leasing | 9/06/1995 |
| 01 0396-000009 | Motobomba d/caudal centrífuga d/80 a 120 hp | 4 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 01 0396-000014 | Motobomba d/caudal | 4 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 01 0396-000015 | Motobomba d/caudal | 4 | En operación | Propio | 11/02/1997 |
| 12 5294-000001 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 4 | En operación | Arrendado | 7/02/1997 |
| 12 0294-000002 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 11/02/1997 |
| 12 0294-000033 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 13/01/2004 |
| 12 0294-000035 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 26/08/2002 |
| 12 0294-000043 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 17/01/2006 |
| 12 0294-000048 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 17/01/2006 |

| | | | | | |
|----------------|---|---|--------------|---------|------------|
| 12 0294-000049 | Motobombas d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 22/05/2006 |
| 12 0294-000050 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 26/09/2005 |
| 12 0294-000051 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 30/09/2003 |
| 12 0294-000052 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 28/12/2012 |
| 01 0294-000092 | Equipo de riego estacionario | 5 | En operación | Propio | 7/01/2014 |
| 01 0294-000122 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 7/01/2014 |
| 01 0294-000135 | Motobombas d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Leasing | 7/01/2014 |
| 01 0294-000136 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 7/01/2014 |
| 01 0294-000142 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Leasing | 9/03/2014 |
| 01 0294-000154 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Leasing | 9/03/2014 |
| 01 0294-000155 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Leasing | 8/12/2014 |
| 01 0294-000174 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 8/12/2014 |
| 01 0294-000175 | Motobombas de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 5/11/1999 |
| 09 0294-000179 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 30/09/2003 |
| 01 0294-000189 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 5 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 01 0294-000190 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 5 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 01 0394-000015 | Motobomba d/aspersión d/500 g.p.m d/60 a 80 hp | 5 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 01 0394-000021 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m.(d/60 a 80 hp) | 5 | En operación | Leasing | 30/09/2003 |
| 12 0396-000004 | Motobomba d/caudal centrífuga d/80 a 120 hp | 5 | En operación | Propio | 19/07/2002 |
| 01 0396-000021 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 5 | En operación | Propio | 12/08/2003 |
| 01 0396-000023 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 5 | En operación | Propio | 17/11/2005 |
| 01 0396-000036 | Motobomba d/caudal centrífuga.(d/80 a 120 hp) | 5 | En operación | Propio | 20/03/2006 |
| 01 0396-000038 | Motobomba d/caudal centrífuga.(d/80 a 120 hp) | 5 | En operación | Propio | 27/03/2006 |
| 12 0294-000013 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 6 | En operación | Propio | 27/03/2006 |
| 12 0294-000038 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 6 | En operación | Propio | 27/03/2006 |
| 12 0294-000053 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 6 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 12 0294-000103 | Equipo de riego x aspersión | 6 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 09 0294-000180 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m (hechiza) | 6 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 01 0294-000185 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 6 | En operación | Propio | 8/09/2007 |

| | | | | | |
|----------------|--|---|--------------|---------|------------|
| 01 0294-000186 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 6 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 12 0394-000008 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m d/60 a 80 hp | 6 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 01 0397-000010 | Motobomba d/caudal | 6 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 12 0294-000062 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 01 0294-000124 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 01 0294-000125 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 8/09/2006 |
| 01 0294-000126 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 22/02/2008 |
| 01 0294-000127 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 22/02/2008 |
| 01 0294-000128 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 22/02/2008 |
| 01 0294-000137 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 22/02/2008 |
| 01 0294-000138 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 22/02/2008 |
| 01 0294-000141 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 28/11/2008 |
| 01 0294-000143 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 29/11/2008 |
| 01 0294-000144 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 29/11/2008 |
| 01 0294-000145 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 29/11/2008 |
| 01 0294-000146 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 29/11/2008 |
| 01 0294-000147 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 29/11/2008 |
| 01 0294-000148 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 29/11/2008 |
| 01 0294-000149 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Leasing | 29/11/2008 |
| 01 0294-000176 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 29/11/2008 |
| 01 0294-000177 | Motobomba de aspersión 800 g.p.m 100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 7/10/2004 |
| 12 0294-000178 | Motobomba d/aspersión d/800 g.p.m d/100 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 9/06/1995 |
| 01 0294-000183 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 7 | En operación | Propio | 5/11/1999 |
| 01 0294-000184 | Motobomba aspersión 800 g.p.m 100 a 120hp | 7 | En operación | Propio | 23/01/2014 |
| 12 0394-000006 | Motobomba d/aspersión d/400 g.p.m d/60 a 80 hp | 7 | En operación | Propio | 5/11/1999 |
| 01 0396-000016 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 7 | En operación | Propio | 11/10/2001 |
| 01 0396-000018 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 7 | En operación | Propio | 15/06/2003 |
| 01 0396-000020 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 7 | En operación | Propio | 10/03/2006 |
| 01 0396-000022 | Motobomba de caudal 1,200 g.p.m | 7 | En operación | Propio | 27/10/2006 |

| | | | | | |
|----------------|---|---|--------------|-----------|------------|
| 01 0396-000027 | Motobomba d/caudal | 7 | En operación | Propio | 27/10/2006 |
| 01 0396-000029 | Motobomba d/caudal | 7 | En operación | Propio | 12/08/2003 |
| 01 0396-000031 | Motobomba d/caudal centrifuga d/80 a 120 hp | 7 | En operación | Propio | 11/07/2003 |
| 01 0396-000037 | Motobomba d/caudal centrifuga.(d/80 a 120 hp) | 7 | En operación | Propio | 29/04/2003 |
| 01 0396-000040 | Motobomba d/caudal centrifuga.(d/80 a 120 hp) | 7 | En operación | Propio | 28/02/2001 |
| 01 0396-000041 | Motobomba d/caudal centrifuga.(d/80 a 120 hp) | 7 | En operación | Propio | 28/02/2001 |
| 12 0397-000002 | Motobomba d/caudal centrifuga d/30 a 80 hp | 7 | En operación | Propio | 5/04/2013 |
| 01 0397-000007 | Motobomba d/caudal | 7 | En operación | Propio | 28/02/2001 |
| 12 5397-000002 | Motobomba d/caudal centrifuga d/30 a 80 hp | 7 | En operación | Arrendado | 12/09/2001 |

Fuente: elaborado con base a datos del Departamento de Ingeniería Agrícola, 2016.

Tal como se observa en el cuadro anterior, existen tres clasificaciones que describen el modo de adquisición de los mismos en la empresa, de lo cual, en el cuadro 9 se presenta el resumen correspondiente a la cantidad de equipos clasificados para usos en aspersión y caudaleras.

Cuadro 9. Resumen de la cantidad y tipo de equipos para riego disponibles por región clasificados como aspersión y caudaleras.

| Región | Forma de adquisición / cantidad de equipos | | | Total general |
|---------------|--|---------|--------|---------------|
| | Arrendado | Leasing | Propio | |
| 1 | 1 | 9 | 35 | 45 |
| 2 | 1 | 7 | 13 | 21 |
| 3 | 2 | 9 | 35 | 46 |
| 4 | 1 | 3 | 20 | 24 |
| 5 | | 5 | 23 | 28 |
| 6 | | | 9 | 9 |
| 7 | 1 | 10 | 24 | 35 |
| Total general | 6 | 43 | 159 | 208 |

Fuente: elaboración propia, 2016.

Con base en la información presente en el cuadro anterior, se tiene que para la categoría de equipos de aspersión y caudaleras (bombas de empuje) se tiene un total de 208 equipos. De los cuales, 4 máquinas (01 0395-000002; 12 0294-000103; 01 0397-000010 y 01 0294-000093) no se encuentran físicamente en la empresa, únicamente aparecen registradas en la base de datos.

De los 208 equipos empleados, se constata que pertenecen a la empresa 159 máquinas (76 %), 6 equipos arrendados (3 %), y 43 equipos (21 %) que se encuentran bajo el apartado de leasing (convenio entre empresas).

En el cuadro 10 se presenta la distribución de todos los equipos de riego mecanizado (pivotes y avances frontales) en la empresa, así como la fecha de adquisición de los mismos.

Cuadro 10. Distribución del equipo categorizado como Pivotes, Avances y de Gas en Grupo Corporativo Santa Ana.

| Código máquina | Descripción | Región | Fecha adquisición |
|----------------|--|--------|-------------------|
| 01 0264-000001 | Pivote circular d/180 a 240 m | 7 | 26/07/2002 |
| 01 0264-000002 | Pivote circular d/180 a 240 m | 3 | 5/08/2003 |
| 01 0264-000003 | Pivote circular d/180 a 240 m | 3 | 5/08/2003 |
| 01 0266-000001 | Pivote circular d/250 a 270 m | 4 | 8/07/2002 |
| 01 0266-000002 | Pivote circular d/250 a 270 m | 3 | 5/08/2003 |
| 01 0266-000003 | Pivote circular d/250 a 270 m | 3 | 5/08/2003 |
| 01 0266-000004 | Pivote circular d/250 a 270 m | 3 | 5/08/2003 |
| 01 0266-000005 | Pivote circular d/250 a 270 m | 3 | 5/08/2003 |
| 01 0266-000009 | Avance frontal de 958 m estructurales | 7 | 7/03/2007 |
| 01 0267-000001 | Pivote avance frontal 400 m | 5 | 10/01/2002 |
| 01 0267-000002 | Pivote avance frontal 400 m | 3 | 5/08/2003 |
| 01 0267-000003 | Pivote de avance frontal de 400/600 m | 5 | 24/02/2006 |
| 01 0267-000004 | Pivote de avance frontal de 400/700 m | 5 | 24/02/2006 |
| 01 0267-000005 | Pivote frontal d/240 a 400 m | 6 | 5/08/2003 |
| 01 0267-000006 | Pivote frontal d/240 a 400 m | 6 | 5/08/2003 |
| 01 0267-000007 | Pivote de avance frontal de 400 m | 7 | 21/04/2006 |
| 01 0267-000008 | Pivote de avance frontal de 400 m | 7 | 2/08/2006 |
| 01 0269-000001 | Motobombas d/aspersión a gas g.p.m. leasing | 3 | 7/02/2014 |
| 01 0269-000002 | Motobomba d/aspersión a gas g.p.m. leasing | 3 | 7/02/2014 |
| 01 0269-000003 | Motobomba d/aspersión a gas g.p.m. leasing | 4 | 7/02/2014 |
| 01 0269-000004 | Motobomba d/aspersión a gas g.p.m. leasing | 3 | 7/02/2014 |
| 01 0269-000005 | Motobomba d/aspersión a gas g.p.m. (leasing) | 3 | 13/12/2014 |
| 01 0269-000006 | Motobomba d/aspersión a gas g.p.m. (leasing) | 3 | 13/12/2014 |
| 12 0263-000001 | Pivote avance frontal 800 m | 5 | 13/11/2001 |

Fuente: elaboración propia, 2016.

De la maquinaria registrada en el cuadro anterior, existen dos equipos (01 0267-000005 y 01 0267-000006) a los que se les dará de baja. A excepción de estos dos, el resto se encuentra en condiciones adecuadas para su operación.

Se hace mención que los datos referentes al estado de los equipos que se emplean para riego están actualizados hasta el mes de enero del año 2016.

1.4.8 Problemática

Como resultado de la información presentada en los apartados anteriores, se presentan a continuación las figuras 4 y 5, en las cuales se puede observar las causas y efectos de los problemas detectados en relación al estado de los equipos de riego y al registro de valores de caudal de los distintos ríos que son fuente de agua directa.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 4. Árbol de problema para el inventario de equipos de riego desactualizado.

De la figura anterior se tiene que existen registros de máquinas que no se encuentran en la empresa, por lo que es responsabilidad del encargado de maquinaria de cada región administrativa tener el registro y ubicación real de dichas máquinas, ya que se trabaja con información desactualizada y se pierden activos de la empresa.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 5. Árbol de problema para el registro discontinuo de caudales.

De la figura anterior se explica que no se cuenta con el registro histórico de los caudales de los ríos Acomé y Los Esclavos, que son fuentes de agua primarias para la empresa. Mismos a los que no se les realizan aforos constantes por parte de la empresa. Lo cual no permite conocer ni predecir el comportamiento de dichos ríos para su adecuado aprovechamiento.

1.4.9 Jerarquía de problemas

En el cuadro 11 se muestra el resultado de la entrevista realizada para la determinación del grado de importancia de los problemas detectados durante el diagnóstico.

Cuadro 11. Grado de importancia para los problemas detectados.

| Problema | Grado de importancia | Calificación de prioridad |
|---|----------------------|---------------------------|
| Inventario de equipos de riego desactualizado | 1 | 75 % |
| Registro discontinuo de caudales | 2 | 25 % |

Fuente: elaboración propia, 2016.

Dado que solamente se sometieron a evaluación dos problemas, la priorización de los mismos se obtuvo con base a la interrogante ¿qué actividad correctiva ocupa la mayor cantidad de tiempo para solucionar cada problema?

Se determinó entonces que se trabajaría en la actualización del inventario de equipos de riego, ya que es de gran importancia conocer la cantidad exacta de equipos disponibles, lo cual se puede resolver a corto plazo.

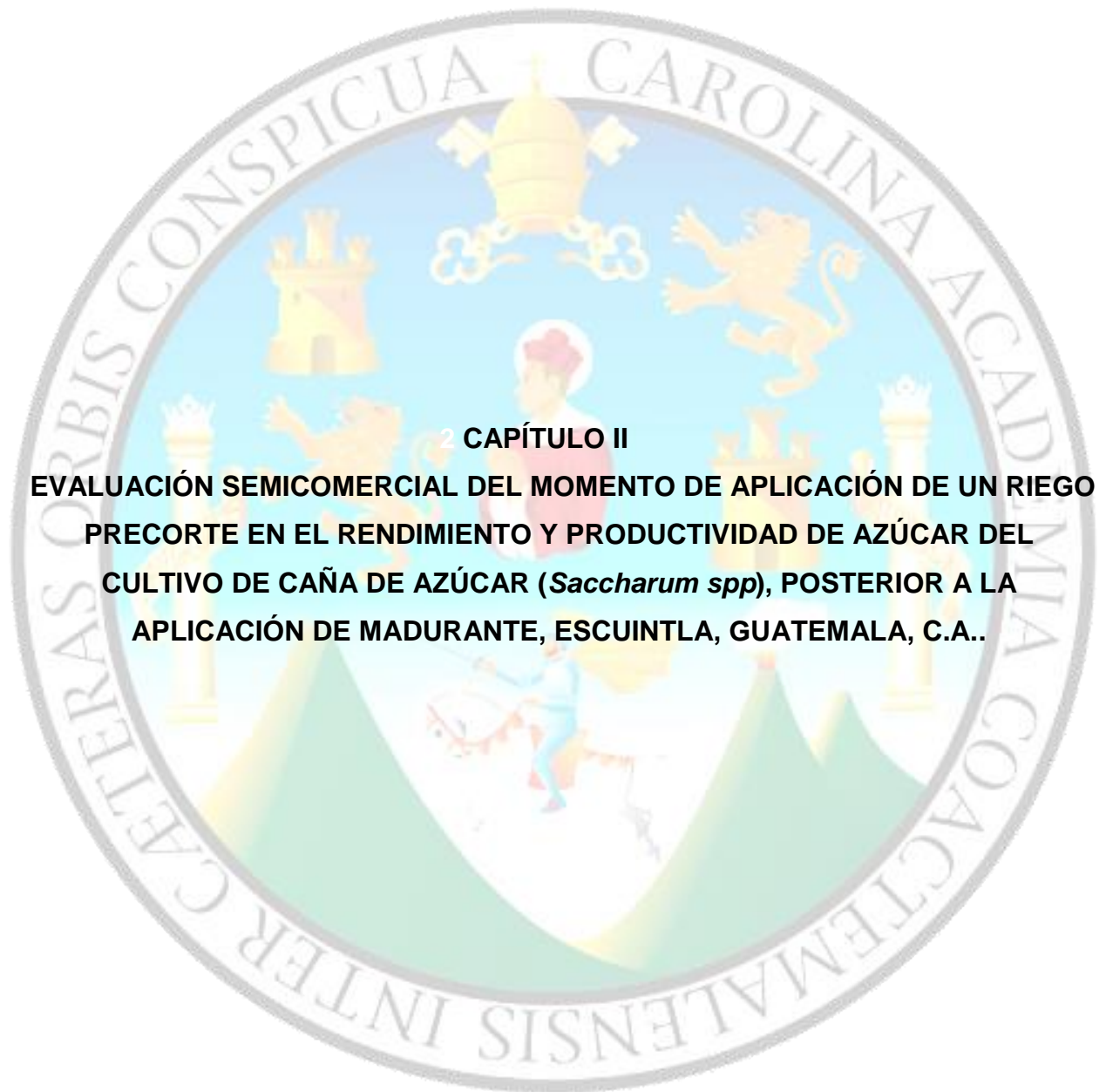
El registro de caudales queda como problema de segunda importancia, ya que los aforos se pueden realizar a largo plazo de acuerdo a las condiciones ambientales o según se necesite la información.

1.5 CONCLUSIONES

1. Las fuentes de agua de las que dispones el Grupo Corporativo Santa Ana son los ríos, los pozos y las pocetas. Abarcando principalmente los ríos Acomé, Achiguate, María Linda, Los Esclavos y Guacalate. Cuenta con 83 pocetas, dispone de 7 pozos operativos y se espera culminar con la implementación de 10 pozos más.
2. Los sistemas de riego utilizados para caña de azúcar son 10, avance frontal, gravedad aspersión, bombeo en gravedad por manga, gravedad inundación, gravedad en manga, infiltración, pivotes, aspersión y mini aspersión. Siendo el riego por aspersión el de mayor uso (59.34 %) y el riego por infiltración el menos empleado (< 1 %).
3. De los 232 equipos con los que se cuenta para riego, son los registrados con código 01 0395-000002, 12 0294-000103, 01 0397-000010 y 01 0294-000093 los que no se encontraron físicamente, solo aparecieron registrados en el sistema. Los equipos con código 01 0267-000005 y 01 0267-000006 fueron dados de baja. El resto de equipos se encontró es estado ideal para operación.
4. Los problemas detectados durante el diagnóstico del área de riegos fueron: 1) el inventario de equipos de riego está desactualizado, 2) registro discontinuo de caudales, ya que no se cuenta con una serie histórica para dichos valores.

1.6 BIBLIOGRAFÍA

1. Márquez, J. M., & López, E. (2006). Nivel de daño económico para las plagas de importancia en caña de azúcar y su estimación con base en un programa diseñado por CENGICAÑA. In CENGICAÑA, *Presentación de investigación de zafra 2005-2006* (pp. 194-200). Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Retrieved 2016 йил 11-Agosto
2. Paz Fong, P. D. (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*. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de (Tesis Ing. Agr., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala): <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7048/1/T-02862.pdf>
3. Pérez Solarez, G. (2008). *Elaboración de la documentación previa a la certificación ISO 9001:2000, del Laboratorios de Parasitoides Cotesia flavipes, Ingenio Santa Ana*. Retrieved 2016 25-Septiembre from: (Tesis Ing. Indus., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería: Guatemala): biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1951_IN.pdf
4. Santa Ana, Grupo Corporativo, Guatemala. (2013). *Conociendo mi Ingenio, manual de inducción*. Escuintla. Escuintla, Guatemala: Santa Ana, Grupo Corporativo



2 CAPÍTULO II

EVALUACIÓN SEMICOMERCIAL DEL MOMENTO DE APLICACIÓN DE UN RIEGO PRECORTE EN EL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*), POSTERIOR A LA APLICACIÓN DE MADURANTE, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A..

2.1 PRESENTACIÓN

La cosecha o zafra está dividida en tercios, debido a las diferencias en productividad de azúcar en el transcurso de la zafra. Según un análisis realizado por Meneses (2011), el primer tercio (noviembre-diciembre) se caracteriza por ser el de mayor productividad de azúcar (con base en el período 2007/08 a 2010/11), ya que es cuando recién ha terminado la época lluviosa, por lo cual la humedad en el suelo es adecuada, aunque la concentración de azúcar es baja. El segundo tercio (enero-febrero) presenta un rendimiento y productividad intermedia y más estable. El tercer tercio (marzo-abril) con un rendimiento y productividad baja en relación a los anteriores debido a que ya se encuentra en la época seca; con lo cual el estrés hídrico resulta mucho mayor, por lo que el peso de caña en T/ha se reduce significativamente.

En la actualidad, es bien sabido en todos los ingenios azucareros que con la aplicación de madurantes es posible incrementar hasta en un 25 % la producción de azúcar (Arcilla & Villegas, 1995). Sin embargo, es en el último tercio de la época de cosecha donde la producción baja entre 12 % y 44 % respecto al primer tercio (Meneses, 2014), debido a la época seca, lo que conlleva a un reto enorme poder aminorar ese porcentaje empleando técnicas adecuadas de riego.

La investigación desarrollada en este documento se realizó con el fin principal de determinar el efecto que tiene la aplicación de un solo riego precorte posterior a la aplicación de madurante en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), en siembras tipo plantía (cero cortes), que fueron cosechadas en el tercer tercio (marzo – abril) de la época de zafra (corte/cosecha), específicamente entre la última semana de marzo y las dos primeras semanas de abril 2016. Se utilizó un sistema de riego por aspersion tipo cañón para determinar la productividad de azúcar (T/ha) y el rendimiento de caña (T/ha), ya que es en este tercio donde se presentó un mayor déficit hídrico debido al establecimiento de la época seca.

El sistema de riego que se empleó para este estudio contó con un marco de riego de 45 m * 45 m y un tiempo de riego por turno de 2 h debido a que es el más utilizado dentro del

Grupo Corporativo Santa Ana, el cual se encuentra ubicado en el kilómetro 64.5 de la carretera que conduce hacia Santa Lucía Cotzumalguapa, en el departamento de Escuintla.

El diseño implementado fue un diseño semi-comercial en bloques al azar, el cual se constituyó de 4 distintos tratamientos, los cuales consistieron en aplicar este tipo de riego 20 días, 30 días, 40 días precorte y en la no aplicación de riego, mismos que se replicaron en localidades o fincas distintas con la variedad CP72-2086, en el estrato bajo de la zona cañera de Guatemala, los cuales se caracterizaron por poseer una textura de suelo franco arenosa.

Las localidades de investigación se establecieron en fincas ubicadas en los municipios de Taxisco, Santa Rosa y San José, Escuintla, donde los tratamientos fueron implementados posterior a la aplicación de madurante, el cual se aplicó 50 días precorte. En cada localidad se implementó un solo bloque o repetición de la investigación.

Los resultados obtenidos indicaron que si existió una respuesta positiva del cultivo por la aplicación de este tipo de riego, principalmente cuando se aplicó entre 30 días y 40 días precorte. El tratamiento que mejor respuesta presentó en cuanto a rendimiento de caña en T/ha, productividad de azúcar en T/ha, y utilidades parciales fue cuando se aplicó riego faltando 30 días para el corte. En este momento de aplicación se presentó un incremento promedio de caña de 37.76 T/ha, azúcar 0.90 T/ha, y una utilidad parcial de Q. 1,970.44/ha a Q. 2,997.10/ha respecto a no aplicar ningún riego precorte.

Los parámetros que se descartaron como posibles influencias ambientales fueron la ocurrencia de eventos de lluvia y el aporte capilar, ya que de acuerdo con los monitoreos realizados se determinó que el final de la época lluviosa para el año 2016 se dio en los meses de noviembre y diciembre en todas las localidades. Asimismo, el inicio de estas para el año 2017 ocurrió en el mes de mayo, no habiéndose registrado en el periodo de la investigación evento de lluvia alguno. Por su parte la instalación de pozos de observación a 2 m de profundidad no detectó nivel freático, por lo que se descartó el aporte capilar.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Marco conceptual

2.2.1.1 Importancia de la caña de azúcar

Dentro de los cultivos extensivos en Guatemala, la caña de azúcar es de gran importancia. Según Melgar (2014) en su publicación llamada “desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera y perspectivas”, el azúcar es el segundo producto agrícola en Guatemala en generación de divisas, contribuyéndose en una importante contribución a la economía del país.

La agroindustria azucarera guatemalteca ha venido creciendo permanentemente desde 1990. Lo que actualmente posiciona a Guatemala como el quinto país exportador de azúcar a nivel mundial, siendo el segundo a nivel latinoamericano y quedando como tercero en cuanto a productividad en toneladas métricas de azúcar por hectárea a nivel mundial (Melgar, 2014).

2.2.1.2 Fenología de la caña de azúcar

Dadas las condiciones climáticas y fisiográficas de la zona cañera de Guatemala, para el cultivo de caña de azúcar se han establecido 4 etapas fenológicas. De acuerdo con el tercio de la zafra en que se encuentren establecidas las plantaciones, así es como se le da priorización a la aplicación de riego. Las etapas de desarrollo que se manifiestan durante la época seca y que son objeto de riego son fundamentalmente las de germinación y macollamiento y una gran fracción de la elongación en plantaciones cosechadas al inicio de la zafra (noviembre, diciembre), la germinación y macollamiento e inicios de la elongación en campos establecidos en el segundo tercio de la zafra (enero-febrero), y riego en las etapas de macollamiento y formación de la cosecha o finales de la elongación (riego precorte) en variedades tardías. (Juárez & Muñoz, 1998).

De acuerdo con estudios realizados por Juárez & Muñoz (1998), las etapas de desarrollo que tienen lugar durante la época seca y que son objeto de riego son las de germinación y macollamiento, y una gran fracción de la elongación en plantaciones cosechadas al inicio

de la zafra, la germinación y macollamiento e inicios de la elongación en campos establecidos en el segundo tercio de la zafra y riego en la fase de formación de la cosecha o finales de la elongación en variedades tardías (riego precorte).

En el cuadro 12 se muestran las etapas en las que se encuentra conformada la fenología de la caña de azúcar, así como la duración de cada una de acuerdo con los resultados obtenidos por Juárez & Muñoz (1998).

Cuadro 12. Etapas fenológicas de la caña de azúcar.

| No. | Etapas fenológicas | Días de duración | Días totales |
|-----|----------------------|------------------|--------------|
| 1 | Iniciación (EF-1) | 30 | 30 |
| 2 | Macollamiento (EF-2) | 60 | 90 |
| 3 | Elongación (EF-3) | Variable | Variable |
| 4 | Maduración (EF-4) | 30 | 30+ |

Fuente: Juárez & Muñoz, 1998.

Se ha determinado para la zona cañera de Guatemala, que la primera etapa de desarrollo está de 0 a 3 meses de edad del cultivo, caracterizándose por un aumento notable en el número de tallos de hasta 120,000 plantas/ha y un ritmo de crecimiento lento de 0.25 cm/día a 0.50 cm/día (Juárez & Muñoz, 1998).

La segunda etapa de desarrollo inicia a los 3 meses, cuando la tasa de crecimiento aumenta hasta 2.50 cm/día, acompañada de una reducción drástica en la población por competencia. La última fase, dependiendo de la variedad y las condiciones climáticas, se da entre los 7 y 8 meses caracterizándose por la acumulación de azúcares en los tallos y puede estar manifestada por la inducción de la floración (Juárez & Muñoz, 1998).

2.2.1.3 Variedad CP72-2086

Durante el periodo de 1990 a 2010 en cuanto a la composición varietal de la caña de azúcar, se observó un predominio de las variedades C.P. provenientes de la Estación Experimental

de Canal Point en Florida. De todas las variedades destaca la CP72-2086, que en la zafra 2002/2003 ocupó el 75 % del área sembrada (Melgar, 2014).

A la variedad CP72-2086 se le ha denominado “súper variedad” porque ha ocupado más del 40 % del área sembrada durante más de 10 años con más de 8 T/ha de azúcar. Casos similares se han registrado en Brasil en los años 80 con la variedad NA5679, en Louisiana con la variedad LCP85-845 en los años 90, en Australia con la variedad Q124 y en Colombia con la variedad CC85-92 (Melgar, 2014).

A. Características morfológicas

El hábito de crecimiento de los tallos es semirrecto, posee poco deshoje natural, la cantidad de follaje es intermedio; el entrenudo es de color verde amarillento con manchas negras, la forma de crecimiento es cilíndrico y ligeramente curvado al costado de la yema; el nudo tiene una forma de crecimiento obconoidal, yema redonda con alas de base angosta, anillo de crecimiento protuberante; la vaina posee un desprendimiento intermedio, color rosado y quebradizo por el centro, tiene presencia de afate intermedio; la lámina foliar posee un borde aserrado; la aurícula presenta una forma transicional y la lígula generalmente es deltoide con rombo; el cuello es café con superficie semi-lisa (Comparini, 2006).

B. Características agronómicas

Es de buena germinación, macollamiento bueno y temprano, buen desarrollo cuando se siembra en la época adecuada; despaje regular, las hojas permanecen adheridas al tallo, se desprenden fácilmente con la mano, resistente al acame, regular tenacidad, abundante floración, prospera bien en suelos húmedos y bajo riego a una altitud de 0 m a 220 m s.n.m., se adapta bien a suelos francos, franco-limosos, franco arenoso y franco arcilloso profundos. A pesar de que posee una coloración verde amarillento en los primeros estadios de desarrollo presenta tonalidades cafés. Posee buen vigor y buen cierre de calle. Su hábito de crecimiento es erecto sin embargo tiende a acamarse, aunque no en su totalidad (Comparini, 2006).

2.2.1.4 Riego en la caña de azúcar

El agua, para todo ser vivo es de vital importancia para su subsistencia. Es por ello que las actividades de riego en todos los cultivos juegan un papel muy importante, ya que evitan el estrés hídrico en los mismos; con lo que facilitan el desarrollo adecuado de cada planta.

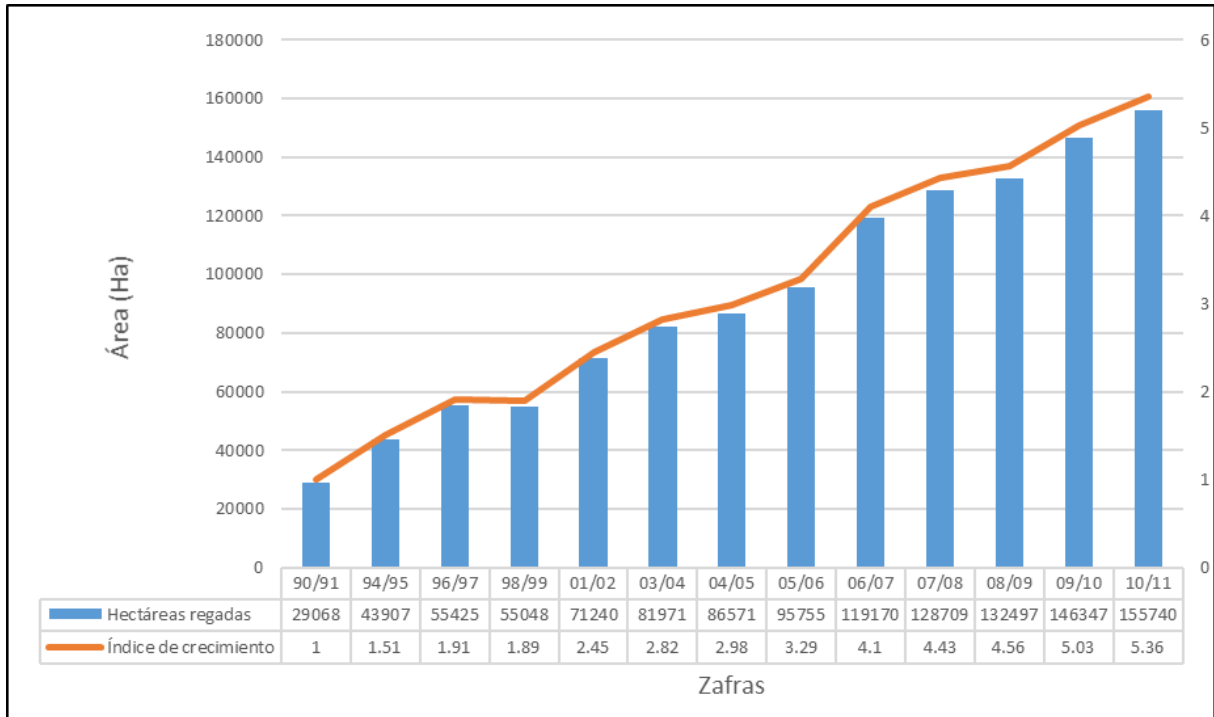
El riego es una operación costosa, por lo que el mismo amerita realizar estudios para establecer pautas científicas en cuanto al uso racional del agua. Un buen programa de manejo de agua requiere entre otros, del conocimiento de las necesidades hídricas y la evapotranspiración en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo (Juárez, 2000).

La programación de los eventos de riego abarca aspectos como la lámina de agua a regar, el momento de la aplicación, el intervalo entre aplicaciones, entre otros. Para cubrir estos aspectos es necesario determinar las demandas del cultivo en relación con las características del suelo para asegurar un uso eficiente del recurso hídrico.

Por lo tanto, el riego en la zona cañera del país es una actividad importante, ya que se desarrolla junto con el periodo seco de la zafra (15 noviembre a 15 de mayo). Según estudios realizados por Castro (2014), el despegue de la actividad del riego en la zona cañera inició en el año 2000, fecha donde se tenía un 61 % de área regada. Sin embargo, para el período de zafra 2009/2010, el porcentaje de área regada llegó a ser del 80 %. (Castro, 2014), lo cual representa un considerable aumento del 19 %.

La función del riego es la de asegurar la población inicial e incrementar el peso de los tallos, para tal propósito es que se realizan riegos pos-corte o siembra y riegos precorte para cada una de las etapas fenológicas de acuerdo a los requerimientos hídricos en las mismas (Castro, 2014).

Tal y como se observa en la figura 6, las actividades de riego en efecto han ido incrementando con cada período de zafra, lo que supone un incremento en la productividad del cultivo a nivel general.



Fuente: CENGICAÑA, 2010.

Figura 6. Crecimiento en la actividad del riego en la zona cañera de Guatemala.

En Guatemala se irrigan alrededor de 80,970 ha de cultivo de caña de azúcar, lo que equivale a un 43.6 % del área total (186,000 ha). Para regar ésta extensión, anualmente se invierten U.S. \$. 11.2 millones. La aplicación de riego por aspersión representa el 80 % del gasto total, seguido por lo que se invierte en riego por gravedad que es un 14 % y por último un 6 % para regar con sistemas de bombeo gravedad (Donis, 2004).

2.2.1.5 El riego en el incremento del rendimiento de la caña de azúcar

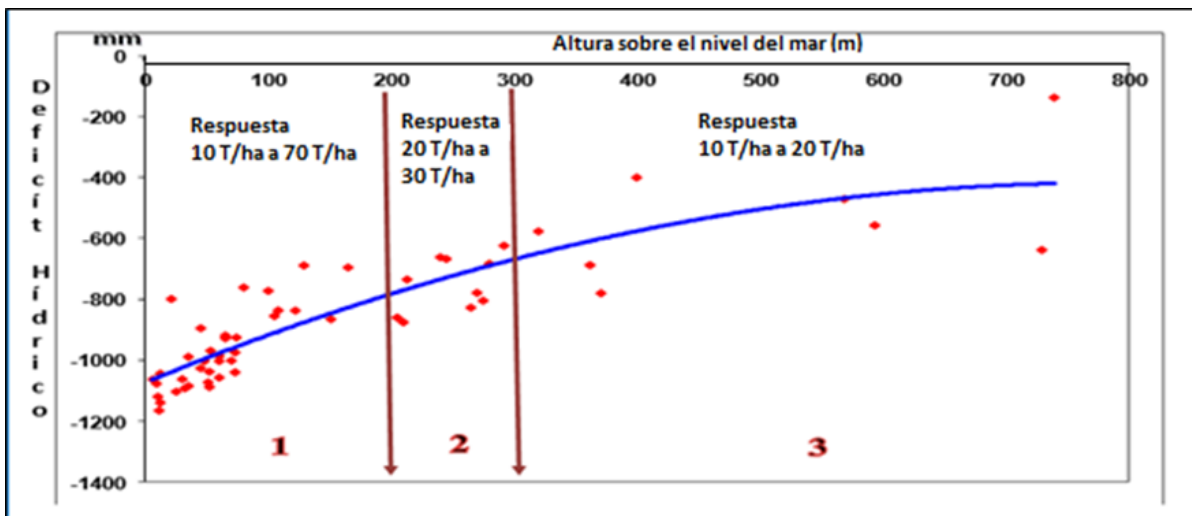
Para la zona cañera de Guatemala se establecen una gran variedad de microclimas, tipos de suelo y diferentes comportamientos del nivel freático, factores que combinados entre sí caracterizan los diferentes ambientes en los que se desarrollan las variedades de caña de azúcar (Juárez & Muñoz, 1998).

Las condiciones en que se maneja el cultivo en la costa sur son muy heterogéneas. En los diferentes tipos de suelos se generan diversas capacidades de almacenamiento y/o aportes

de agua, el clima, proporciona varios comportamientos respecto al déficit hídrico; según la altura sobre el nivel del mar, la caña al sembrarse en distintas fechas produce que la respuesta del cultivo al riego sea diferente (Castro, 2014).

La respuesta del cultivo de caña de azúcar no se puede relacionar solamente con el riego, ya que existen más factores que influyen en el desarrollo del mismo. Tales como el clima, el suelo, el estrato altitudinal, la etapa fenológica, aporte capilar, entre otros. Algunos valores obtenidos por Castro & Rosales (2008) por la aplicación de riego en diferentes condiciones de suelo son que en suelos franco limosos con aporte capilar se obtuvo un incremento en caña debido al riego de 10 T/ha, mientras que en suelos con predominio de arena el incremento fue de 70 T/ha, mismas que coinciden en zonas donde el déficit hídrico por la época seca es muy marcado. Mientras que en áreas donde el periodo seco no influye significativamente en el desarrollo del cultivo se obtuvieron incrementos de entre 10 T/ha a 30 T/ha.

La priorización de estratos se debe a que entre más cerca del nivel del mar se siembre, mayor será el déficit hídrico que se debe contemplar, lo cual se esquematiza en la figura 7.



Fuente: Castro, 2014.

Figura 7. Priorización de la programación del riego según estrato altitudinal.

2.2.1.6 El riego precorte y su importancia

El riego precorte debe ser una actividad agronómica importante que debe de programarse, especialmente en las siembras o cortes que se realizan en el tercer tercio de la zafra (Castro, Ramírez, Yots, & Rosales, 2008). En estas condiciones, la etapa de elongación se encuentra en su fase final y coincide con el período de verano (Castro & Montufar, 2004).

Los efectos por estrés hídrico en la etapa de elongación pueden ser negativos en el rendimiento final de caña en T/ha, principalmente en suelos con predominio de arena o arcilla. El riego precorte además de incrementar el rendimiento, se le atribuye que después del corte, el apareamiento del rebrote es mucho más rápido y vigoroso, así mismo, el incremento en número de socas, el mejoramiento de la germinación en áreas tratadas con madurante. Se le atribuyen como inconvenientes el incremento en el costo de producción y el desarrollo de malezas (Castro & Montufar, 2004).

El riego precorte se justifica debido a que el crecimiento y desarrollo de la etapa de elongación se realiza en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, meses que causan déficit hídrico al cultivo de caña de azúcar (Castro, Ramírez, Yots, & Rosales, 2008).

Estudios realizados por Castro, Ramírez, Martínez, Tánchez & Celada (2009) reportan que en suelos con predominio de arena se han obtenido incrementos en peso de caña por la aplicación de riego precorte en el tercer tercio de zafra con valores de 27 T/ha a 36 T/ha, mientras que en suelos con presencia de arcilla se han presentado incrementos desde 15 T/ha a 28 T/ha con la aplicación de 5 riegos con una frecuencia de 25 días. En condiciones de suelos con vetas de arena la respuesta fue relevante, ya que existieron diferencias de entre 70 T/ha a 84 T/ha. Dicho estudio se realizó con una frecuencia de riego de 25 días en localidades que se encontraban ubicadas en el estrato bajo de la zona cañera de Guatemala.

En otro estudio realizado por Castro, Ramírez, Yots & Rosales (2008) en una localidad ubicada en la zona oeste del área cañera, con caña del tercer tercio, y con predominio de un suelo arcilloso se obtuvieron resultados positivos debido a la aplicación de riegos previos

al corte del cultivo. En dicho estudio se obtuvo que cuando no se aplicó riego precorte, el rendimiento de caña promedio fue de 99 T/ha, mientras que el rendimiento obtenido cuando se aplicó este tipo de riego presentó incrementos entre 22 T/ha a 32 T/ha con las siguientes frecuencias de riego: a) 20 días – 6 riegos, b) 25 días - 5 riegos, y c) 30 días - 4 riegos, con un sistema de riego por gravedad.

En una investigación realizada en conjunto con el Centro Universitario de Sur Occidente – CUNSUROC y Castro & Montufar (2004), también se obtuvieron resultados positivos en el rendimiento del cultivo de caña de azúcar debido a la implementación de este tipo de riego.

El estudio fue realizado en una localidad situada a 42 m s.n.m. en el municipio de la Gomera, Escuintla, en un cultivo del tercer tercio. En dicha investigación se obtuvieron incrementos en el peso de caña con respecto a no regar entre 14.87 T/ha a 18.25 T/ha, aplicando riegos de la siguiente forma: a) 6 riegos de 1.5 h, b) 7 riegos de 1 h, y c) 13 riegos de 0.5 h.

En general, el riego precorte tiene como objetivo asegurar e incrementar el peso de los tallos molederos en la etapa final de la elongación que se realiza en el tercer periodo de zafra, a lo cual es importante tomar en cuenta el aporte capilar del suelo, ya que la respuesta del cultivo a la aplicación de este tipo de riego puede no presentar efectos debido a que la humedad en el suelo es suficiente para satisfacer o mantener la estabilidad de la caña (Castro & Rosales, 2008).

2.2.1.7 Capilaridad en el suelo

La capilaridad sucede cuando las fuerzas intermoleculares adhesivas entre el líquido y el sólido son mayores que las fuerzas intermoleculares cohesivas del líquido. Este es el mismo efecto que causa que materiales porosos absorban líquidos tal es el caso del suelo, en el que el movimiento capilar puede darse de forma horizontal, y/o vertical.

El aporte capilar proveniente del nivel freático, debe considerarse como una entrada de agua sin costo, por ello su cuantificación es un factor importante para ahorrar agua en la temporada de riego y de esta manera minimizar el costo de energía, combustible y mano de obra (CENGICAÑA, 2015).

En suelos arenosos poco profundos (vetas de arena) los aportes del nivel freático y de la humedad residual del suelo son despreciables ya que la capilaridad se rompe, por lo que los requerimientos de agua deben ser satisfechos con riego y con la lluvia efectiva que puede ocurrir durante el periodo seco (Juárez & Muñoz, 1998).

2.2.1.8 Sistema de riego por aspersión tipo cañón

En la zona cañera de Guatemala, este es un sistema móvil en todos sus componentes, funciona con motobomba, tubería en la conducción y distribución con aspersores de alta presión (40 lb/in² a 50 lb/in²), el número de aspersores en operación varía entre 2 a 8, y la eficiencia de distribución del agua a nivel de parcela debe estar entre 75 % y 80 %.

2.2.1.9 Uniformidad de riego

Las evaluaciones de uniformidad de riego se realizan con el fin de conocer la forma en la que se está distribuyendo el agua producto de un evento de riego en un área determinada.

La uniformidad del riego indica el grado de igualdad de la dosis recibida de agua en los diferentes puntos de un área en específico. Una baja uniformidad implica que hay zonas donde puede haber exceso de agua o bien, que estén con deficiencia (Sevilla, 2007).

2.2.1.10 Coeficiente de uniformidad de riego

El Coeficiente de uniformidad (CU) de Christiansen es un parámetro muy utilizado en el riego por aspersión. Este coeficiente es equivalente a la Uniformidad de Distribución (UD) correspondiente a la media del 50 % del área menos regada (Montero, 2000).

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad (CU) de riego se debe seleccionar un sector o área de riego representativo de todo el sistema, según topografía, tipo de suelos, condición de las plantas, etc. Del sector se eligen 2 aspersores donde se distribuirá una red de recipientes entre ellos, abarcando el área de mojado de los aspersores hasta el punto de intersección con el siguiente lateral.

Los recipientes se distribuirán en esta área antes del riego, una vez terminado el riego, se irá colectando y midiendo la cantidad de agua, pluviometría acumulada por cada recipiente, para ello será necesario una probeta (Villaviciencio & Villablanca, 2010).

Los datos obtenidos se tabulan y se toma en cuenta el diámetro del recipiente receptor para calcular la lámina de agua aplicada en el punto muestreado (Castro, 2004). A partir de los datos de lámina calculados, ya es posible calcular la lámina promedio de riego, el coeficiente de uniformidad y la uniformidad de distribución.

En gabinete se lleva el cálculo del coeficiente de uniformidad de riego, la uniformidad de distribución y la lámina promedio regada. Este coeficiente determina el grado de variación que existe entre la lámina aplicada y la lámina promedio.

El Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en riego se calcula usando la ecuación siguiente:

$$CU = 100 * \left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - M|}{M * n} \right]$$

Dónde:

X_i = Pluviometría de cada recipiente

M = Pluviometría promedio de todos los recipientes

n = Cantidad de pluviómetros instalados

Uno de los criterios de clasificación del coeficiente de uniformidad que se emplea se detalla en el cuadro 13.

Cuadro 13. Calificación de los coeficientes de uniformidad de riego.

| Coeficiente de uniformidad (%) | Calificación |
|--------------------------------|--------------|
| > 95 | Excelente |
| 85 - 95 | Buena |
| 80 - 85 | Aceptable |
| 70 - 80 | Pobre |
| < 70 | Inaceptable |

Fuente: Salas, 2008

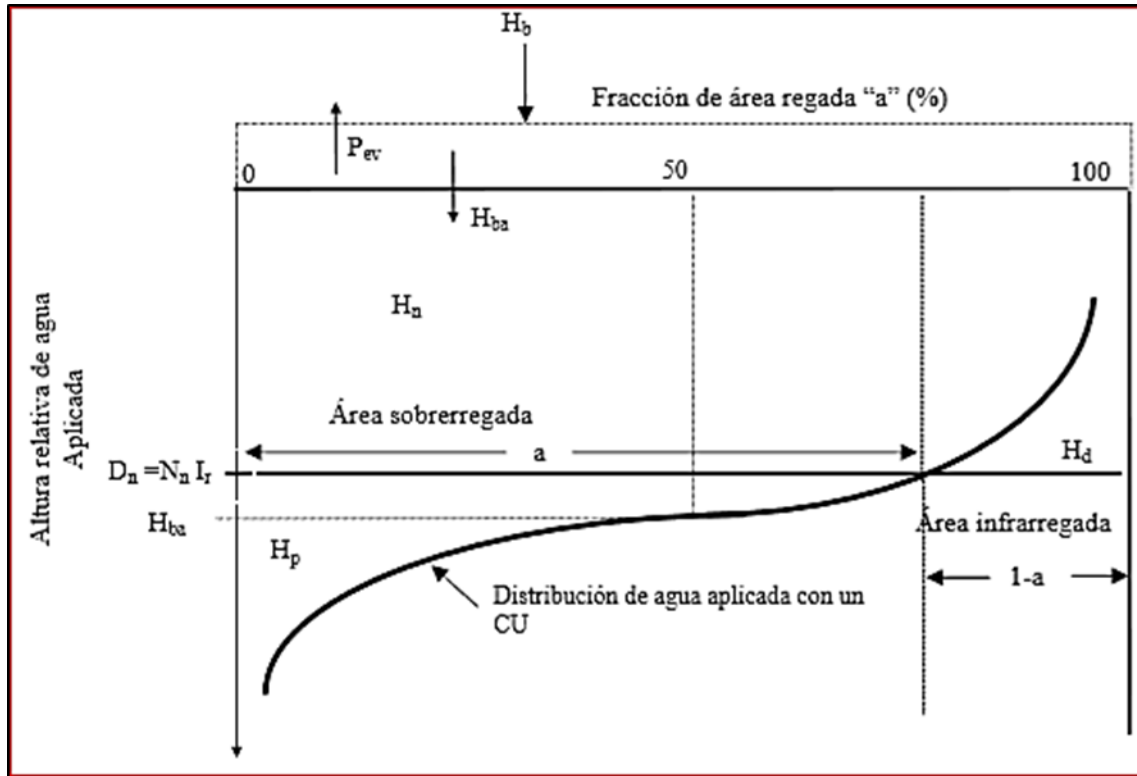
A. Uniformidad de distribución

La Uniformidad de Distribución (UD) se define como la relación entre alguna medida de mínima altura interceptada y la altura media interceptada. El sentido de mínimo lo proporciona la media de las menores alturas interceptadas en una fracción concreta de zona con planta. La media del 25 % menor es una de las más utilizadas.

$$UD_{25} = 100 * \left(\frac{\text{Altura media interceptada en el 25 \% de pluviometría menor}}{\text{Promedio general de pluviometría}} \right)$$

Un diagrama típico de la distribución del agua en un riego por aspersión puede ser el de la figura 8, que ilustra lo que ocurre cuando se riega una subunidad tratando de aplicar al menos la Altura Requerida (Hr) para satisfacer las necesidades del cultivo en una proporción "a" del área total, para lo que se necesita que el sistema descargue una Altura Bruta (Hb) que compense las pérdidas ligadas al proceso de riego (Montero, 2000).

Con el riego se aplicará al menos la Dosis Neta (Dn) o altura de agua requerida por el cultivo a una proporción "a" del área total de la parcela. Según esto será $Hr = Dn = (I_r N_n)$, siendo I_r el Intervalo entre Riegos y N_n la mejor estimación de las Necesidades Netas de riego.



Fuente: Montero, 2000.

Figura 8. Esquema de distribución del agua en sistemas de riego por aspersión en campo.

De la Altura Bruta Aplicada (H_b) se separan en primer lugar las Pérdidas Evitables (P_{ev}) correspondientes a fugas en las conducciones, lavado de filtros y tuberías, evaporación (aunque éstas son pérdidas inevitables en riego por aspersión), escorrentía, etc., e incluso el exceso de H_r sobre el déficit de humedad del suelo al aplicar el riego por elegir mal el momento o la cuantía del riego.

La Altura de Agua Infiltrada (H_{ba}), diferencia entre las dos anteriores ($H_{ba} = H_b - P_{ev}$), no se infiltra por igual en todos los puntos de la parcela por limitaciones en la uniformidad de reparto de agua del sistema de riego, sino de una forma semejante a la indicada en la figura anterior (una vez ordenada según su cuantía). Esta distribución de agua se ajusta en la generalidad de los casos del riego por aspersión y localizado a una distribución normal.

El resultado de un riego es que, como media, se infiltra una lámina H_b y una proporción de área "a" recibe al menos la lámina de agua que se pretendía aportar (H_r), quedando el resto ($1-a$) con déficit. El regante puede decidir qué fracción de área "a" quiere que quede bien regada, no resultando económicamente rentable en la generalidad de los casos que toda la parcela reciba al menos esa D_n .

La Uniformidad de Distribución (UD) establece que tan cerca o lejos se encuentra la lámina regada en el 25 % del área bajo riego en relación a la lámina media. Para el riego por aspersión se ha establecido un valor para el Coeficiente de Uniformidad de Distribución que esta entre el 62 % y el 75 % respectivamente (Hanson, 1995).

2.2.1.11 Madurantes en el cultivo de caña de azúcar

Cuando las condiciones naturales no son favorables para la maduración de la caña de azúcar, es posible inducirla aplicando productos químicos conocidos como madurantes. Un madurante es un compuesto que, aplicado en pequeñas cantidades, inhibe, fomenta o modifica de alguna forma, procesos fisiológicos de la planta. En caña de azúcar, estos compuestos actúan como reguladores de crecimiento que favorecen la mayor concentración de sacarosa (Almeida, 2003).

Los reguladores de crecimiento pueden afectar la maduración, ya sea mediante la Inhibición del crecimiento sin afectar la fotosíntesis, o actuando sobre las enzimas que catalizan la acumulación de sacarosa. La maduración es un proceso cuyo resultado es un balance entre la fotosíntesis y la respiración (Dávila, Torres, & Echeverri, 1995).

Los objetivos básicos de un programa de maduración química son: (1) obtener la máxima recuperación posible de azúcar; (2) estabilizar el contenido de azúcar; (3) obtener una ganancia adicional en un período de tiempo corto, sin deteriorar el cultivo; y (4) reducir la duración del período vegetativo entre cosechas (Arcilla & Villegas, 1995).

2.2.1.12 Factores que afectan la respuesta de la planta al madurante

Los rendimientos comerciales de un cultivo de caña de azúcar que ha recibido la aplicación de un madurante dependen de la variedad, el estado del cultivo en el momento de la

aplicación, la dosis aplicada de producto comercial, el número de semanas transcurrido entre la aplicación y el corte, la edad, y las condiciones del clima, especialmente de la precipitación (Arcilla & Villegas, 1995).

A. Variedad

Cada variedad responde en forma diferente a la aplicación de madurantes, dependiendo de su capacidad para concentrar azúcar asociada con factores de edad, clima, y suelo, principalmente.

B. Tonelaje de caña y estado del cultivo

La dosis de madurante varía de acuerdo con el tonelaje esperado y el área foliar del cultivo.

C. Edad de la planta

La recuperación de sacarosa después de la aplicación de madurante depende de la edad de la planta. Una de las condiciones esenciales para alcanzar una respuesta positiva consiste en hacerla al final de la etapa de crecimiento, un poco antes del inicio de la maduración fisiológica.

D. Tiempo entre la aplicación y el corte

El tiempo que debe transcurrir entre la aplicación del madurante y el corte del cultivo es variable entre las diferentes variedades de caña. Por lo tanto, en cada zona se debe determinar este periodo de tiempo.

E. Precipitación

El aumento de la humedad en el suelo por la precipitación o el riego favorece el crecimiento de los tallos, y en estas condiciones la aplicación de madurantes favorece un mayor incremento de sacarosa, a que ésta no se utilizara en los procesos de desarrollo. Esto indica que el máximo rendimiento posible que se puede obtener con el uso de madurantes se logra en los periodos de lluvias. En los periodos secos, las condiciones favorecen la maduración natural, e igualmente la aplicación de estos productos permite el máximo rendimiento

posible, pero en este caso se debe tener especial cuidado en la dosificación; ya que las plantas se encuentran en condición de estrés por falta de agua (Arcilla & Villegas, 1995).

La humedad interna en la planta de caña es el factor dominante para la síntesis y translocación de los azúcares. Cuando la planta se encuentra en desarrollo requiere un suministro adecuado de agua que le permita absorber los nutrientes del suelo, transportarlos al tallo y asimilarlos para realizar los procesos fisiológicos. Al momento del corte, es necesario reducir el contenido de humedad para aumentar la calidad del jugo.

Si el contenido de humedad en el suelo es bajo, la cantidad de agua presente en los entrenudos más jóvenes disminuye y como resultado el crecimiento se reduce en forma gradual y prácticamente es cuando se alcanza el punto de marchitamiento. Cuando el desarrollo de la planta se retarda, disminuye la demanda de azúcares y éstos se almacenan en los tallos. Sin embargo, cuando la humedad en el suelo se recupera por las lluvias o por el riego, se puede reiniciar el desarrollo vegetativo del cultivo, lo que disminuye la calidad de los jugos (Dávila, Torres, & Echeverri, 1995)

F. Otros factores

- El exceso de rocío en las hojas del cultivo al momento de la aplicación.
- La intensidad de la luz solar.
- La penetración del producto en el follaje.
- El tipo de suelo.
- El grado de dispersión del producto.
- La uniformidad de aplicación.

2.2.1.13 Efectos de los madurantes en la producción

Con la aplicación de madurantes es posible incrementar hasta un 25 % la producción de azúcar, pero para que esto ocurra es necesario que el producto disminuya el ritmo de crecimiento de la planta, de tal forma que en el tallo se almacene una cantidad mayor de sacarosa.

Entre el momento de la aplicación y 6 a 12 semanas después, las plantas que reciben dosis adecuadas pueden presentar un crecimiento entre 10 cm y 25 cm menor al que tendrían si no hubieran recibido dicha aplicación. Si lo anterior tuviera n efecto directo en la producción, se esperarían disminuciones entre 3 % y 8 % por efecto del madurante; sin embargo, se deben tomar en cuenta los siguientes factores.

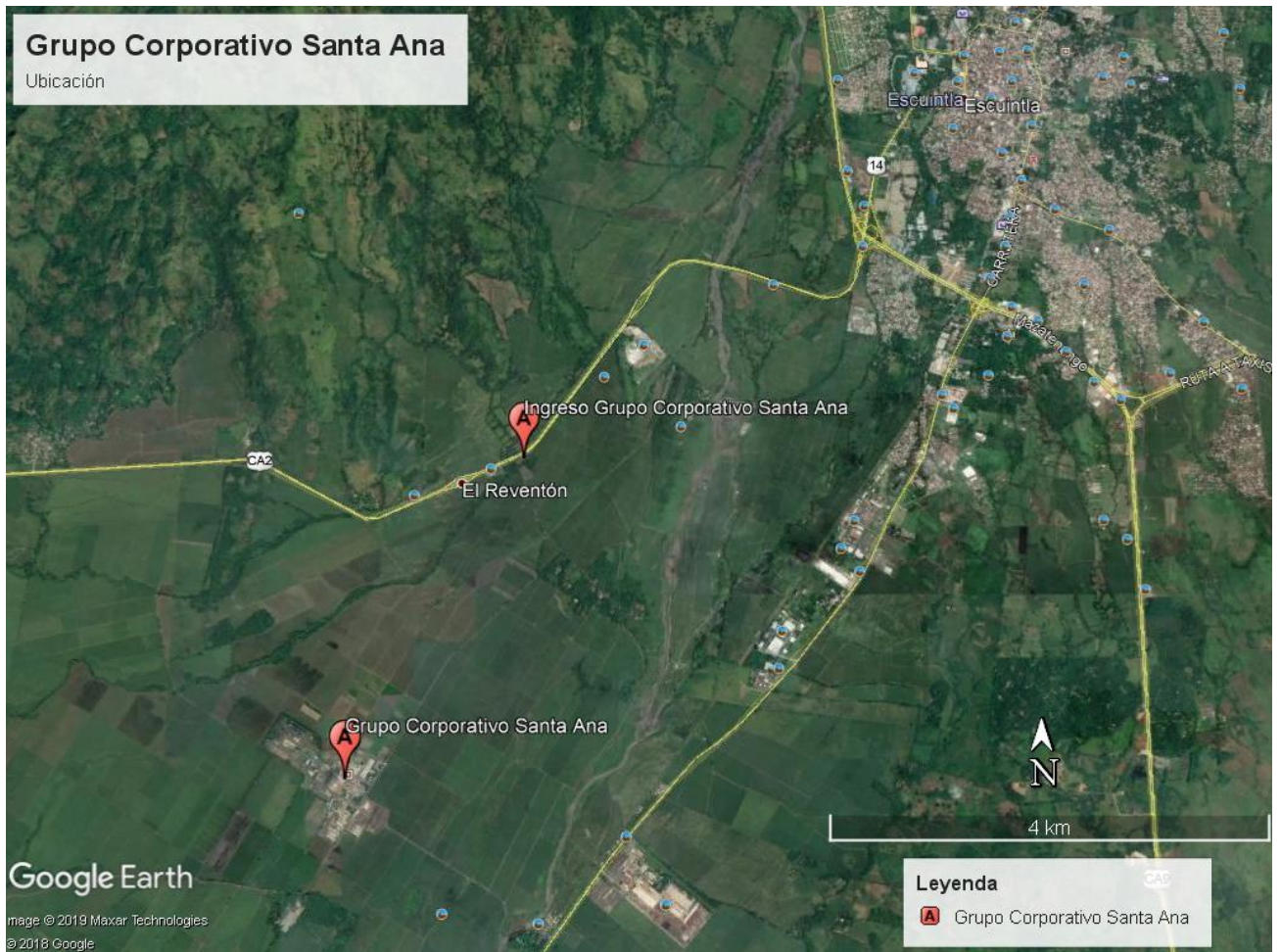
- El mayor crecimiento de las plantas que no reciben madurantes se debe, en parte, al desarrollo del cogollo, el cual se deja como residuo en el campo al momento de la cosecha. Por el contrario, los cogollos de las plantas que reciben madurante son más pequeños.
- El diámetro de los tallos de las plantas que reciben madurantes y su peso por unidad de longitud tienden a ser mayores, como resultado de la limitación en el crecimiento.

El madurante incrementa de manera apreciable el contenido de sacarosa en el tercio superior del tallo, lo que justifica un corte más alto al momento de la cosecha. En plantas sin madurantes el contenido de sacarosa en esta parte del tallo es bajo.

2.2.2 Marco referencial

2.2.2.1 Ubicación

El Grupo Corporativo Santa Ana se localiza en la finca Cerritos, a 65.6 km de la ciudad de Guatemala. Se encuentra a una altitud media de 220 m s.n.m. Está situado a 4.5 km del municipio de Escuintla, colinda al Norte con la carretera que conduce hacia Santa Lucia Cotzumalguapa, al Sur y Este con el municipio de Masagua, y al Oeste con la finca Rancho María (figura 19). Las instalaciones cuentan con una extensión de 423.24 ha (Pérez & Solares, 2008).



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 9. Ubicación Grupo Corporativo Santa Ana.

2.2.2.2 Extensión

La empresa cuenta con un área productiva de 25,002.86 ha, dividido en 7 regiones, cuyas extensiones pueden observarse en el cuadro 14, teniendo cada región un máximo del 18 % del área productiva de la empresa.

Cuadro 14. Extensión del área productiva en Grupo Corporativo Santa Ana distribuida en sus respectivas regiones.

| Región | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Área (ha) | 4,582.28 | 3,223.85 | 3,566.97 | 2,204.77 | 4,097.43 | 3,398.72 | 3,928.86 |
| Área (%) | 18.33 | 12.89 | 14.27 | 8.82 | 16.39 | 13.59 | 15.71 |
| Total (ha) | 25,002.89 | | | | | | |

Fuente: elaboración propia, 2017.

2.2.2.3 Sistemas de riego utilizados

Para todos los eventos de riego se estableció utilizar la misma categoría de motobomba con tipo de aspersor komet twin 101, con un diámetro de mojado de 90 m, y un diámetro de boquilla de 0.024 m (ver ficha técnica en cuadro 41A), con lo cual se minimizó la variación en los eventos de riego debidos al equipo utilizado. El modelo de motor empleado corresponde a la marca John Deere, en el modelo 4045TF250 (ver ficha técnica en figura 22A) y el modelo de bomba utilizado corresponde a la marca Cornell; en el modelo 4HH-EM (ver ficha técnica en figura 23A).

La tubería principal utilizada fue de aluminio con 0.152 m (6 in) de diámetro, mientras que en los laterales fue de 0.127 m (5 in) de diámetro. Por su parte, la distancia desde el punto de bombeo hacia el área de riego fue variable al igual que la longitud de los laterales. El esquema básico de la distribución de la tubería para el sistema de riego empleado y los tratamientos en cada localidad se muestran en las figuras 18A a 21A.

2.2.2.4 Variedad de caña de azúcar utilizada

La variedad de caña de azúcar sujeta a la investigación fue la CP72-2083, ya que es resistente al acame, de regular tenacidad, abundante floración, prospera bien en suelos húmedos y bajo riego a una altitud de 0 m a 220 m s.n.m., y porque se adapta bien a suelos francos, franco-limosos, franco arenoso y franco arcilloso profundos.

La condición del cultivo en todas las localidades fue la misma en cuanto al número de cortes (0 cortes – plantía), distanciamiento de surcos (1.6 m) y sistema de cosecha (mecanizado).

2.2.2.5 Localidades de investigación

A. Primera localidad, finca La Giganta (pante 02)

a. Ubicación

Finca La Giganta, en el pante 02, la cual está bajo la administración de la región 1, y contempla un área de 10.10 ha. Dicha finca se encuentra ubicada en el municipio de Taxisco, Santa Rosa, a inmediaciones del kilómetro 111 de la ruta 5 que se desvía de la carretera CA2 que conduce hacia el centro urbano del municipio de Taxisco. La altura sobre el nivel del mar del lote donde se establecieron los tratamientos esta alrededor de los 17 m.

b. Suelo

La textura del suelo está clasificada como Franco Arenosa, el cual expresa una Capacidad de Campo (CC) de 29.82 %, un Punto de Marchitez Permanente (PMP) de 12.38 % y una Densidad Aparente (Dap) de 1.12 g/cm³.

c. Clima

La temperatura media anual es 26.30 °C, la precipitación media anual es de 2,296 mm. El mes más seco es enero con 1 mm de lluvia, mientras que la mayor parte de la precipitación se registra en septiembre con un valor medio de 476 mm

B. Segunda localidad, finca Cuernavaca (pante 03)**a. Ubicación**

Finca Cuernavaca, en el pante 03, la cual está bajo la administración de la región 1, y contempla un área de 20.81 ha. Dicha finca se encuentra ubicada en el municipio de Taxisco, Santa Rosa, específicamente en las cercanías de la aldea El Panal. La altura sobre el nivel del mar está alrededor de los 15.60 m.

b. Suelo

La textura del suelo está clasificada como Franco Arenosa, el cual expresa una Capacidad de Campo (CC) de 29.67 %, un Punto de Marchitez Permanente (PMP) de 12.19 % y una Densidad Aparente (Dap) de 1.14 g/cm³.

c. Clima

La temperatura media anual es 26.30 °C, la precipitación media anual es de 2,296 mm. El mes más seco es enero con 1 mm de lluvia, mientras que la mayor parte de la precipitación se registra en septiembre con un valor medio de 476 mm.

C. Tercera localidad, finca Portuaria (pante 13)**a. Ubicación**

Finca Portuaria, en el pante 13, la cual está bajo la administración de la región 3, y contempla un área de 11.33 ha. Dicha finca se encuentra ubicada en el municipio de San José, Escuintla, a un costado de la carretera CA9 a inmediaciones del kilómetro 100, la cual conduce hacia Puerto Quetzal. La altura sobre el nivel del mar está alrededor de los 13.20 m.

b. Suelo

La textura del suelo está clasificada como Franco Arenosa, el cual expresa una Capacidad de Campo (CC) de 29.69 %, un Punto de Marchitez Permanente (PMP) de 12.06 % y una Densidad Aparente (Dap) de 1.15 g/cm³.

c. Clima

La temperatura media anual es 27.50 °C, la precipitación es de 1,357 mm al año. El mes más seco es enero con 0 mm, mientras que en septiembre se registran valores de 277 mm.

D. Cuarta localidad, Finca Portuaria, pante 15**a. Ubicación**

Finca Portuaria, en el pante 15, la cual está bajo la administración de la región 3, y contempla un área de 9.48 ha. Dicha finca se encuentra ubicada en el municipio de San José, Escuintla a un costado de la carretera CA9, a inmediaciones del kilómetro 100, la cual conduce hacia Puerto Quetzal. La altura sobre el nivel del mar del lote donde se establecieron los tratamientos esta alrededor de los 13.20 m.

b. Suelo

La textura del suelo está clasificada como Franco Arenosa, el cual expresa una Capacidad de Campo (CC) de 29.24 %, un Punto de Marchitez Permanente (PMP) de 11.48 % y una Densidad Aparente (Dap) de 1.13 g/cm³.

c. Clima

La temperatura media anual es 27.50 °C, la precipitación es de 1,357 mm al año. El mes más seco es enero con 0 mm, mientras que en septiembre se registran valores de 277 mm.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Determinar el efecto sobre la producción de caña y azúcar en la variedad CP72-2086 a causa de la aplicación de un riego precorte.

2.3.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar la respuesta en el tonelaje y producción de azúcar por la aplicación de un solo riego precorte.
2. Establecer el momento oportuno para la aplicación de un riego estratégico (precorte) al cultivo de caña de azúcar.
3. Evaluar la calidad de los eventos de riego programados con base en el coeficiente de uniformidad de Christiansen y la uniformidad de distribución.
4. Realizar un análisis financiero para determinar las utilidades en la implementación de un riego precorte en el cultivo de caña de azúcar.

2.4 HIPÓTESIS

La aplicación de un riego precorte en el cultivo de caña de azúcar en el último tercio de la época de cosecha influirá en el aumento del rendimiento de caña (T/ha) y en la productividad de azúcar (T/ha).

2.5 METODOLOGÍA

2.5.1 Tratamientos y distribuciones

El sistema de riego utilizado fue el de riego por aspersión tipo cañón. Asimismo, ya que dentro del manejo general que se le da al cultivo está la aplicación de madurantes (herbicidas), por lo que esta práctica fue aplicada a los lotes de investigación por igual, asegurando que no hubo influencia o sesgo en las variables medibles. La aplicación de madurantes se realizó 50 días precorte y los tratamientos (cuadro 15) fueron implementados después de la aplicación del mismo.

Cuadro 15 Descripción de los tratamientos para investigación en riego precorte.

| Tratamiento | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------|---------|-----------|---------|---------|
| Momento de aplicación | Ninguno | 20 dac* | 30 dac | 40 dac |
| La Giganta (pante 02) | No | 348 dds** | 338 dds | 328 dds |
| Cuernavaca (pante 03) | | 335 dds | 325 dds | 315 dds |
| Portuaria (pante 13) | | 348 dds | 338 dds | 328 dds |
| Portuaria (pante 15) | | 348 dds | 338 dds | 328 dds |

Fuente: elaboración propia, 2017.

*dac= Días antes del corte

**dds= Días después de la siembra, edad del cultivo

El tiempo de riego para cada tratamiento fue de 2 h (decisión administrativa), y la lámina aplicada fue determinada con base a una evaluación de uniformidad de riego, mismas que se realizaron en el momento en que se realizó el evento de riego.

Cada tratamiento se implementó en cuatro localidades de forma semicomercial. Es decir, un grupo con los cuatro tratamientos se estableció en un lote específico, y otro grupo en un lote distinto. Así, hasta establecerlo en cuatro localidades diferentes.

2.5.1.1 Tratamiento uno (1)

La función del primer tratamiento consistió en servir como testigo absoluto en la investigación, ya que es con este que se logró comparar los resultados de los demás

tratamientos. Este tratamiento es también llamado “convencional”, ya que a este no se le aplicó ningún riego precorte. Ya que es así como se maneja actualmente a nivel administrativo.

2.5.1.2 Tratamiento dos (2)

El momento de riego aplicado en este tratamiento se efectuó cuando hacían falta 20 días para el corte, dependiendo de la localidad en la que se encontraba establecido.

2.5.1.3 Tratamiento tres (3)

El momento de riego efectuado en este tratamiento se desarrolló faltando 30 días para la fecha de corte del mismo.

2.5.1.4 Tratamiento cuatro (4)

El último tratamiento fue el que se aplicó faltando 40 días para el momento de corte de acuerdo a la localidad en la que se encontraba establecido.

2.5.2 Diseño experimental

El diseño de los lotes de investigación se basó en un diseño a nivel semicomercial con un diseño de bloques al azar, ya que los tratamientos fueron distribuidos en las unidades experimentales dentro de cada bloque aleatoriamente.

Este tipo de experimento fue seleccionado porque se tienen dudas acerca de la homogeneidad del ambiente o cuando, por experiencia, se sabe de su heterogeneidad (López, 2008).

2.5.2.1 Unidad experimental

Las dimensiones de cada unidad experimental para los tratamientos tuvieron de ancho 45 m, siendo el largo total de lote un valor variable debido a que los surcos se encontraban dispuestos de forma perpendicular al lado más extenso del lote donde se implementaron. El número total de surcos por cada unidad experimental fue de 28, teniendo en cuenta que el distanciamiento entre surcos fue de 1.60 m.

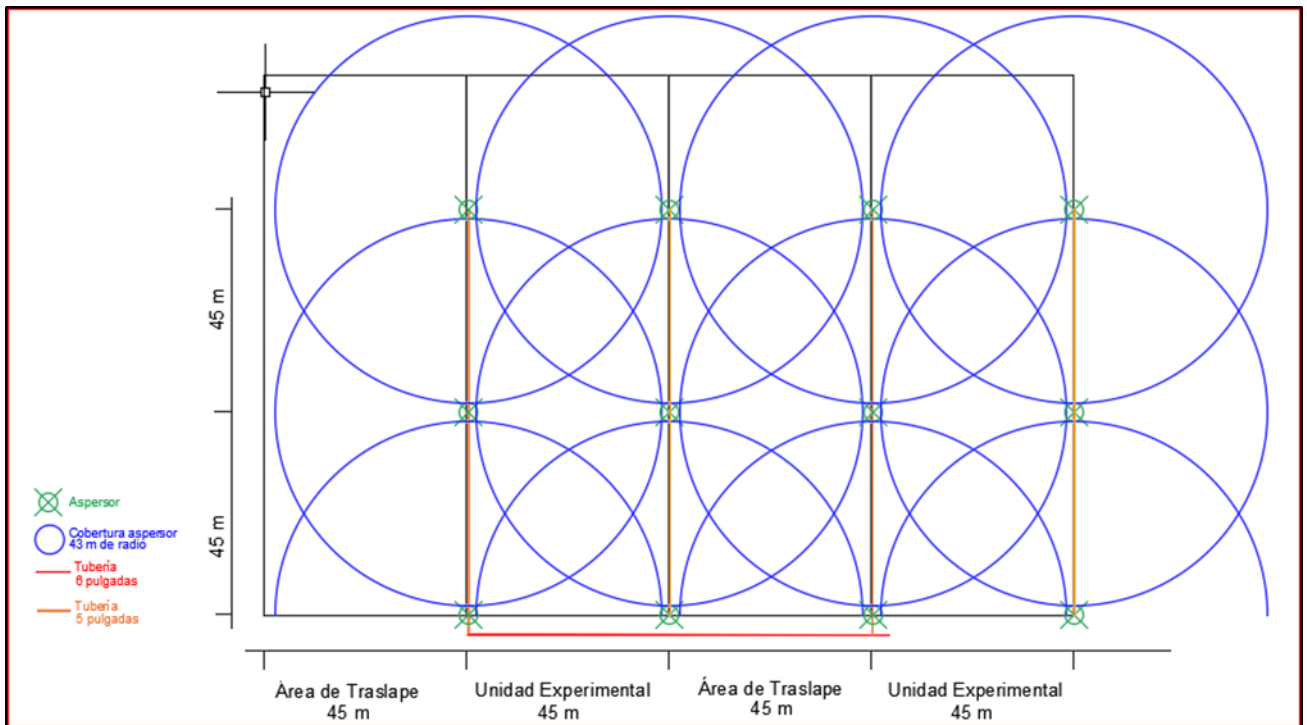
2.5.2.2 Sistema de riego empleado

El sistema que se utilizó fue el de aspersión tipo cañón, con un marco de riego que se de 45 m * 45 m, es decir que hubo una separación entre aspersores y laterales igual a 45 m, la cual fue el área de evaluación de la aplicación de riego.

A. Operación del sistema de riego

La forma en la que se operó el sistema en cada evento de riego consistió en el uso de 2 aspersores en línea por posición y turno de riego, el cual tuvo una duración de 2 h, dejando 2 aspersores en espera para comenzar a operar al término de un turno de riego. Así hasta que se cubrió toda el área de estudio por cada tratamiento.

La representación gráfica de lo descrito en los apartados anteriores se presenta en la figura 10.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 10. Esquema general de las unidades experimentales a manejar durante el desarrollo de la investigación.

2.5.2.3 Arreglo espacial

Debido a que dentro de cada lote se tuvieron los cuatro tratamientos, dentro de éstos se dejó un área denominada “área de traslape” (figura 11). En esta área es donde se produjo el traslape de la lámina de riego aplicada en los diferentes tratamientos, por lo que no fue tomada en cuenta al momento de realizar la recopilación de datos para su análisis en la investigación, ya que no pertenece a ningún tratamiento en específico.

Con esto se trató de mantener la uniformidad en la lámina de riego que fue aplicada en cada uno de los tratamientos.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 11. Croquis de campo para investigación riego precorte.

De acuerdo con la figura anterior, se puede apreciar un esquema básico de la distribución de los tratamientos que se emplearon en cada lote de investigación (localidad).

En cuanto al área de traslape, esta tuvo un ancho igual al marco de riego (45 m * 45 m) que se empleó en cada tratamiento con el fin de evitar el traslape de las láminas de riego aplicadas en cada uno de ellos, a excepción del área de traslape que se ubicaba en el borde de cada lote (borde libre). Este último tuvo un ancho menor, pues solamente se buscó evitar el efecto de borde en el tratamiento respectivo.

La dimensión de la unidad experimental por localidad se presenta en el cuadro 16.

Cuadro 16. Largo promedio de parcelas por localidad.

| Localidad | Largo de parcela | Ancho de parcela |
|---------------|------------------|------------------|
| La Giganta 02 | 250 m | 45 m |
| Cuernavaca 03 | 263 m | 45 m |
| Portuaria 13 | 326 m | 45 m |
| Portuaria 15 | 239 m | 45 m |

Fuente: elaboración propia, 2017.

2.5.2.4 Variables de respuesta

A. Rendimiento de caña (T/ha)

Se efectuó dentro de la planta procesadora de la empresa después de realizado el corte del cultivo con el sistema de cosecha mecanizada en el tercio correspondiente, el cual se expresó como T/ha.

B. Productividad de azúcar (T/ha)

El valor de la producción de azúcar por cada tratamiento y localidad fue proporcionado por la administración de la planta procesadora de la empresa, el cual se expresó como T/ha.

C. Variables auxiliares

Estas fueron: a) la altura de la planta, b) largo de los entrenudos, y c) diámetro de tallo.

La medición de estas variables se realizó una semana antes del momento de la aplicación del riego y una semana antes de la fecha de corte. El propósito fue conocer que tanto afecta el riego en el desarrollo del cultivo en sí, a parte del rendimiento y productividad del mismo.

La toma de datos para estas variables consistió en la delimitación de surcos de evaluación, los cuales se establecieron para cada tratamiento en cada localidad. Se marcaron e identificaron 10 plantas al azar dentro del área destinada por tratamiento para los dos muestreos realizados.

Para el tema del aporte capilar se averiguó a qué profundidad se encontraba la capa freática en cada uno de los lotes de investigación. Esto por medio de la instalación de pozos de observación a una profundidad de 2 m, con lo que se llevaron a cabo un total de 5 lecturas por tratamiento, las cuales se realizaron posterior al día de la aplicación de madurante y cada 10 días.

2.5.3 Manejo de la investigación

Acorde con los objetivos establecidos para el desarrollo de esta investigación se planteó la siguiente metodología para el manejo de la misma.

2.5.3.1 Selección de lotes

Los requisitos establecidos para garantizar la mayor uniformidad en la población fueron los siguientes:

- Lotes en renovación para garantizar la uniformidad en la población.
- Lotes que se encuentren calendarizados para el tercer tercio de la zafra.
- Lotes con sistema de riego por aspersión, ya que es el más implementado en la empresa y el de mayor eficiencia respecto a los demás.

Las localidades que se muestran en el cuadro 17 son las que cumplieron con los requisitos descritos anteriormente.

Cuadro 17. Detalle de las localidades de investigación riego precorte 2016/2017.

| Localidad | Municipio | Finca | Pante | Área (ha) | Altura (m s.n.m.*) | Número de cortes | Fecha de siembra |
|-----------|-----------|------------|-------|-----------|--------------------|------------------|------------------|
| 1 | Taxisco | La Giganta | 02 | 10.10 | 0-40 | 0 | 12/04/2016 |
| 2 | Taxisco | Cuernavaca | 03 | 20.81 | 0-40 | 0 | 07/04/2016 |
| 3 | San José | Portuaria | 13 | 11.33 | 0-40 | 0 | 14/04/2016 |
| 4 | San José | Portuaria | 15 | 9.48 | 0-40 | 0 | 30/03/2016 |

Fuente: elaboración propia, 2017.

2.5.3.2 Caracterización de suelos

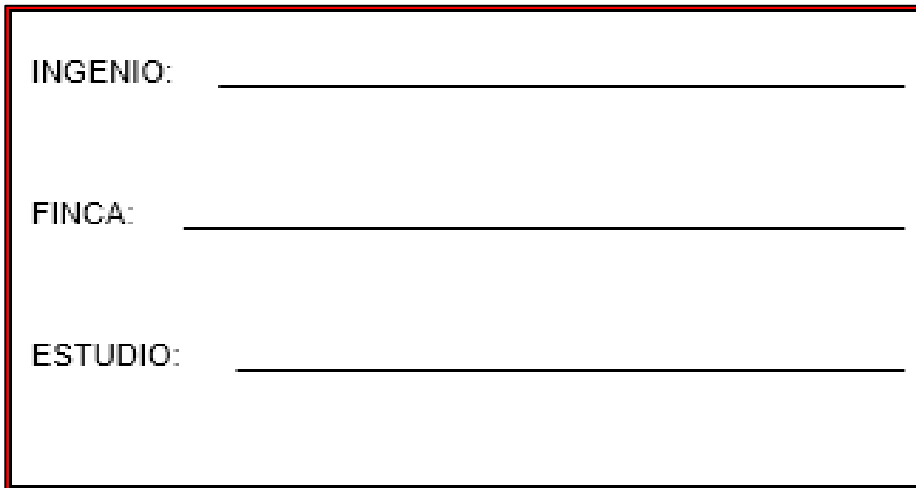
Esta actividad se desarrolló según la guía técnica para la caracterización física del suelo con fines de riego elaborado por CENGICAÑA. Quedando de la siguiente forma:

- Se abrió una calicata de 1 m³ en cada una de las áreas definidas y representativas de cada una de las secciones de las fincas, ubicadas en línea recta dentro del surco para observar el desarrollo de raíces de la caña de azúcar.
- Se georreferenció cada calicata.
- Se diferenciaron los horizontes de suelo identificados por su color, textura y profundidad de raíces (anotando y remarcando el horizonte de mayor densidad de raíces) e identificando vetas de arena en el perfil.
- Se midió la profundidad de cada horizonte identificado hasta llegar a 100 cm.
- Se obtuvieron muestras de suelo en cada uno de los horizontes identificados en el perfil del suelo. Utilizando para la obtención de la muestra bolsas de polietileno de 23 cm * 38

cm, llenando de suelo $\frac{3}{4}$ partes de la bolsa. En la identificación se colocó la georreferenciación, profundidad del horizonte, número de lote o sección, finca e ingenio. Después de llenada la tarjeta de identificación se colocó en una bolsa de polietileno y se colocó dentro de la muestra de suelo.

- Las muestras se enviaron al laboratorio de suelos de CENGICAÑA, el cual realizó un análisis físico que incluye las variables: Textura, Capacidad de campo, Punto de marchitez permanente y densidad aparente del suelo.

El formato de identificación de muestras se puede apreciar en la figura 12.



INGENIO: _____

FINCA: _____

ESTUDIO: _____

Fuente: CENGICAÑA, 2015.

Figura 12. Formato de tarjeta para identificación de muestras de suelo.

2.5.3.3 Evaluación técnica para la calidad de riego

Para monitorear la lámina y calidad de aplicación en cada evento de riego se realizaron evaluaciones de uniformidad de riego y uniformidad de distribución.

La uniformidad de riego se realizó utilizando como base de cálculo el método de Christiansen. El cual se sustentó con la siguiente ecuación:

$$CU = 100 * \left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - M|}{M * n} \right]$$

Dónde:

X_i = Lámina de agua aplicada en cada recipiente utilizado

M = Lámina promedio de agua aplicada en todos los recipientes (lámina de riego)

n = Cantidad de recipientes instalados

Para el cálculo de la lámina neta de agua aplicada por recipiente (L_r) se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$L_r = \frac{\text{Vol.recolectado}}{\pi * (\text{radio de recipiente})^2}$$

El cálculo de la lámina promedio de agua colectada en todos los recipientes se calculó con apoyo de la siguiente ecuación:

$$L_n \text{ colectada} = \frac{\sum_{i=1}^n (L_r)}{n}$$

Por su parte, para la determinación de la uniformidad de distribución en cada evento de riego se tomó como base de cálculo la siguiente ecuación:

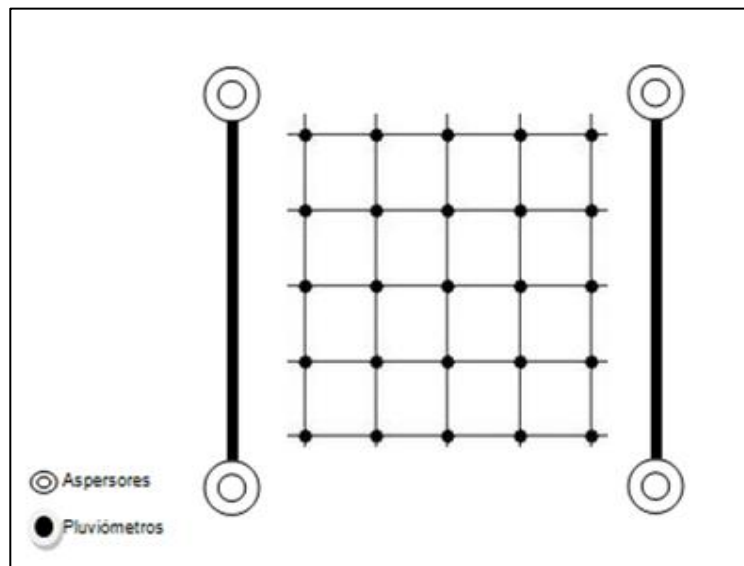
$$UD_{25} = 100 * \left(\frac{\text{Altura media interceptada en el 25 \% de pluviometría menor}}{\text{Promedio general de pluviometría}} \right)$$

La ecuación anterior establece que tan cerca o lejos se encuentra la lámina regada en el 25 % del área bajo riego en relación a la lámina media. Para el riego por aspersión se ha establecido un valor para el coeficiente de uniformidad de distribución que esta entre el 62 % y el 75 % respectivamente (Hanson, 1995).

Con base en este método y con el apoyo de una hoja de evaluación utilizada en el Grupo Corporativo Santa Ana (figura 24A) se registraron todos los parámetros técnicos de la motobomba, aspersores, boquillas, marco de riego, y las dimensiones de los recipientes utilizados para estas evaluaciones. Con lo que el valor del Coeficiente de Uniformidad (CU) obtenido se expresa en porcentaje para su mejor comprensión.

El criterio de calificación empleado para la evaluación de uniformidad de riego es el que propone Salas (2008) (presentado en el cuadro 13).

La colocación de los recipientes se estableció a nivel del suelo, donde estuvieron cubiertos por el cultivo casi en su totalidad y con una separación de 9 m * 9 m entre ellos, los cuales abarcaron un área representativa de 81 m². Dichos recipientes se ubicaron en uno de los laterales de manera que estuvieran entre dos aspersores para formar un cuadrado que abarcó un área equivalente al marco de riego que se utilizó. El esquema básico empleado se muestra en la figura 13.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 13. Distribución de recipientes en prueba de uniformidad.

Con la obtención de la Lámina Neta (L_n) de agua aplicada al suelo fue posible el cálculo de la Intensidad de Riego (IR) en cada evento con apoyo en la siguiente ecuación:

$$IR = \frac{L_n}{\text{tiempo de riego}}$$

Para la obtención de la Lámina Bruta (L_b) de agua aplicada por el sistema de riego fue necesario tomar el dato del caudal de salida de los aspersores que se utilizaron en cada

localidad y calcular el promedio de esta descarga para determinar también la eficiencia del sistema. Mismo que se basó en la siguiente ecuación:

$$Lb = Qe * \frac{t}{\dot{A}}$$

Dónde:

Lb= Lámina bruta o descarga del aspersor

Qe= Caudal del emisor/aspersor

t= Tiempo de riego

Á= Área de riego

$$Eficiencia = \frac{Ln \text{ de agua aplicada al suelo}}{Lámina erogada por el aspersor} * 100$$

2.5.3.4 Monitoreo de la precipitación pluvial

Gracias a la red de pluviómetros instalados en las regiones administrativas de la empresa (figura 25A) fue posible el seguimiento de los eventos de lluvia desde el mes de septiembre de 2016 hasta mayo de 2017 de forma diaria. Este seguimiento se realizó con el objetivo de cuantificar si existió aporte de agua de lluvia durante el periodo en el que se desarrolló el estudio.

2.5.3.5 Monitoreo de los valores de evapotranspiración

Los valores de evapotranspiración de referencia (Eto) fueron de apoyo para el conocer el comportamiento del cultivo en relación a factores climáticos que intervienen en el ciclo del agua dentro de la planta.

Para conocer estos valores se contó con el apoyo del Instituto de Investigación Sobre Cambio Climático (ICC), quienes proporcionaron los datos de Eto solicitados a partir del mes de septiembre de 2016 a mayo de 2017. La base cálculo que se empleó para la obtención de los valores de Eto fue la ecuación establecida por Penman – Monteith, el cual se describe en el manual técnico 56 de la FAO (2006).

La ecuación es la siguiente:

$$Eto = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

Dónde:

Eto = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Rn = Radiación neta en la superficie de la planta (MJ*m²/día)

G = Flujo térmico del suelo (MJ*m²/día)

T = Temperatura media (°C)

U₂ = Velocidad del viento medida a 2 m de altura (m/s)

e_a - e_d = Déficit de la presión de vapor (kPa/°C)

γ = Constante psicométrica (kPa/°C)

2.5.3.6 Cosecha del área de investigación

El sistema de cosecha que se le dio a todos los tratamientos fue de tipo mecanizado. Es decir, fue cosechado con el uso de máquinas cosechadoras de caña de azúcar.

El área que corresponde a cada unidad experimental fue cortada y depositada en compartimentos de auto-volteo específicos, los que posteriormente depositaron la caña cortada de cada unidad experimental en jaulas identificadas para evitar la mezcla del material de investigación.

Se llevó el registro y seguimiento del equipo de arrastre que transportó el material de estudio desde el punto de partida hasta el punto de recepción en la planta procesadora, donde fue pesada cada jaula por separado para brindar el dato de tonelaje registrado correspondiente a cada unidad experimental.

2.5.4 Análisis de información

A. Rendimiento de caña (T/ha) y productividad de azúcar (T/ha)

Para determinar la influencia por la aplicación de un riego precorte se hizo uso del testigo comercial (sin riego precorte) como fuente de comparación. De este se tomó el dato de rendimiento y productividad, mismos que se compararon con el mejor rendimiento y productividad que se obtuvo de los tratamientos a los que si se les aplicó riego.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar la existencia o carencia de significancia estadística para las variables de producción y rendimiento. Con lo que se determinó la influencia de la aplicación de un riego precorte.

La interpretación de los parámetros calculados para los análisis de varianza es la siguiente:

- Los grados de libertad son la cantidad de información suministrada por los datos para estimar los valores de parámetros de población desconocidos y calcular la variabilidad de esas estimaciones. Este valor se determina según el número de observaciones de la muestra y el número de parámetros del modelo.
- La suma de cuadrados representa una medida de variación o desviación con respecto a la media. Se calcula como una suma de los cuadrados de las diferencias con respecto a la media.
- Los cuadrados medios representan una estimación de la varianza de la población.
- El valor F es la estadística de prueba usada para determinar si el término está asociado con la respuesta.
- El p-valor es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. Las probabilidades más bajas proporcionan una evidencia más fuerte en contra de la hipótesis nula.

Para determinar si cualquiera de las diferencias entre las medias fue estadísticamente significativa, se comparó el p-valor con el nivel de significancia para evaluar la hipótesis

nula. La hipótesis nula indica que las medias de población son todas iguales. Se utilizó un nivel de significancia de 5 %, el cual indica que existe un riesgo de 5 % de concluir que existe una diferencia cuando no hay una diferencia real.

La regla de decisión que se utilizó fue que si el p-valor es menor que o igual al nivel de significancia (5 %), se rechazará la hipótesis nula y se concluirá que no todas las medias fueron iguales entre sí.

B. Evaluación financiera

Independientemente de los resultados estadísticos, se procedió a realizar un análisis financiero para determinar los costos debidos a la implementación un riego precorte.

Para el desarrollo del análisis se cuantificó el costo de la labor de riego por hectárea y los ingresos que generó la producción de azúcar en cada tratamiento dentro de cada localidad.

El costo de la labor de riego se determinó basándose en el área regada por cambio y el número de cambios realizados para regar una hectárea con base en las 2 h de tiempo de riego por turno y el total de horas por unidad experimental.

Al tomarse en cuenta el costo por cada hora de operación de riego se determinó el costo de la labor por hectárea en cada unidad experimental.

El ingreso bruto se determinó teniendo en cuenta la producción de caña T/ha, la concentración de azúcar T/ha y las pérdidas producidas durante la extracción de azúcar en fábrica, con lo que se estimó la producción total de azúcar en T/ha. Al conocerse el precio del azúcar se determinó el ingreso total obtenido por hectárea en cada unidad experimental.

El análisis de utilidades se realizó tomando en cuenta como variable única la aplicación de un riego, dejando los demás factores de manejo como constantes por localidad. Es por ello que la utilidad que se determinó se denominó como parcial, ya que el análisis solo estuvo sujeto al impacto en los costos por la aplicación de un riego.

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a la implementación de un riego precorte y con el objetivo de determinar el momento oportuno se consideraron cuatro momentos de aplicación de éste a un cultivo de caña de azúcar. Los resultados obtenidos y su correspondiente interpretación se presentan en los apartados que a continuación se describen.

La fecha de corte para cada localidad se detalla en el cuadro 18.

Cuadro 18. Fecha de corte en localidades de investigación.

| Municipio | Localidad Finca | Fecha Siembra | Fecha Corte | Fecha aplicación madurante | Edad al corte (días) | Dosis madurante (L/ha) |
|-----------|-----------------|---------------|-------------|----------------------------|----------------------|------------------------|
| Taxisco | La Giganta (02) | 12/04/2016 | 15/04/2017 | 24/02/2017 | 368 | 1 |
| Taxisco | Cuernavaca (03) | 07/04/2016 | 28/03/2017 | 06/02/2017 | 355 | 1 |
| San José | Portuaria (13) | 14/04/2016 | 17/04/2017 | 26/02/2017 | 368 | 1 |
| San José | Portuaria (15) | 30/03/2016 | 02/04/2017 | 11/02/2017 | 368 | 1 |

Tal como se observa en el cuadro anterior, el cultivo cumplió con su ciclo de aprovechamiento previo a su cosecha, lo cual permitió eliminar cualquier sesgo para la información obtenida en relación a la edad del cultivo.

La dosis de madurante aplicada al cultivo fue la misma para todas las localidades. De acuerdo a la entrevista realizada con el jefe del Departamento de Aplicaciones Aéreas de la empresa, se tiene que los rangos de dosis para la variedad CP72-2086 en el tercer tercio oscilan entre 1.00 L/ha a 1.40 L/ha. Aplicándose la dosis menor cuando las condiciones de humedad en el cultivo se presentan en proporciones bajas, o cuando se encuentra con déficit hídrico prolongado. Si el cultivo presenta un estado de sequedad fisiológica severa, la aplicación de madurante se omite, ya que el efecto del mismo es perjudicial para el aprovechamiento del cultivo.

2.6.1 Caracterización de suelos

Uno de los primeros pasos fue el realizar un análisis de suelo, de los que el resultado se comparó con los registros que se manejan en la base de datos del Grupo Corporativo Santa Ana.

Derivado del análisis efectuado se pudo corroborar que, en efecto, la textura que se tiene registrada en la base de datos concuerda con la clasificación de “Franco Arenosa” para las localidades en donde se estableció la investigación. El perfil de suelo encontrado presentó una estructura bastante similar en cada localidad, por lo que los resultados se estandarizaron para todas las localidades de evaluación, lo cual se presenta en el cuadro 19.

Cuadro 19. Perfil se duelo en localidades de investigación.

| Profundidad (cm) | Horizonte | Textura |
|------------------|-----------|----------------|
| 0 – 40 | A | Franco arenoso |
| 40 – 60 | AB | Franco arenoso |
| > 60 | C | Arenoso franco |

Los resultados obtenidos del análisis de suelo realizado por CENGICAÑA para cada localidad identificaron la proporción en la que se encontraban agregadas las partículas de suelo, Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP) y Densidad Aparente (Dap) de estos suelos. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 20.

Cuadro 20. Resultados del análisis físico de suelo.

| Localidad | Profundidad | Arcilla % | Limo % | Arena % | Textura | PMP* % | CC* % | Dap* g/cc |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-------------|
| La Giganta (02) | 0-20 cm | 16.55 | 23.33 | 60.12 | Franco arenoso | 12.29 | 29.76 | 1.11 |
| La Giganta (02) | 20-40 cm | 17.12 | 23.58 | 59.30 | Franco arenoso | 12.65 | 29.98 | 1.09 |
| La Giganta (02) | 40-60 cm | 16.54 | 22.71 | 60.75 | Franco arenoso | 12.21 | 29.74 | 1.16 |
| <i>Promedio</i> | | <i>16.74</i> | <i>23.21</i> | <i>60.06</i> | | <i>12.38</i> | <i>29.83</i> | <i>1.12</i> |
| Cuernavaca (03) | 0-20 cm | 16.88 | 27.49 | 55.63 | Franco arenoso | 12.98 | 29.96 | 1.14 |
| Cuernavaca (03) | 20-40 cm | 15.89 | 21.20 | 62.91 | Franco arenoso | 11.66 | 29.46 | 1.13 |
| Cuernavaca (03) | 40-60 cm | 16.22 | 21.85 | 61.93 | Franco arenoso | 11.93 | 29.60 | 1.16 |
| <i>Promedio</i> | | <i>16.33</i> | <i>23.51</i> | <i>60.16</i> | | <i>12.19</i> | <i>29.67</i> | <i>1.14</i> |
| Portuaria (13) | 0-20 cm | 15.93 | 24.01 | 60.06 | Franco arenoso | 12.02 | 29.53 | 1.13 |
| Portuaria (13) | 20-40 cm | 17.02 | 19.94 | 63.04 | Franco arenoso | 12.16 | 29.87 | 1.15 |
| Portuaria (13) | 40-60 cm | 16.43 | 21.55 | 62.02 | Franco arenoso | 12.01 | 29.67 | 1.18 |
| <i>Promedio</i> | | <i>16.46</i> | <i>21.83</i> | <i>61.71</i> | | <i>12.06</i> | <i>29.69</i> | <i>1.15</i> |
| Portuaria (15) | 0-20 cm | 15.89 | 23.57 | 60.54 | Franco arenoso | 11.95 | 29.51 | 1.12 |
| Portuaria (15) | 20-40 cm | 14.65 | 24.08 | 61.27 | Franco arenoso | 11.30 | 29.05 | 1.14 |
| Portuaria (15) | 40-60 cm | 15.07 | 21.14 | 63.79 | Franco arenoso | 11.19 | 29.15 | 1.14 |
| <i>Promedio</i> | | <i>15.20</i> | <i>22.93</i> | <i>61.87</i> | | <i>11.48</i> | <i>29.24</i> | <i>1.13</i> |

PMP = Punto de marchitez permanente

CC = Capacidad de campo

Dap = Densidad aparente

El análisis de suelo se efectuó en cada localidad, donde se tomó una muestra por cada 0.20 m de profundidad, haciendo un total de 3 muestras para una profundidad conjunta de 0.60 m.

Los resultados obtenidos muestran una proporción de partículas constante en cada uno de los 3 estratos de análisis para cada localidad en específico. Lo mismo ocurre con los valores de CC, PMP y Dap, por lo que es congruente que la textura de suelo determinada sea la misma a 0.60 m de profundidad.

Obtenidos los valores promedio de las propiedades físicas se procedió a la determinación de las diferentes láminas de agua que se pueden almacenar en el suelo, y de acuerdo a cada localidad. Estos resultados permitieron conocer la cantidad de agua que se pudiera aplicar en condiciones de riego normal o comercial y la cantidad de agua que estaría disponible para el cultivo a 0.60 m de profundidad, tal como se muestra en el cuadro 21.

Cuadro 21. Láminas de agua de acuerdo al suelo de cada localidad de investigación.

| Localidad | Profundidad (cm) | Lámina a CC (mm) | Lámina a PMP (mm) | LAA* (mm) | LARA* (mm) |
|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-----------|------------|
| La Giganta (02) | 60.00 | 200.44 | 83.22 | 117.22 | 58.61 |
| Cuernavaca (03) | 60.00 | 203.56 | 83.62 | 119.94 | 59.97 |
| Portuaria (13) | 60.00 | 205.45 | 83.48 | 121.98 | 60.99 |
| Portuaria (15) | 60.00 | 198.81 | 78.06 | 120.75 | 60.37 |

LAA = Lámina de agua aprovechable

LARA = Lámina de agua rápidamente aprovechable

La Lámina de Agua Aprovechable (LAA) expresa la lámina de agua que el suelo puede almacenar entre los límites de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) a una profundidad de 0.60 m. Mientras que la Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable (LARA) es la cantidad de agua rápidamente aprovechable teniendo en cuenta el Déficit Permitido de Manejo (DPM) o porcentaje de agotamiento, del cual el valor utilizado

fue de 0.50 el cual se describe en el manual técnico 66 de la FAO (2012) para la etapa de maduración.

La determinación de los diferentes tipos de lámina se realizó con base en las siguientes ecuaciones:

$$Lámina_{CC} = \frac{CC * Dap * Z}{100}; \quad Lámina_{PMP} = \frac{PMP * Dap * Z}{100}$$

$$LAA = \frac{(CC - PMP) * Dap * Z}{100}; \quad LARA = LAA * DPM$$

Dónde:

CC = Capacidad de campo

PMP = Punto de marchitez permanente

Dap = Densidad aparente

Z = Profundidad

DPM = Déficit permitido de manejo

LAA = Lámina de agua aprovechable

LARA = Lámina de agua rápidamente aprovechable

2.6.2 Uniformidad de riego

Para determinar el grado en que se distribuyó el agua en cada evento de riego correspondiente a cada tratamiento se realizaron pruebas de uniformidad de riego. De las cuales se obtuvieron el CU, UD, Ln, Lb y Ef. El tiempo de riego, tal como se describió en los tratamientos fue de 2 h, con aspersores “komet twin 101 (ver ficha técnica en figura 24A).

El sistema fue operado con una presión aproximada de 50 lb/in², con boquillas de 24 mm de diámetro, los cuales ofrecieron una descarga de 11 L/s (40 m³/h) de acuerdo a los aforos realizados a los aspersores utilizados.

Es necesario mencionar que, de acuerdo a la descripción del primer tratamiento, a las áreas en donde este quedo implementado no se le realizó la prueba de uniformidad de riego puesto que no hubo evento de riego en el mismo.

Los resultados de las evaluaciones realizadas se presentan en el cuadro 22.

Cuadro 22. Resultados de la evaluación de calidad de riego.

| Localidad Finca | Tratamiento | Fecha aplicación | Ln (mm) | Lb (mm) | CU (%) | UD (%) | Ef (%) |
|--------------------------|-------------|---------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| La Giganta (pante 02) | Sin riego | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 20 dac* | 26/03/2017 | 28.18 | 39.11 | 52.59 | 45.37 | 72 |
| | 30 dac | 16/03/2017 | 26.74 | 39.11 | 51.89 | 44.77 | 68 |
| | 40 dac | 06/03/2017 | 25.92 | 39.11 | 54.09 | 46.67 | 66 |
| Cuernavaca (pante 03) | Sin riego | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 20 dac | 08/03/2017 | 25.98 | 40.18 | 55.22 | 47.64 | 64 |
| | 30 dac | 26/02/2017 | 27.87 | 40.18 | 57.78 | 49.85 | 69 |
| | 40 dac | 16/02/2017 | 29.38 | 40.18 | 56.12 | 48.42 | 73 |
| Portuaria (pante 13) | Sin riego | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 20 dac | 28/03/2017 | 30.26 | 40.89 | 54.99 | 47.44 | 74 |
| | 30 dac | 18/03/2017 | 24.15 | 40.89 | 53.55 | 46.20 | 59 |
| | 40 dac | 08/03/2017 | 23.48 | 40.89 | 52.74 | 45.50 | 57 |
| Portuaria (pante 15) | Sin riego | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 20 dac | 13/03/2017 | 23.48 | 38.40 | 54.36 | 46.90 | 61 |
| | 30 dac | 03/03/2017 | 27.15 | 38.40 | 52.83 | 45.58 | 70 |
| | 40 dac | 21/02/2017 | 24.52 | 38.40 | 55.80 | 48.14 | 63 |

dac = Días antes del corte

Ln = Lámina neta de agua aplicada al suelo

Lb = Lámina bruta de agua aplicada por el sistema

CU = Coeficiente de uniformidad

UD = Uniformidad de distribución

Ef = Eficiencia del sistema de riego

De los resultados obtenidos se observa que la Lámina de Agua Aplicada (L_n) que llega hasta el suelo en cada evento de riego es pequeña en comparación con la Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable (LARA en cuadro 21) del suelo para cada localidad. Lo cual, se calificaría teóricamente como una aplicación de agua muy inferior a las características que ofrece el suelo en cuanto a LAA y LARA en la etapa fenológica de maduración del cultivo.

La obtención de valores bajos en la eficiencia de aplicación se puede justificar en que la aplicación de riego se dio en la etapa de maduración, por lo que una cantidad de agua descargada por los aspersores (L_b) fue interceptada por las hojas del cultivo, lo cual evitó que esta llegara al suelo y quedara disponible.

La Lámina Neta (L_n) de agua aplicada al suelo se tomó como la cantidad de agua recolectada por los recipientes durante la prueba de uniformidad, mientras que la Lámina Bruta (L_b) de agua, es la descargada por los aspersores que estuvieron en operación durante la evaluación.

Los Coeficientes de Uniformidad (CU) y Uniformidad de Distribución (UD) se calcularon con base en el método de Christiansen.

Las ecuaciones utilizadas para los cálculos antes descritos fueron las siguientes:

$$L_n = \frac{\text{Vol.recolectado}}{\pi * (\text{radio de recipiente})^2}; L_b = \frac{q_e t}{A}; CU = 100 * \left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - M|}{M * n} \right]$$

$$UD_{25} = 100 * \left(\frac{\text{Altura media interceptada en el 25 \% de pluviometría menor}}{\text{Promedio general de pluviometría}} \right); \text{Eficiencia} = \frac{L_n}{L_b} * 100$$

Dónde:

L_n = Lámina de agua aplicada al suelo

L_b = Lámina de agua descargada por aspersor

q_e = Caudal del aspersor

t = Tiempo de riego

A = Área de riego en evaluación

CU = Coeficiente de uniformidad

X_i = Lámina de agua aplicada en cada recipiente utilizado

M= Lámina promedio de agua aplicada en todos los recipientes (lámina de riego)

n= Cantidad de recipientes instalados

UD = Uniformidad de distribución

La Eficiencia (Ef) promedio por tratamiento que proporcionó el sistema de riego para el cultivo en su etapa de maduración y la calificación del mismo se presenta en el cuadro 23.

Cuadro 23. Resumen de las evaluaciones de uniformidad de riego realizadas por tratamiento.

| Tratamiento | Ln (mm) | Lb (mm) | Eficiencia sistema (%) | CU (%) | Calidad | UD (%) | Grado |
|-------------|------------|------------|---------------------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| Sin riego | -- | -- | -- | -- | Inaceptable | -- | Deficiente |
| 20 dac* | 26.97 | 39.64 | 68 | 54 | Inaceptable | 47 | Deficiente |
| 30 dac | 26.48 | 39.64 | 67 | 54 | Inaceptable | 47 | Deficiente |
| 40 dac | 25.83 | 39.64 | 65 | 55 | Inaceptable | 47 | Deficiente |

Ln = Lámina neta de agua aplicada

Lb = Lámina bruta de agua aplicada

CU = Coeficiente de uniformidad

UD = Uniformidad de distribución

La eficiencia de aplicación del sistema se obtuvo de la relación "Ln/Lb"

Para los eventos de riego evaluados un CU < 60 % indicó que más del 40 % de la lámina de agua descargada por el sistema de riego y aplicada al suelo fue diferente al valor promedio de la lámina de agua aplicada en toda el área de riego. Dado que cuando se obtiene un valor de CU = 100 % significa que la lámina aplicada en todos los puntos de observación es igual a la media y un valor cercano a cero significa que hay mucha variación entre la lámina de riego aplicada en cada punto de observación y la lámina media (Montero, 2000).

Para la UD se tuvo que la lámina de agua aplicada al suelo presentó una uniformidad del 47 % en el 25 % del área donde se registraron los valores más bajos de agua captada por los recipientes durante el evento de riego. Ya que cuando el valor de la uniformidad de distribución es igual a 100 % significa que no existe diferencia entre la lámina de riego

aplicada en los puntos de menor pluviometría y la lámina media aplicada durante el evento de riego, mientras que la lámina media del 25 % de la pluviometría más baja se reduce en comparación a la lámina de riego promedio y el valor de la uniformidad de distribución también se reducirá, llegando incluso a tener un valor de cero cuando el 25 % de los recipientes no recolectaron agua procedente del riego (Montero, 2000).

Los resultados mostrados en el cuadro anterior son los valores promedio que se obtuvieron en cada tratamiento y localidad. Los valores de los dos coeficientes determinados son bastantes similares entre tratamientos, estos se encuentran menores al 60 %, lo cual indica que los eventos de riego llevados a cabo no son aceptables de acuerdo con la calificación propuesta por Salas (2008) y con lo expuesto por Hanson (1995).

La representación gráfica del comportamiento en la distribución de lámina de riego se muestra en la figura 14, la cual se obtuvo mediante la simulación de una operación con 4 aspersores en el marco de riego de 45 m * 45 m. Esto con base en los resultados obtenidos de la evaluación de uniformidad con 2 aspersores para el mismo marco de riego con un tiempo de riego de 2 h.

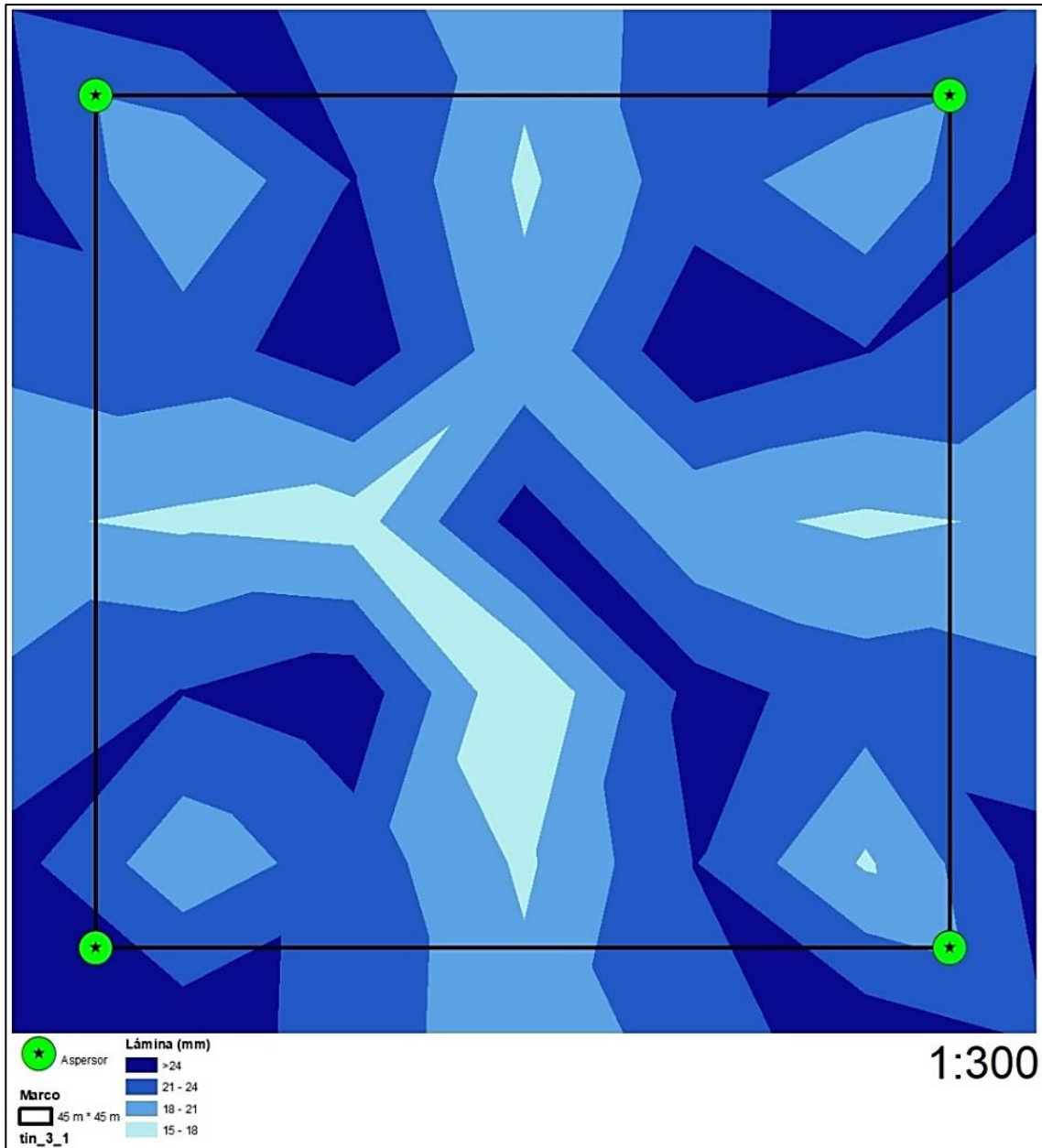


Figura 14. Distribución de lámina de riego por aspersión en marco de evaluación de 45 m * 45 m en etapa de maduración.

Como se observa en la figura anterior, la distribución de la lámina de riego no es uniforme, ya que la proporción de agua que se aplicó en el área no presenta un patrón continuo en

cuanto a la lámina aplicada en el área evaluada. Lo cual justifica que los calores de CU y UD sean inferiores a los mínimos aceptables.

Con lo descrito anteriormente y con lo expuesto en los apartados del CU y UD, los valores obtenidos de las evaluaciones respectivas reflejan que existe una gran deficiencia en la uniformidad de aplicación y distribución de la lámina de agua aplicada a cada tratamiento, puesto que el valor mínimo aceptable para el CU es del 70 % (Salas, 2008) y de 62 % para la UD (Hanson, 1995).

2.6.3 Registro de evapotranspiración

El registro de la evapotranspiración de referencia se presenta en el cuadro 24.

Cuadro 24. Evapotranspiración de referencia registrada por localidad desde el momento de riego hasta la cosecha.

| Tratamiento | Eto acumulada (mm) | | | | Promedio |
|-------------|--------------------|-----------------|----------------|----------------|----------|
| | La Giganta (02) | Cuernavaca (03) | Portuaria (13) | Portuaria (15) | |
| Sin riego | 217.00 | 210.02 | 242.00 | 251.68 | 230.18 |
| 20 dac | 86.10 | 78.20 | 98.80 | 92.80 | 88.98 |
| 30 dac | 128.40 | 118.62 | 144.80 | 138.80 | 132.66 |
| 40 dac | 170.70 | 164.32 | 202.40 | 194.08 | 182.88 |

Los resultados mostrados en el cuadro anterior corresponden a cálculos realizados con información de Eto mensual y Eto diaria proporcionada por el Instituto de Investigación Sobre Cambio Climático (ICC) (cuadro 38A), el cual corresponde a las estaciones “Bolivia” y “Los Esclavos”, las cuales se encuentran a una distancia aproximada de 5 km de las localidades de investigación.

Los valores mostrados representan el valor acumulado en la cantidad de días equivalentes a cada tratamiento. Es decir, que para el tratamiento donde se aplicó riego a 20 días precorte, la evapotranspiración calculada corresponde a la suma de la evapotranspiración diaria registrada durante los 20 días que se determinaron para este tratamiento; y así para

los demás tratamientos. El valor mostrado para el tratamiento sin riego corresponde a 50 días precorte, lo cual equivale a los días posteriores a la aplicación de madurante.

El método de cálculo con el que ICC determinó los valores de Eto corresponden al método de Penman – Monteith.

2.6.4 Registro de Lluvias

Para la primera localidad se tiene un pluviómetro (código 1318-1) que abarca el área completa del pante, lo mismo sucede para la segunda localidad, la cual cuenta con un pluviómetro (código 1369-1) propio para la finca, mientras que para las localidades 3 y 4, por estar en la misma finca comparten el registro del mismo pluviómetro (código 1131-1).

El seguimiento de los eventos de lluvia se llevó desde el mes de septiembre de 2016 hasta mayo de 2017. En las figuras 15 a 17 se muestra que el final del periodo lluvioso para el año 2016 se dio en el mes de diciembre para las localidades 1 y 2, mientras que para las localidades 3 y 4 se dio en el mes de noviembre.

El inicio de la época lluviosa para el año 2017 se dio en el mes de mayo en todas las localidades, por lo que se descartó la influencia de la lluvia en la investigación dado que existió como mínimo 60 días de déficit hídrico a partir del final de las lluvias para el año 2016. En el cuadro 25 muestra el total de lluvia registrado durante los meses de septiembre 2016 a mayo 2017

Cuadro 25. Registro de precipitación durante investigación.

| Localidad | Meses de lluvia* | PP* (mm) | P* (mm) |
|-----------------|------------------|----------|---------|
| La Giganta (02) | sep-dic, may | 709 | 0 |
| Cuernavaca (03) | sep-dic, may | 392 | 0 |
| Portuaria (13) | sep-nov, may | 570 | 0 |
| Portuaria (15) | sep-nov, may | 570 | 0 |

PP = Precipitación total registrada desde septiembre 2016 a mayo 2017

P = Precipitación registrada en 50 días posteriores a la aplicación de madurante (periodo de investigación)

Con los registros obtenidos se descartó la influencia de la lluvia durante el periodo de investigación, ya que durante los 50 días posteriores a la aplicación de madurante no se registró evento de lluvia en ninguna de las localidades donde se implementó la investigación.

Dada la ausencia de lluvias durante el periodo de investigación, se generó un periodo seco con un alto déficit hídrico para el cultivo, lo cual se pudo comprobar con el registro de Eto para ese mismo periodo. Esta relación se presenta en las figuras 15 a 17.

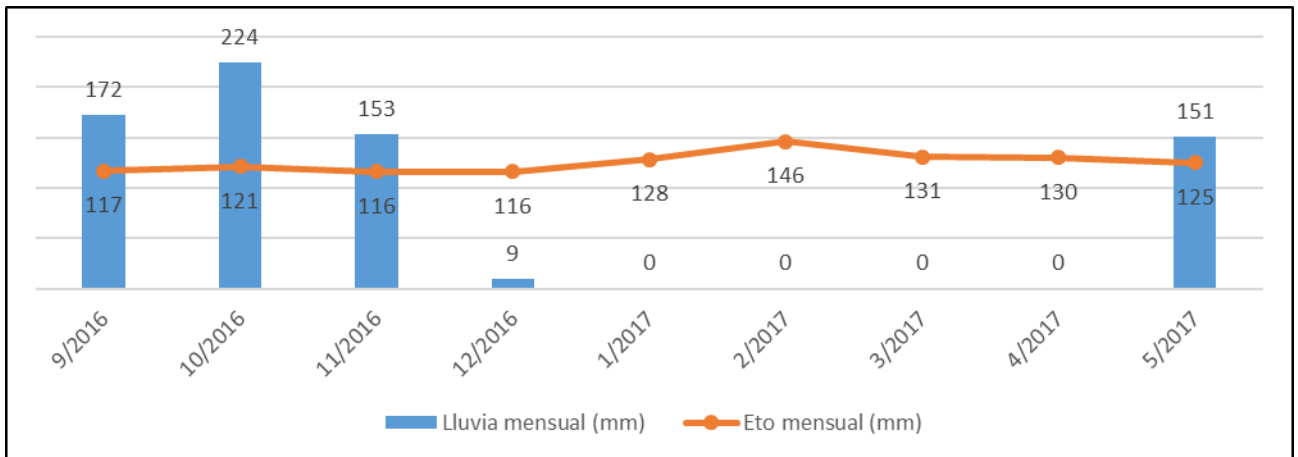


Figura 15. Relación lluvia – Eto para primera localidad (La Liganta 02).

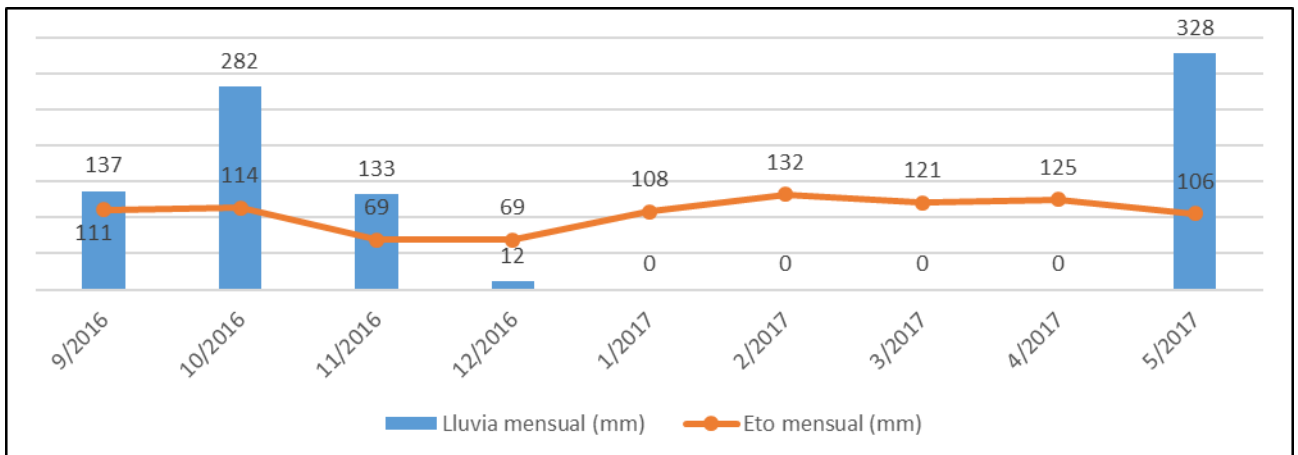


Figura 16. Relación lluvia – Eto para segunda localidad (Cuernavaca 03).

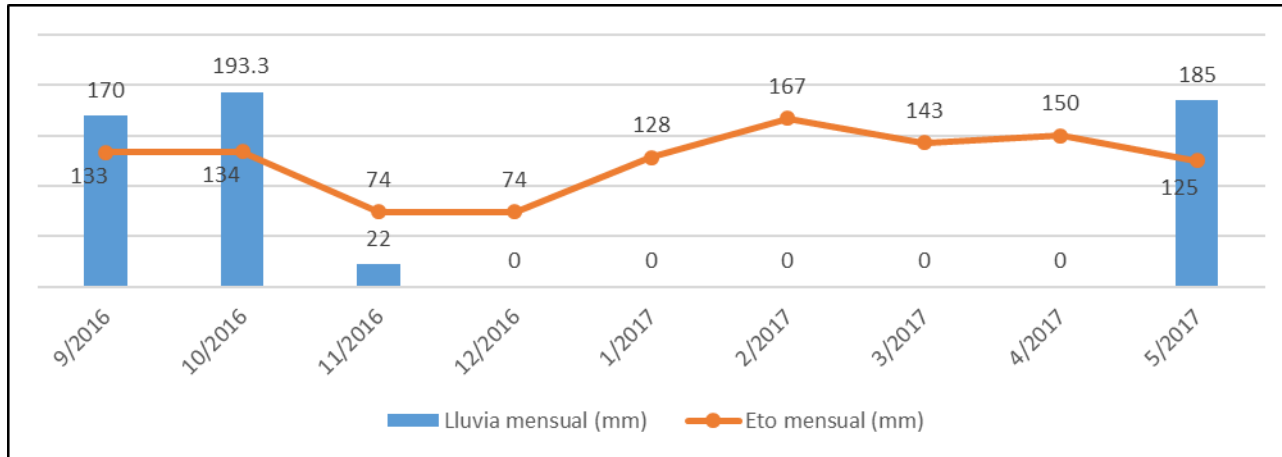


Figura 17. Relación lluvia – Eto para tercera y cuarta localidad (Portuaria 13 y 15).

Con los registros presentados se refleja que existió un periodo con déficit hídrico marcado desde el inicio de diciembre 2016 hasta el final de marzo 2017. Por lo que con estas condiciones climáticas la aplicación de riego precorte es justificable y necesaria para mantener humedad en la caña por la extracción de azúcares, con lo que se evita que esta se deshidrate por completo.

2.6.5 Relación lámina de riego y evapotranspiración

La relación lámina de riego y evapotranspiración (K) expresa la proporción de agua que se aplicó al cultivo por un riego precorte expresado como lámina neta (L_n , cuadro 23) en relación a los requerimientos teóricos dados por los valores de evapotranspiración de referencia presentados en el cuadro 26.

El valor de K se obtuvo por la expresión " L_n/Et_{max} ", mientras que el valor único del cultivo (K_c) de 0.75 se obtuvo del manual técnico 56 de la FAO (2006) para la etapa de maduración en caña de azúcar. Sin embargo, considerando el efecto que la aplicación de madurante genera en el cultivo se estimó un valor de K_c de 0.5 dado que, el K_c incorpora las características fisiológicas del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo.

Cuadro 26. Valores de K obtenidos por la aplicación de un riego precorte.

| Tratamiento | Eto Promedio (mm) | Kc | Et _{max} | Ln promedio (mm) | K ₁ | | K ₂ | |
|-------------|----------------------|-----|-------------------|---------------------|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | | | | |
| Sin riego | 230.18 | 0.5 | 115.09 | 0 | -- | -- | -- | -- |
| 20 dac | 88.98 | 0.5 | 44.49 | 26.97 | 0.61 | 61% | 0.23 | 23% |
| 30 dac | 132.66 | 0.5 | 66.33 | 26.48 | 0.40 | 40% | 0.23 | 23% |
| 40 dac | 182.88 | 0.5 | 91.44 | 25.83 | 0.28 | 28% | 0.22 | 22% |

dac = Días antes del corte

Eto = Evapotranspiración de referencia

Kc = Coeficiente único del cultivo para la etapa de maduración

Et_{max} = Evapotranspiración máxima del cultivo

Ln = Lámina neta de agua aplicada al suelo

K1 = Ln/Et_{max} para cada tratamiento

K2 = Ln/Et_{max} durante 50 días continuos

Dado que la Lámina Neta (Ln) aplicada en los diferentes momentos de riego fue menor en relación a los requerimientos hídricos del cultivo es que los valores de K1 son también bajos ya que ninguna de las aplicaciones de agua suplió más del 61 % del requerimiento teórico del cultivo en cada tratamiento para la etapa de maduración.

En general, ninguna de las aplicaciones de riego precorte suplió más del 23 % de la demanda hídrica que el cultivo presentó a partir de la aplicación de madurante hasta la cosecha (50 días).

2.6.6 Influencia debida a la implementación de un riego pre corte en el largo de entrenudos, diámetro de tallo, altura de planta y población

Las variables auxiliares que se tomaron en cuenta para esta investigación fueron el largo de los entrenudos, el diámetro del tallo, la altura de la planta, la población y la detección del nivel de la capa freática para saber si existió aporte capilar.

Para los primeros cuatro parámetros, la toma de datos se realizó una semana antes del momento de la aplicación de riego precorte de acuerdo al tratamiento seleccionado, y una semana antes de la fecha de corte. Las parcelas de muestreo fueron delimitadas mediante la marcación e identificación de 10 plantas por cada tratamiento en cada localidad.

2.6.6.1 Largo de entre nudos

Los resultados obtenidos muestran una tendencia positiva en cuanto al incremento del largo de entrenudos debido a la implementación de un riego precorte (cuadro 27) en las distintas localidades evaluadas.

Cuadro 27. Respuesta del cultivo en el largo de entrenudos por la aplicación de un riego precorte.

| Finca Localidad | Tratamiento | M1 (cm) | M2 (cm) | Crecimiento (cm) | Incremento sobre testigo (cm) | Tasa crecimiento (cm/día) |
|--------------------------|-------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| La Giganta (pante 02) | Sin riego | 13.50 | 13.50 | 0.00 | -- | -- |
| | 20 dac | 13.00 | 14.00 | 1.00 | 1.00 | 0.05 |
| | 30 dac | 15.00 | 16.50 | 1.50 | 1.50 | 0.05 |
| | 40 dac | 12.50 | 14.00 | 1.50 | 1.50 | 0.04 |
| Cuernavaca (pante 03) | Sin riego | 12.50 | 12.80 | 0.3 | -- | 0.006 |
| | 20 dac | 12.50 | 13.00 | 0.50 | 0.20 | 0.03 |
| | 30 dac | 15.00 | 17.50 | 2.50 | 2.20 | 0.08 |
| | 40 dac | 14.00 | 16.00 | 2.00 | 1.70 | 0.05 |
| Portuaria (pante 13) | Sin riego | 12.50 | 13.00 | 0.50 | -- | 0.01 |
| | 20 dac | 14.00 | 15.10 | 1.10 | 0.60 | 0.06 |
| | 30 dac | 14.50 | 17.00 | 2.50 | 2.00 | 0.05 |
| | 40 dac | 15.00 | 17.50 | 2.50 | 2.00 | 0.06 |
| Portuaria (pante 15) | Sin riego | 13.50 | 14.00 | 0.50 | -- | 0.01 |
| | 20 dac | 12.50 | 13.20 | 0.70 | 0.20 | 0.04 |
| | 30 dac | 14.50 | 16.50 | 2.00 | 1.50 | 0.07 |
| | 40 dac | 14.50 | 16.00 | 1.50 | 1.00 | 0.04 |

M = Muestreo

dac = Días antes del corte

Dada la respuesta favorable del cultivo por la aplicación de un riego respecto a no aplicar riego en la etapa de maduración y posterior a la aplicación de madurante se puede resumir

el comportamiento expresado por tratamiento aplicado para generalizar la respuesta de la caña de azúcar en cuanto al largo de los entrenudos tal como se presenta en el cuadro 28.

Cuadro 28. Resumen del incremento promedio del largo de entrenudos por la aplicación de un riego precorte.

| Tratamiento | Crecimiento (cm) | Incremento sobre testigo (cm) | Tasa crecimiento (cm/día) |
|-------------|---------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Sin riego | 0.33 | -- | 0.007 |
| 20 dac | 0.83 | 0.50 | 0.045 |
| 30 dac | 2.13 | 1.80 | 0.060 |
| 40 dac | 1.86 | 1.53 | 0.050 |

De los cuatro tratamientos implementados para la variable largo de entrenudos, la mayor diferencia respecto a no aplicar riego precorte se obtuvo cuando se aplicó un riego 30 días precorte, el cual presentó un incremento promedio en el crecimiento de 1.80 cm sobre el testigo. Esta reacción del cultivo de caña concuerda con lo reportado por Juárez & Muñoz (1998), quienes sostienen que cuando el cultivo reacciona favorablemente a la aplicación de una lámina de agua, el efecto se expresa en el incremento del largo de entrenudos del tallo.

Con los resultados presentados se observó que después de la aplicación de madurante, la tendencia del cultivo fue continuar su crecimiento, aunque a una tasa muy pequeña cuando recibió agua producto de la aplicación de un riego en su etapa de maduración, y a una tasa aún más baja cuando no se aplicó este tipo de riego, lo cual supone que existió humedad en el suelo a pesar del periodo seco que se marcó en los meses de diciembre 2016 a marzo 2017.

2.6.6.2 Altura de planta

Para esta variable también se presentó una respuesta positiva del cultivo debido a la aplicación de un riego precorte en todas las localidades en donde fue implementado, siendo en la finca La Giganta donde se obtuvo el mejor incremento en el crecimiento por la

aplicación de un riego 30 días precorte en comparación a no aplicar riego. Estos resultados se muestran en el cuadro 29.

Cuadro 29. Respuesta del cultivo en la altura de planta por la aplicación de un riego precorte.

| Finca Localidad | Tratamiento | *M1 (cm) | M2 (cm) | Crecimiento (cm) | Incremento sobre testigo (cm) | Tasa crecimiento (cm/día) |
|--------------------------|-------------|-------------|------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| La Giganta (pante 02) | Sin riego | 294.00 | 295.00 | 1.00 | -- | 0.02 |
| | 20 dac | 282.50 | 285.00 | 2.50 | 1.50 | 0.13 |
| | 30 dac | 326.00 | 348.00 | 22.00 | 21.00 | 0.70 |
| | 40 dac | 271.00 | 291.00 | 20.00 | 19.00 | 0.50 |
| Cuernavaca (pante 03) | Sin riego | 304.50 | 305.00 | 0.50 | -- | 0.01 |
| | 20 dac | 265.50 | 271.00 | 5.50 | 5.00 | 0.28 |
| | 30 dac | 310.00 | 331.00 | 21.00 | 20.50 | 0.70 |
| | 40 dac | 264.00 | 280.00 | 16.00 | 15.50 | 0.40 |
| Portuaria (pante 13) | Sin riego | 281.00 | 281.50 | 0.50 | -- | 0.01 |
| | 20 dac | 253.00 | 261.00 | 8.00 | 7.50 | 0.40 |
| | 30 dac | 318.00 | 332.50 | 14.50 | 14.00 | 0.48 |
| | 40 dac | 285.50 | 295.00 | 9.50 | 9.00 | 0.24 |
| Portuaria (pante 15) | Sin riego | 280.50 | 281.10 | 0.60 | -- | 0.01 |
| | 20 dac | 264.00 | 271.00 | 7.00 | 6.50 | 0.35 |
| | 30 dac | 326.50 | 342.00 | 15.50 | 14.90 | 0.52 |
| | 40 dac | 278.00 | 288.00 | 10.00 | 9.40 | 0.25 |

M= Muestreo

Dado que los valores tomados y procesados en cuanto a la altura de planta presentaron un incremento se puede asegurar que el monitoreo de esta variable se realizó correctamente, ya que también se presentó crecimiento en el largo de entrenudos.

Los valores promedio obtenidos por cada tratamiento se resumen en el cuadro 30.

Cuadro 30. Resumen del incremento promedio en altura de planta por la aplicación de un riego precorte.

| Tratamiento | Crecimiento (cm) | Incremento sobre testigo (cm) | Tasa crecimiento (cm/día) |
|-------------|---------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Sin riego | 0.65 | -- | 0.01 |
| 20 dac | 5.75 | 5.13 | 0.29 |
| 30 dac | 18.25 | 17.60 | 0.60 |
| 40 dac | 13.88 | 13.23 | 0.35 |

El mayor incremento promedio que se obtuvo en comparación con la no aplicación de riego precorte fue con a la aplicación de un solo riego 30 días precorte, el cual presentó un incremento de 17.60 cm. Seguido a este tratamiento se encontró que aplicar un solo riego 40 días precorte generó un incremento promedio de 13.23 cm. El incremento debido a la aplicación de un riego 20 días precorte fue de 5.13 cm en promedio.

Lo antes presentado concuerda con la tendencia del cultivo a seguir su crecimiento a una tasa muy pequeña con una muy baja lámina de riego aplicada durante la etapa de maduración. El cultivo respondió a este estímulo pese a haber sido forzado a frenar su ciclo de crecimiento por la aplicación de madurante.

Lo anterior supone por la reacción positiva del cultivo en cuanto a largo de entrenudos y altura de planta por aplicación de un riego precorte en la etapa de maduración, la producción de caña y azúcar también debió ser afectada. Lo cual se presenta en los siguientes apartados.

2.6.6.3 Diámetro de tallo y población

Para estas variables no se detectó cambio en los valores obtenidos en los dos momentos de muestreo, ya que el cultivo se encontraba en la etapa de maduración y afectada por la aplicación de madurante. El cual se aplicó 50 precorte, lo cual contribuyó al cese en el proceso de crecimiento del cultivo y fomentó el proceso de concentración de azúcar, con lo cual los recursos de la planta se enfocaron en dicho proceso.

2.6.6.4 Detección del nivel freático

Para determinar si existió aporte capilar al suelo en las localidades donde se estableció la investigación, se procedió a la instalación de pozos de observación en cada una de las localidades respectivas. Sin embargo, no se obtuvieron registros del nivel freático después de perforados 2 m de profundidad en cada localidad.

Debido a que no se detectó el nivel de la capa freática se asume que no existió aporte capilar en las localidades en donde se realizó la investigación. Lo cual se puede sustentar con lo referido por Torres (1995), quien afirma que cuando el nivel freático es mayor a 1.20 m durante más de 25 días sin lluvia, es necesaria la aplicación de riego.

2.6.7 Rendimiento de caña (T/ha) y productividad de azúcar (T/ha)

Los resultados promedio obtenidos de la implementación de un riego precorte con un marco de riego de 45 m * 45 m, con un tiempo de riego de 2 h y en diferentes momentos se muestran en el cuadro 31 y el detalle de lo obtenido en cada localidad se muestra en el cuadro 42A.

Cuadro 31. Valores promedio para rendimiento de caña y productividad de azúcar obtenidos por la implementación de un riego precorte en relación a la no aplicación de riego.

| Tratamiento | Caña (T/ha) | Diferencia caña (T/ha) | Azúcar (T/ha) | Diferencia azúcar (T/ha) | Azúcar *(qq/ha) | Diferencia azúcar (qq/ha) |
|-------------|-------------|------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|
| Sin riego | 125.55 | -- | 13.20 | -- | 263.98 | -- |
| 20 dac | 128.03 | 2.48 | 13.46 | 0.27 | 269.24 | 5.26 |
| 30 dac | 134.16 | 8.62 | 14.10 | 0.90 | 281.96 | 17.98 |
| 40 dac | 131.50 | 5.95 | 13.82 | 0.62 | 276.29 | 12.32 |

De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro anterior, se obtuvo que el cultivo presentó una respuesta positiva en rendimiento y productividad cuando se aplicó un riego precorte. Lo cual concuerda con el aumento en el largo de entrenudos y altura de planta registrados durante el periodo de investigación.

El incremento en altura de planta, largo de entrenudos, rendimiento de caña y productividad de azúcar reflejó que, aunque el cultivo se encontrara en su etapa de maduración más la aplicación de madurante químico y sometido a un estrés hídrico, este responde de forma favorable ante la aplicación de riego.

Los mejores incrementos respecto a no aplicar riego se obtuvieron cuando se aplicó un riego entre 30 días y 40 días precorte. Sin embargo, para ratificar esta afirmación se procedió a realizar un análisis de varianza para las variables de rendimiento de caña (T/ha) y productividad de azúcar (T/ha), los cuales se presentan en los siguientes apartados.

A. Análisis de varianza para rendimiento de caña (T/ha)

El análisis de varianza realizado se presenta en el cuadro 32.

Cuadro 32. Análisis de varianza para la variable rendimiento de caña (T/ha).

| | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo. | 5233.33 | 6 | 872.22 | 313.76 | <0.0001 |
| Localidad | 5060.85 | 3 | 1686.95 | 606.85 | <0.0001 |
| Tratamiento | 172.49 | 3 | 57.5 | 20.68 | 0.0002 |
| Error | 25.02 | 9 | 2.78 | | |
| Total | 5258.35 | 15 | | | |

SC = Sumatoria de cuadrados gl = Grados de libertad
 CM = Cuadrado medio C.V. = 14 %

Este análisis confirmó la existencia de variación entre los tratamientos aplicados. Dado que el p-valor fue menor al nivel de significancia de 0.05, con lo que se confirmó que sí existió diferencia significativa entre los momentos de aplicación de un riego precorte en el cultivo de caña de azúcar, lo cual se reflejó en un incremento en el rendimiento del mismo.

Dado que si existieron diferencias significativas entre tratamientos, se procedió a realizar una prueba de medias (Tuckey) para determinar cuál(es) tratamiento(s) fue el que mejor comportamiento presentó respecto a los demás. Los resultados se presentan en el cuadro 33.

Cuadro 33. Prueba de medias de Tuckey para la variable rendimiento de caña (T/ha).

| Tratamiento | Medias T/ha | n | E.E.* | Grupo | |
|-------------|----------------|---|-------|-------|---|
| 30 dac | 149.22 | 4 | 0.83 | A | |
| 40 dac | 145.89 | 4 | 0.83 | A | |
| 20 dac | 112.69 | 4 | 0.83 | | B |
| Sin riego | 111.46 | 4 | 0.83 | | B |

Error: 2.7799

Grados de libertad: 9

EE = Error estándar

Para este análisis se obtuvo que los tratamientos pertenecientes al grupo A son mejores a los del grupo B. Lo cual significa que estadísticamente la aplicación de un riego entre 30 días y 40 días precorte puede utilizarse para lograr el mismo incremento en rendimiento, quedando sin efecto la aplicación de un riego 20 días precorte, ya que esto puede generar los mismos resultados si no se aplica riego.

B. Análisis de varianza para productividad de azúcar (T/ha)

El análisis de varianza realizado se presenta en el cuadro 34.

Cuadro 34. Análisis de varianza para la variable productividad de azúcar (T/ha).

| | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-------|----|-------|---------|---------|
| Modelo. | 93.06 | 6 | 15.51 | 516.11 | <0.0001 |
| Localidad | 91.18 | 3 | 30.39 | 1011.43 | <0.0001 |
| Tratamiento | 1.87 | 3 | 0.62 | 20.79 | 0.0002 |
| Error | 0.27 | 9 | 0.03 | | |
| Total | 93.33 | 15 | | | |

SC = Sumatoria de cuadrados

CM = Cuadrado medio

gl = Grados de libertad

C.V. = 18 %

Este análisis también confirmó la existencia de diferencias en la productividad de azúcar debido a la aplicación de un riego precorte al cultivo. Con el mismo enfoque que el análisis anterior, se procedió a la realización de una prueba de medias (Tuckey) para determinar qué grupo de tratamientos fue el que mejor resultado presentó en relación a los demás, dicha prueba se presenta en el cuadro 35.

Cuadro 35. Prueba de medias de Tuckey para la variable productividad de azúcar (T/ha).

| Tratamiento | Medias T/ha | n | E.E. | Grupo | | |
|-------------|----------------|---|------|-------|---|---|
| 30 dac | 14.1 | 4 | 0.09 | A | | |
| 40 dac | 13.81 | 4 | 0.09 | A | B | |
| 20 dac | 13.46 | 4 | 0.09 | | B | C |
| Sin riego | 13.2 | 4 | 0.09 | | | C |

Error: 0.0301

Grados de libertad: 9

EE = Error estándar

Para este análisis se obtuvo que los tratamientos pertenecientes al grupo A son mejores a los demás grupos, pudiéndose implementar la aplicación de un riego entre 30 días y 40 días precorte para obtener la misma productividad de azúcar estadísticamente. Sin embargo, también se obtuvo para esta variable que la aplicación de un riego 20 días precorte y la no aplicación de riego pueden generar la misma productividad de azúcar que la aplicación 40 días precorte, ya que se pueden colocar estadísticamente en el mismo grupo (B y C) para obtener resultados iguales.

C. Cambio en el rendimiento por lámina de agua aplicada

Con apoyo en los valores obtenidos en la evaluación de la uniformidad de riego (cuadro 23), y los valores de la prueba de medias Tuckey para la variable rendimiento de caña (T/ha en cuadro 33), se determinaron los cambios en relación a la Lámina Neta (Ln) de agua aplicada producto de la implementación de un riego precorte.

Los valores que se presentan en el cuadro 36 expresan la relación del incremento en el rendimiento de caña (T/ha) por cada milímetro de agua aplicado al cultivo en la etapa de maduración y posterior a la aplicación de madurante.

Cuadro 36. Relación del incremento promedio de caña en T/ha por lámina de agua aplicada (mm).

| Tratamiento | Ln promedio (mm) | Rendimiento de caña (T/ha) | Incremento de caña (T/ha) | T/ha/10 mm |
|-------------|------------------|----------------------------|---------------------------|------------|
| Sin riego | 0 | 111.46 | 0 | 0 |
| 20 dac | 26.97 | 112.69 | 1.23 | 0.50 |
| 30 dac | 26.48 | 149.22 | 37.76 | 14.3 |
| 40 dac | 25.83 | 145.89 | 34.43 | 13.3 |

Ya que existió respuesta positiva tanto en la aplicación de un riego 30 días y 40 días precorte en comparación con la no aplicación de riego, dado que el incremento es mayor de 30 T/ha,

dando una razón de producción aproximada de entre 13.3 T/ha a 14.3 T/ha por cada 10 mm de agua aplicada.

2.6.8 Análisis financiero

Con base en los análisis antes realizados se determinó que el cultivo presentó un aumento significativo en rendimiento de caña y productividad de azúcar cuando se aplicó un riego entre 30 días y 40 días precorte en relación a la no aplicación de este tipo de riego. Por lo cual se realizó un análisis en donde se contemplaron los costos de la aplicación de un riego precorte en distintos momentos y la utilidad que estos generaron para dar una mejor perspectiva de esta actividad al momento de ser comparada con el manejo convencional que se tiene en el cultivo (sin riego precorte).

El costo de riego que se manejó fue de Q. 537.05/ha, valor que ya se encontraba establecido por la empresa. Este costo se basó contemplando los siguientes apartados:

- Mano de obra.
- Prestaciones labores.
- Pagos patronales.
- Insumos.
- Mantenimiento de maquinaria y equipo.
- Renta de maquinaria.
- Costos indirectos.
- Turno de riego de 2 h.
- Marco de riego de 45 m * 45 m.
- Operación de 2 aspersores.

El detalle de los apartados anteriores se muestra en los cuadros 39A y 40A.

El precio del quintal de azúcar manejado fue de Q. 130.00, U.S. \$. 17.10 (tasa de cambio Q. 7.60).

El resumen de la información cuantificada para el análisis financiero se presenta en el cuadro 37 y el detalle en el cuadro 43A.

Cuadro 37. Utilidades parciales promedio en una hectárea obtenidas por aplicación de un riego precorte en relación a la no aplicación de riego.

| Tratamiento | Utilidad Parcial | Diferencia utilidad | Utilidad (100 ha) |
|-------------|------------------|---------------------|-------------------|
| Sin riego | Q. 34,317.01 | Q. - | Q. - |
| 20 dac | Q. 34,987.39 | Q. 670.38 | Q. 67,037.56 |
| 30 dac | Q. 36,640.52 | Q. 2,323.51 | Q. 232,350.96 |
| 40 dac | Q. 35,904.58 | Q. 1,587.57 | Q. 158,757.15 |

De los tratamientos implementados, el que mejores utilidades parciales generó en comparación con lo obtenido por la no aplicación de riego precorte fue cuando se aplicó un riego 30 días precorte. Los resultados obtenidos de este tratamiento también fueron de los que mejor respuesta se tuvo en cuanto a rendimiento de caña (T/ha) y productividad de azúcar (T/ha).

2.7 CONCLUSIONES

- 1 El incremento promedio en el rendimiento de caña que se obtuvo por la aplicación de un riego precorte en distintos momentos fue de entre 0.5 T/ha a 14.3 T/ha por cada 10 mm de agua aplicada.
- 2 Los mejores momentos para la aplicación de un riego precorte están entre 30 días y 40 días. Ya que la aplicación en estos momentos presentó un aumento en el rendimiento de caña de entre 34.43 T/ha a 37.76 T/ha, que generó un aumento en la productividad de azúcar de entre 0.61 T/ha a 0.9 T/ha al compararlos con el cultivo que no se le aplicó riego precorte.
- 3 La calidad de los eventos de riego aplicados se clasificó como deficiente con valores de CU < 60 % (51.89 % a 57.78 %), UD < 50 % (44.77 % a 49.85 %) y eficiencia de aplicación < 75 % (57 % a 74 %) en todos los tratamientos y localidades.
- 4 En el aspecto financiero, para todos los tratamientos se obtuvieron utilidades parciales positivas. El mejor resultado respecto a no regar se obtuvo de la aplicación de un riego 30 días precorte, donde las utilidades parciales promedio obtenidas fueron de Q. 2,323.51/ha.

2.8 RECOMENDACIONES

1. Para generalizar la implementación de un riego precorte posterior a la aplicación de madurante es necesaria la replicación de estos tratamientos en diferentes condiciones a las ya descritas. Así también la variación de los momentos de aplicación (no menor a 30 días antes del corte) para obtener resultados más certeros y que puedan servir de indicador para futuras investigaciones.
2. La aplicación de un riego 30 días precorte puede utilizarse como indicador para obtener incrementos en rendimiento de caña y productividad de azúcar cuando el cultivo presente un déficit hídrico mayor a 50 días.
3. No implementar la aplicación de un riego 20 días precorte, ya que estadísticamente puede generar los mismos resultados si no se aplica riego.

2.9 BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Obtenido de Roma, Italia: FAO: <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
2. Almeida, J. C., Sanomya, R., Leite, C. F., & Cassienell, N. F. (2003). *Eficiência agrônômica de sulfometuron-methyl como maturador na cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp)*. Obtenido de STAB, Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 21(3), 36-37: <http://177.103.158.171/site/pdf/21.3.2.pdf>
3. Arcila Arias, J. (1986). Maduración química de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). En TECNICAÑA, *El cultivo de la caña de azúcar. Memorias del curso* (págs. 323-347). Cali, Colombia: Tecnicaña.
4. Arcilla, J., & Villegas, F. (1995). Uso de madurantes. En CENICAÑA, *El cultivo de la caña de azúcar en la zona cañera de Colombia* (págs. 315-335). Cali, Colombia: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Recuperado el 20 de Agosto de 2016
5. Cancino, M. (5 de Mayo de 2017). Aplicación de madurante en caña de azúcar (Escuintla, Guatemala: Grupo Corporativo Santa Ana, Departamento de Aplicaciones Aéreas e Investigación). (F. Marroquin, Entrevistador)
6. Cassalett-Dávila, C., Torres Aguas, J., & Echeverri, C. I. (1995). *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cali, Colombia: CENICAÑA.
7. Castro, O. (2004). *Evaluación técnica y económica del riego por aspersión tipo cañón*. Escuintla, Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-, Departamento de Riegos. Recuperado el 05 de Septiembre de 2016
8. Castro, O. (2010). El balance hídrico: herramienta para la planificación del riego en caña de azúcar. *Memoria. Presentación de resultados de investigación, zafra*

2004/2005 (pág. 8). Escuintla, Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-.

9. Castro, O. (2014). El riego en el cultivo de caña de azúcar. En M. Melgar Morales, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. Espinoza, *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala* (págs. 178-201). Guatemala, Escuintla, Guatemala: Artemis Edinter.
10. Castro, O., & Montufar, J. (2004). Respuesta de la caña de azúcar al riego precorte: caso de la finca Churubusco. En CENGICAÑA (Ed.), *Presentación de resultados de investigación 2003-2004* (págs. 192-198). Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-. Recuperado el 01 de Septiembre de 2016, de <http://www.cengicana.org/es/publicaciones/memorias/func-startdown/389/>
11. Castro, O., & Rosales, C. (2008). Recomendaciones tecnicas y economicas para la programacion del riego en la zona cañera guatemalteca. En CENGICAÑA, *Memoria de presentación de resultados de investigación zafra 2006-2007* (págs. 200-205). Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación dela Caña de Azúcar -CENGICAÑA-.
12. Castro, O., & Suárez, A. (2010). La meteorología en la caña de azúcar. En M. Melgar Morales, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, R. Espinoza, & A. Edinter (Ed.), *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala* (págs. 447-478). Guatemala: Artemis Edinter.
13. Castro, O., Ramírez, C., Martínez, A., Tanchez, M., & Celada, C. (2009). Validación de programas de riego pre-corte en diferentes condiciones de suelo de la zona cañera de Guatemala. En CENGICAÑA (Ed.), *Presentación de resultados de investigación* (págs. 188-197). Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-. Recuperado el 09 de Septiembre de 2016, de http://www.cengicana.org/es/publicaciones/download/chk,e24d86ed187dadeb39b021f53a5c5101-no_html,1/

14. Castro, O., Ramírez, C., Yots, B., & Rosales, C. (2008). Respuesta de la caña de azúcar al riego precorte en condiciones de un suelo arcilloso. *Memoria. Presentación de resultados de investigación, zafra 2006 – 2007* (pág. 8). Escuintla, Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar - CENGICAÑA-
15. Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar, Guatemala (CENGICAÑA). (2006). *Presentación de resultados de investigación. Zafra 2005/2006*. Escuintla, Guatemala: CENGICAÑA.
16. Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar, Guatemala (CENGICAÑA). (2015). *Informe anual 2013-2014*. Escuintla, Guatemala: CENGICAÑA.
17. Comparini Aguirre, S. D. (2006). *Evaluación de variedades de caña de azúcar (Saccharum spp.) en el Ingenio La Unión, Santa Lucía Cotzumalguapa*. Obtenido de (Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala): http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2285.pdf
18. Esquit Donis, V. E. (2004). *Análisis técnico-económico de un sistema de riego por pivote central y un módulo de riego por aspersión móvil en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), en Ingenio La Unión, Escuintla*. Recuperado el 06 de Septiembre de 2016, de (Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala): biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2057.pdf
19. Girón Contreras, B. (2017). *Evaluación del efecto de riego con tres frecuencias y dos fuentes de fertilización en la producción de caña de azúcar (Saccharum spp.) en la etapa de macollamiento, finca La Cuchilla, La Gomera, Escuintla, Guatemala, C.A.* Obtenido de (Tesis Ing. Agr., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala):<http://www.repositorio.usac.edu.gt/7182/1/Documento%20de%20Graduaci%C3%B3n%20-%20Boris%20Gir%C3%B3n.pdf>

20. Ingenio La Unión-Los Tarros, Guatemala. (1999). *Base de datos de temperatura y lluvia, estación meteorológica "Belén"*. Escuintla, Guatemala: Ingenio La Unión-Los Tarros.
21. Irungaray Guzmán, R. C. (1997). *Uso del balance hídrico para la programación de riegos en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum spp.), en San Lucas Toliman, Sololá*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2016, de (Tesis Ing. Agr., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala): http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1693.pdf
22. Juárez, D., & Muñoz, E. (1998). *Requerimientos de riego de la caña de azúcar en la costa sur de Guatemala: Estudio exploratorio. (Documento Técnico no. 15)*. Escuintla, Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-.
23. Juárez, W. (2000). *Evaluación de diferentes frecuencias de riego sobre el rendimiento de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en la fase de rápido crecimiento, La Gomera, Escuintla*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
24. López Bautista, E. (2008). *Estadística aplicada a la producción agrícola*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Centro de Telemática.
25. Maraux Florent, R. B. (1990). *Paquete "AGROCLIM"; Guía del usuario. Cálculo de la ETP Penman, manejo de archivos pluviométricos análisis de datos pluviométricos, simulación de balance hídrico*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza -CATIE-.
26. Melgar Morales, M. (2014). *Desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera y perspectivas. (p. 1-32)*. (CENGICAÑA, Ed.) Recuperado el 04 de Septiembre de 2016, de M. Melgar Morales, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. Espinoza. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala: Artemis Edinter: <https://dialnet.unirioja.es/download/libro/572719.pdf>

27. Meneses, A. (2014). *La cosecha de caña de azúcar. (295-306)*. (CENGICAÑA, Ed.) Recuperado el 14 de Septiembre de 2016, de M. Melgar Morales, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. Espinoza. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala: Artemis Edinter: <http://www.cengicana.org/es/publicaciones/libro-de-la-cana-de-azucar/Libro-Ca%C3%B1a-de-Az%C3%BAcar/Art%C3%ADculos-Libro-El-Cultivo-de-la-Ca%C3%B1a-de-Az%C3%BAcar/XII.-La-Cosecha-de-la-Ca%C3%B1a-de-Az%C3%BAcar/>
28. Montero Martínez, J. (2000). *Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario; Desarrollo del modelo de simulación de riego por aspersión, SIRIAS*. Recuperado el 07 de Septiembre de 2016, de (Tesis PhD., Universidad de Castilla-La Mancha: España):<https://books.google.com.gt/books?id=cSSINOIAEdkC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
29. Pérez Solarez, G. (2008). *Elaboración de la documentación previa a la certificación ISO 9001:2000, del Laboratorios de Parasitoides Cotesia flavipes, Ingenio Santa Ana*. Retrieved 2016 йил 25-Septiembre from (Tesis Ing. Indus., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería: Guatemala):biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1951_IN.pdf
30. Perez, J. M., & López Bautista, E. (2002). *Nivel de daño económico para las plagas de importancia en caña de azúcar y su estimación con base en un programa diseñado por CENGICAÑA*. Guatemala: Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar -CENGICAÑA-.
31. Salas, A. F., Salas, A. F., & Urrestarazu, L. P. (2008). *Evaluación de la uniformidad del riego*. (Universidad de Sevilla) Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de Universidad de Sevilla, Open Course Web: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_18.htm

32. Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Obtenido de Roma, Italia: FAO, Estudio FAO: Riego y Drenaje no. 66: <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
33. Tayún Cuyuch, G. (2014). *Evaluación de madurantes no herbicidas en el cultivo de caña de azúcar La Gomera, Escuintla*. Obtenido de (Tesis Ing. Agr., Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales: Guatemala): <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/16/Tayun-Geovani.pdf>
34. Torres Aguas, J. S., Cruz Valderrama, R., & Villegas Trujillo, F. (2004). *Avances técnicos para la programación y manejo del riego en caña de azúcar. 2 ed.* Obtenido de Colombia: CENICAÑA. (Serie Técnica no. 33): <https://docplayer.es/10310530-Avances-tecnicos-para-la-programacion-y-el-manejo-del-riego-en-cana-de-azucar.html>
35. Villaviciencio, A., & Villablanca, A. (2010). *Determinación del coeficiente de uniformidad de riego*. Obtenido de Santiago, Chile: Informativo INIA - URURI, no. 17, 1-2: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR37823.pdf>
36. Villegas, T. (1992). *Avances de investigación con madurantes*. Cali, Colombia: CENICAÑA. (Documento Técnico no. 258).

2.10 ANEXOS

Cuadro 38A. Eto de referencia mensual.

| Año | Mes | Estación Los Esclavos | | | | Estación Bolivia | |
|----------|-----|-----------------------|--------|------------|--------|------------------|--------|
| | | La Giganta | | Cuernavaca | | Portuaria | |
| | | mm/día | mm/mes | mm/día | mm/mes | mm/día | mm/mes |
| 2016 | 9 | 3.9 | 117 | 3.71 | 111 | 4.45 | 133 |
| | 10 | 3.91 | 121 | 3.67 | 114 | 4.31 | 134 |
| | 11 | 3.86 | 116 | 3.45 | 69 | 3.92 | 74 |
| | 12 | 3.86 | 116 | 3.45 | 69 | 3.92 | 74 |
| 2017 | 1 | 4.13 | 128 | 3.48 | 108 | 4.14 | 128 |
| | 2 | 5.03 | 146 | 4.57 | 132 | 5.76 | 167 |
| | 3 | 4.23 | 131 | 3.91 | 121 | 4.6 | 143 |
| | 4 | 4.33 | 130 | 4.18 | 125 | 5 | 150 |
| Promedio | | 4.16 | 125.63 | 3.80 | 106.13 | 4.51 | 125.38 |

Fuente: ICC, 2017.

Cuadro 39A. Costos de operacion segun activo 17 – 18.

| RESUMEN ACTIVO 294 – ASPERSIÓN | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Distribución | Ha/turno | H máq/ha | Costo/h | Costo/ha |
| 6*6 | 0.6 | 3.33 | Q. 107.41 | Q. 358.03 |
| 6*5 | 0.5 | 4.00 | Q. 107.41 | Q. 429.64 |
| 5*5 | 0.4 | 5.00 | Q. 107.41 | Q. 537.05 |
| 5*4 | 0.3 | 6.67 | Q. 107.41 | Q. 716.07 |

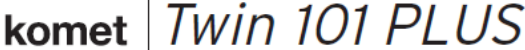
Fuente: Grupo Corporativo Santa Ana, 2017.

Cuadro 40A. Parámetros asociados al costo de operación de un sistema de riego por aspersión.

| Maquinas Disponibles: 127 | | Valor Maquina: Q. 219,750.90 | Años Deprec: 10 | Interes Bancario: 6.00 % | Horas Reales: 262,688.00 | |
|--|-----------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|----------------|
| Tipo Cambio: Q. 7.34 | | Valor Combustible: Q. 16.93 | Seguros: 3.00 % | Galones/Hora: 2.70 | Gls. Comb. 697,254.60 | |
| | Costo Real Total Categoría | Costo Unitario | Tarifa por Hora | Contribución por Rubro | Contribución Total | |
| MANO DE OBRA DIRECTA | | | | | | |
| 1 | SALARIO BASE | Q. 6,393,184.49 | Q. 24.34 | Q. 24.34 | 54.33 % | 19.14 % |
| 2 | EXTRAORDINARIO | Q. 1,819,129.33 | Q. 6.93 | Q. 6.93 | 15.47 % | 5.45 % |
| 3 | OTROS INGRESOS | Q. 40,250.05 | Q. 0.15 | Q. 0.15 | 0.34 % | 0.12 % |
| 4 | ASUETOS | Q. 843,125.50 | Q. 2.45 | Q. 2.45 | 5.47 % | 1.93 % |
| 5 | SEPTIMOS | Q. 1,466,210.62 | Q. 5.58 | Q. 5.58 | 12.46 % | 4.39 % |
| 6 | DESTAJOS | Q. 718,904.95 | Q. 2.74 | Q. 2.74 | 6.12 % | 2.16 % |
| 7 | BONO INCENTIVO (37-2001) | Q. 685,454.95 | Q. 2.61 | Q. 2.61 | 5.83 % | 2.05 % |
| SUB-TOTAL: | | Q. 11,766,259.88 | Q. 44.80 | Q. 44.80 | 100.00 % | 35.23 % |
| PRESTACIONES LABORALES | | | | | | |
| 1 | VACACIONES | Q. 455,375.55 | Q. 1.73 | Q. 1.73 | 17.49 % | 1.38 % |
| 2 | AGUINALDO | Q. 532,765.37 | Q. 2.03 | Q. 2.03 | 20.53 % | 1.60 % |
| 3 | BONO 14 | Q. 532,765.37 | Q. 2.03 | Q. 2.03 | 20.53 % | 1.60 % |
| 4 | INDEMNIZACION | Q. 1,077,300.48 | Q. 4.10 | Q. 4.10 | 41.46 % | 3.22 % |
| SUB-TOTAL: | | Q. 2,598,206.77 | Q. 9.89 | Q. 9.89 | 100.00 % | 7.78 % |
| PAGOS PATRONALES | | | | | | |
| 1 | I.G.S.S. PATRONAL | Q. 1,182,321.89 | Q. 4.50 | Q. 4.50 | 84.27 % | 3.54 % |
| 2 | I.R.T.R.A. | Q. 110,808.05 | Q. 0.42 | Q. 0.42 | 7.87 % | 0.33 % |
| 3 | I.N.T.E.C.A.P. | Q. 110,808.05 | Q. 0.42 | Q. 0.42 | 7.87 % | 0.33 % |
| SUB-TOTAL: | | Q. 1,403,937.98 | Q. 5.34 | Q. 5.34 | 100.00 % | 4.20 % |
| INSUMOS | | | | | | |
| 1 | COMBUSTIBLE (697,254.60 Gls.) | Q. 11,037,478.60 | Q. 42.02 | Q. 42.02 | 97.97 % | 33.05 % |
| 2 | LUBRICANTES, ACEITES Y GRASAS | Q. 225,953.50 | Q. 0.86 | Q. 0.86 | 2.01 % | 0.68 % |
| 3 | LLANTAS | Q. 3,539.77 | Q. 0.01 | Q. 0.01 | 0.02 % | 0.01 % |
| SUB-TOTAL: | | Q. 11,266,973.07 | Q. 42.89 | Q. 42.89 | 100.00 % | 33.73 % |
| MANTENIMIENTO MAQUINARIA Y EQUIPO | | | | | | |
| 1 | GASTOS INDIRECTOS TALLER | Q. 272,183.85 | Q. 1.04 | Q. 1.04 | 10.58 % | 0.82 % |
| | MANO DE OBRA TALLER | Q. 807,009.98 | Q. 3.07 | Q. 3.07 | 31.23 % | 2.41 % |
| 6 | SERVICIOS Y REPUESTOS DE TERCEROS | Q. 204,972.39 | Q. 0.78 | Q. 0.78 | 7.84 % | 0.61 % |
| 7 | REPUESTOS | Q. 1,298,352.52 | Q. 4.94 | Q. 4.94 | 50.25 % | 3.89 % |
| SUB-TOTAL: | | Q. 2,582,518.74 | Q. 9.83 | Q. 9.83 | 100.00 % | 7.73 % |
| RENTA DE MAQUINARIA | | | | | | |
| 1 | DEPRECIACIONES | Q. 2,768,811.54 | Q. 10.54 | Q. 10.54 | 73.14 % | 8.29 % |
| 2 | COSTO FINANCIERO | Q. 1,016,780.06 | Q. 3.87 | Q. 3.87 | 26.86 % | 3.04 % |
| 4 | SEGUROS | Q. 0.00 | Q. 0.00 | Q. 0.00 | 0.00 % | 0.00 % |
| SUB-TOTAL: | | Q. 3,785,591.62 | Q. 14.41 | Q. 14.41 | 100.00 % | 11.33 % |
| COSTOS INDIRECTOS | | | | | | |
| 1 | COSTOS ADMINISTRATIVOS | Q. 0.00 | Q. 0.00 | Q. 0.00 | 0.00 % | 0.00 % |
| 2 | COSTOS DE SUPERVISION | Q. 0.00 | Q. 0.00 | Q. 0.00 | 0.00 % | 0.00 % |
| 3 | GASTOS INDIRECTOS ADMINISTRATIVOS | Q. 0.00 | Q. 0.00 | Q. 0.00 | 0.00 % | 0.00 % |
| 4 | COSTOS INDIRECTOS DE LA OPERACION | Q. 0.00 | Q. 0.00 | Q. 0.00 | 0.00 % | 0.00 % |
| SUB-TOTAL: | | Q. 0.00 | Q. 0.00 | Q. 0.00 | 0.00 % | 0.00 % |

Fuente: Grupo Corporativo Santa Ana, 2017.

Cuadro 41A. Ficha técnica aspersor komet twin 101 plus.



komet | Twin 101 High Performance Nozzles / Boquillas de alto rendimiento Trajectory angle / Angulo de trayectoria **24°**

| PSI | Nozzle / Boquilla 0.47" | | Nozzle / Boquilla 0.55" | | Nozzle / Boquilla 0.63" | | Nozzle / Boquilla 0.67" | | Nozzle / Boquilla 0.71" | | Nozzle / Boquilla 0.75" | | Nozzle / Boquilla 0.79" | | Nozzle / Boquilla 0.83" | | Nozzle / Boquilla 0.87" | | Nozzle / Boquilla 0.91" | | Nozzle / Boquilla 0.94" | |
|------------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|
| | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. | GPM | DIA. |
| 30 | - | - | 48 | 187' | 62 | 201' | 70 | 209' | 79 | 217' | 88 | 225' | 97 | 232' | 107 | 240' | 118 | 247' | 129 | 254' | 140 | 260' |
| 40 | 40 | 183' | 55 | 203' | 72 | 220' | 81 | 227' | 91 | 234' | 101 | 242' | 112 | 250' | 124 | 258' | 136 | 265' | 149 | 272' | 162 | 279' |
| 50 | 45 | 197' | 62 | 215' | 80 | 232' | 91 | 241' | 102 | 250' | 113 | 259' | 125 | 267' | 138 | 275' | 152 | 283' | 166 | 292' | 181 | 300' |
| 60 | 50 | 212' | 67 | 230' | 88 | 247' | 99 | 257' | 111 | 266' | 124 | 274' | 138 | 282' | 152 | 290' | 167 | 298' | 182 | 307' | 198 | 315' |
| 70 | 54 | 225' | 73 | 244' | 95 | 262' | 107 | 271' | 120 | 280' | 134 | 289' | 149 | 297' | 164 | 306' | 180 | 314' | 196 | 319' | 214 | 323' |
| 80 | 57 | 237' | 78 | 257' | 102 | 276' | 115 | 285' | 129 | 294' | 143 | 303' | 159 | 312' | 175 | 321' | 192 | 329' | 210 | 337' | 229 | 344' |
| 90 | 61 | 248' | 83 | 269' | 108 | 289' | 122 | 299' | 137 | 308' | 152 | 317' | 169 | 326' | 186 | 335' | 204 | 343' | 223 | 351' | 243 | 359' |
| 100 | 64 | 257' | 87 | 280' | 114 | 300' | 128 | 310' | 144 | 320' | 160 | 330' | 178 | 339' | 196 | 348' | 215 | 357' | 235 | 366' | 256 | 374' |
| 110 | 67 | 265' | 91 | 290' | 119 | 310' | 135 | 321' | 151 | 331' | 168 | 341' | 186 | 351' | 205 | 360' | 225 | 369' | 246 | 379' | 268 | 388' |

N.B. The performance data were obtained under ideal testing conditions and may be adversely affected by wind and other factors. Pressure refers to pressure at nozzle. A lowered trajectory angle improves the irrigation efficiency in windy conditions. For every 3° drop of the trajectory angle the throw is reduced by approx. 3 to 4%.
 Los datos indicados en la tabla se refieren a condiciones de calma y pueden ser influenciados negativamente por viento u otros factores. La presión efectiva indicada se refiere a la presión de la boquilla. El bajar el ángulo de la trayectoria, ayuda a mejorar la eficacia del riego en condiciones de viento. Por cada 3° que se baje el ángulo de trayectoria, el alcance del chorro se reduce aproximadamente entre un 3 y un 4%.

Fuente: Grupo Corporativo Santa Ana, 2017.

Cuadro 42A. Rendimiento de caña (T/ha) y productividad de azúcar (T/ha) obtenidos en cada localidad.

| Localidad | Tratamiento | Caña (T/ha) | Diferencia caña (T/ha) | Azúcar (T/ha) | Diferencia azúcar (T/ha) | Azúcar *(qq/ha) | Diferencia azúcar (qq/ha) |
|-----------|-------------|-------------|------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|---------------------------|
| 1 | Sin riego | 107.14 | -- | 9.72 | -- | 194.39 | -- |
| | 20 dac | 108.28 | 1.14 | 9.82 | 0.1 | 196.46 | 2.07 |
| | 30 dac | 115.84 | 8.7 | 10.51 | 0.79 | 210.18 | 15.79 |
| | 40 dac | 114.56 | 7.42 | 10.40 | 0.68 | 207.85 | 13.46 |
| 2 | Sin riego | 109.25 | -- | 12.44 | -- | 248.87 | -- |
| | 20 dac | 110.42 | 1.17 | 12.58 | 0.14 | 251.54 | 2.67 |
| | 30 dac | 115.95 | 6.73 | 13.21 | 0.77 | 264.13 | 15.26 |
| | 40 dac | 115.12 | 5.87 | 13.11 | 0.67 | 262.25 | 13.38 |
| 3 | Sin riego | 144.62 | -- | 15.66 | -- | 313.21 | -- |
| | 20 dac | 149.24 | 4.62 | 16.16 | 0.5 | 323.20 | 9.99 |
| | 30 dac | 155.31 | 10.69 | 16.82 | 1.16 | 336.37 | 23.16 |
| | 40 dac | 147.70 | 3.08 | 15.99 | 0.33 | 319.87 | 6.66 |
| 4 | Sin riego | 141.20 | -- | 14.97 | -- | 299.44 | -- |
| | 20 dac | 144.17 | 2.97 | 15.29 | 0.32 | 305.74 | 6.3 |
| | 30 dac | 149.55 | 8.35 | 15.86 | 0.89 | 317.15 | 17.71 |
| | 40 dac | 148.63 | 7.43 | 15.76 | 0.79 | 315.20 | 15.76 |

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 43A. Detalle de cálculo para utilidades parciales en una hectárea, obtenidas por la aplicación de un riego precorte en relación a la no aplicación de riego.

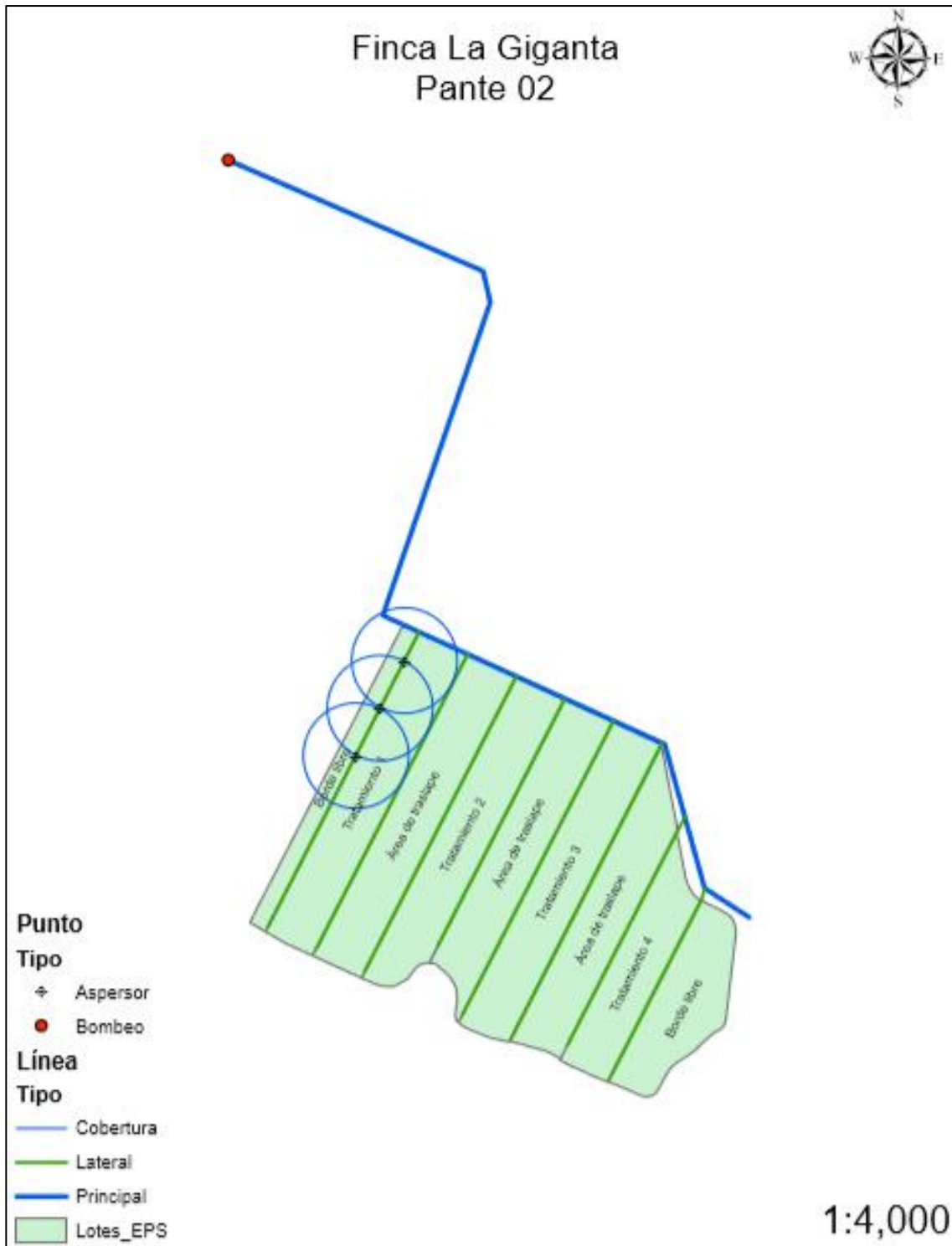
| Localidad | Tratamiento | Caña (T/ha) | Azúcar (T/ha) | Azúcar (qq/ha) | *Ingreso bruto | **Lb (mm) | Costo riego (1 ha) | Costo (mm/ha) | Utilidad parcial | ***Diferencia utilidad | Utilidad (100 ha) |
|---------------|-------------|-------------|---------------|----------------|----------------|-----------|--------------------|---------------|------------------|------------------------|-------------------|
| La Giganta 02 | Sin riego | 107.14 | 9.72 | 194.39 | Q. 25,270.96 | 0.00 | Q. - | Q. - | Q. 25,270.96 | Q. - | Q. - |
| La Giganta 02 | 20 dac | 108.28 | 9.82 | 196.46 | Q. 25,539.80 | 39.11 | Q. 537.05 | Q. 13.73 | Q. 25,526.07 | Q. 255.11 | Q. 25,511 |
| La Giganta 02 | 30 dac | 115.84 | 10.51 | 210.18 | Q. 27,322.76 | 39.11 | Q. 537.05 | Q. 13.73 | Q. 27,309.03 | Q. 2,038.07 | Q. 203,807 |
| La Giganta 02 | 40 dac | 114.56 | 10.39 | 207.85 | Q. 27,020.94 | 39.11 | Q. 537.05 | Q. 13.73 | Q. 27,007.21 | Q. 1,736.25 | Q. 173,625 |
| Cuernavaca 03 | Sin riego | 109.25 | 12.44 | 248.87 | Q. 32,352.84 | 0.00 | Q. - | Q. - | Q. 32,352.84 | Q. - | Q. - |
| Cuernavaca 03 | 20 dac | 110.42 | 12.58 | 251.54 | Q. 32,700.72 | 40.18 | Q. 537.05 | Q. 13.37 | Q. 32,687.35 | Q. 334.51 | Q. 33,451 |
| Cuernavaca 03 | 30 dac | 115.95 | 13.21 | 264.13 | Q. 34,336.65 | 40.18 | Q. 537.05 | Q. 13.37 | Q. 34,323.28 | Q. 1,970.44 | Q. 197,044 |
| Cuernavaca 03 | 40 dac | 115.12 | 13.11 | 262.25 | Q. 34,092.24 | 40.18 | Q. 537.05 | Q. 13.37 | Q. 34,078.87 | Q. 1,726.03 | Q. 172,603 |
| Portuaria 13 | Sin riego | 144.62 | 15.66 | 313.21 | Q. 40,717.04 | 0.00 | Q. - | Q. - | Q. 40,717.04 | Q. - | Q. - |
| Portuaria 13 | 20 dac | 149.23 | 16.16 | 323.20 | Q. 42,016.52 | 40.89 | Q. 537.05 | Q. 13.13 | Q. 42,003.39 | Q. 1,286.35 | Q. 128,635 |
| Portuaria 13 | 30 dac | 155.31 | 16.82 | 336.37 | Q. 43,727.48 | 40.89 | Q. 537.05 | Q. 13.13 | Q. 43,714.35 | Q. 2,997.31 | Q. 299,731 |
| Portuaria 13 | 40 dac | 147.70 | 15.99 | 319.87 | Q. 41,583.36 | 40.89 | Q. 537.05 | Q. 13.13 | Q. 41,570.23 | Q. 853.19 | Q. 85,319 |
| Portuaria 15 | Sin riego | 141.20 | 14.97 | 299.44 | Q. 38,927.20 | 0.00 | Q. - | Q. - | Q. 38,927.20 | Q. - | Q. - |
| Portuaria 15 | 20 dac | 144.17 | 15.29 | 305.74 | Q. 39,746.72 | 38.40 | Q. 537.05 | Q. 13.99 | Q. 39,732.73 | Q. 805.53 | Q. 80,553 |
| Portuaria 15 | 30 dac | 149.55 | 15.86 | 317.15 | Q. 41,229.41 | 38.40 | Q. 537.05 | Q. 13.99 | Q. 41,215.42 | Q. 2,288.22 | Q. 228,822 |
| Portuaria 15 | 40 dac | 148.63 | 15.76 | 315.20 | Q. 40,976.00 | 38.40 | Q. 537.05 | Q. 13.99 | Q. 40,962.01 | Q. 2,034.81 | Q. 203,481 |

Fuente: elaboración propia, 2017.

*Precio qq/azúcar Q. 130.00, U.S. \$. 17.10 (tasa de cambio Q. 7.60)

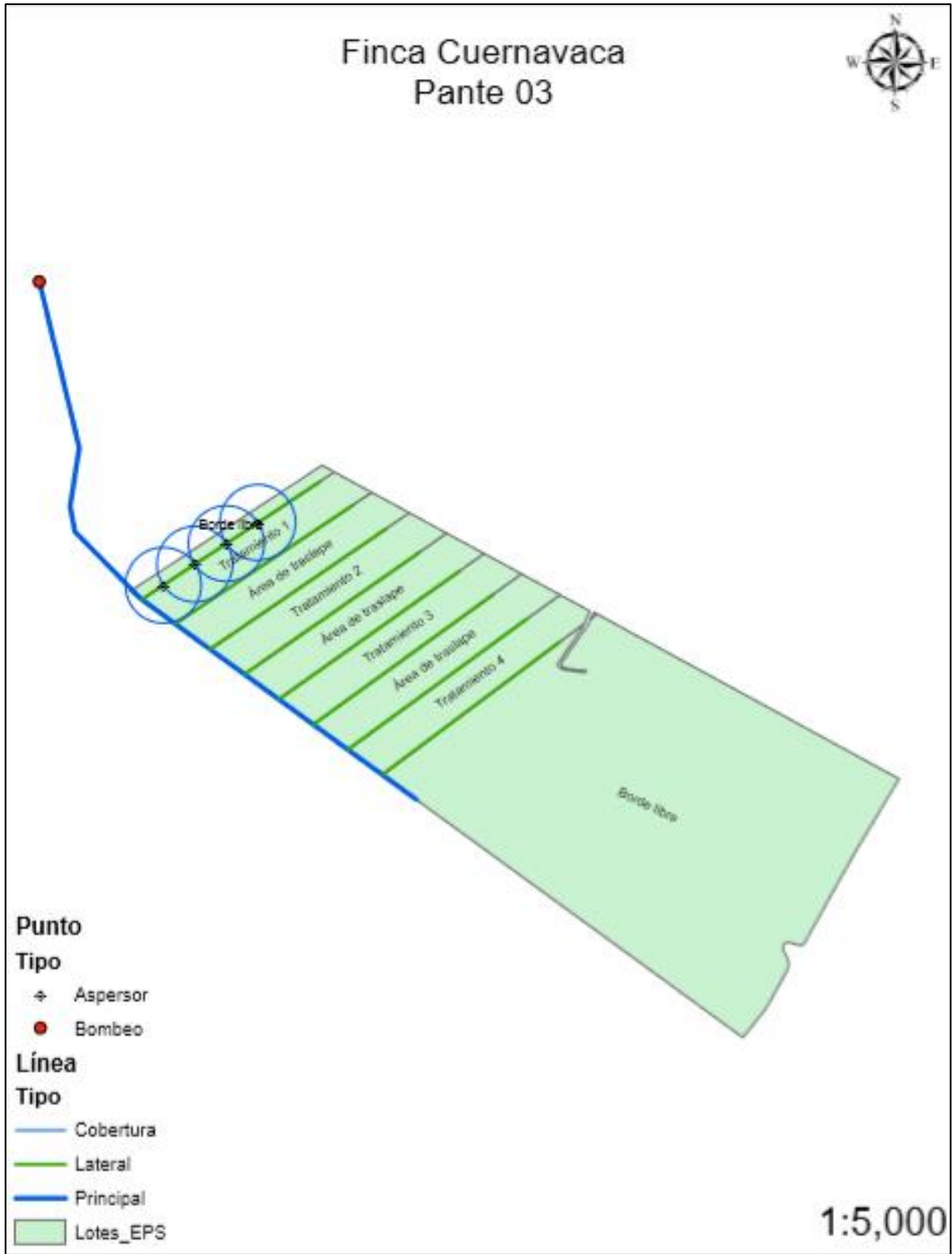
**Lb de cuadro 12

***Utilidad parcial con riego – utilidad parcial sin riego



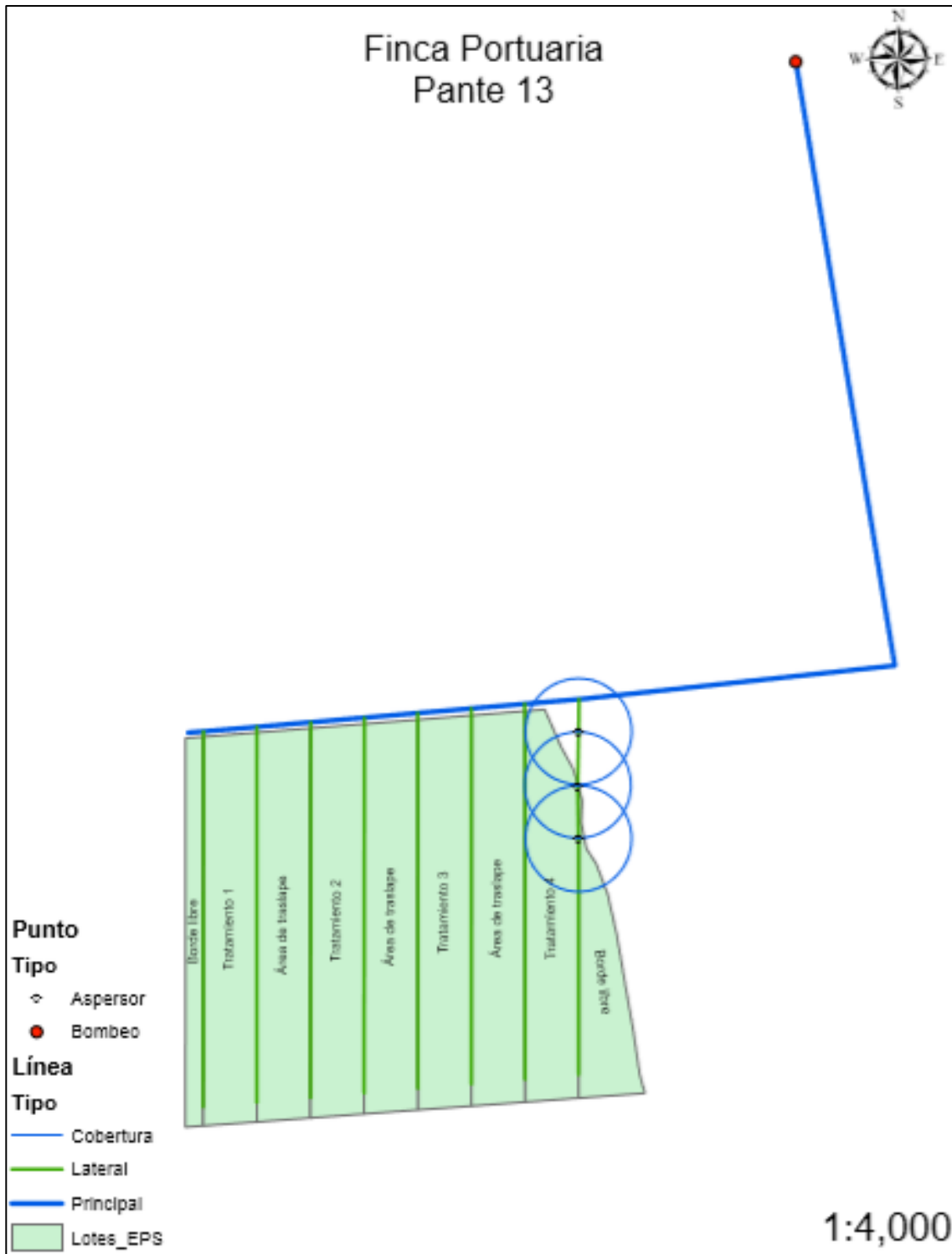
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 18A. Diseño básico de sistema de riego y distribución de tratamientos implementado en primera localidad.



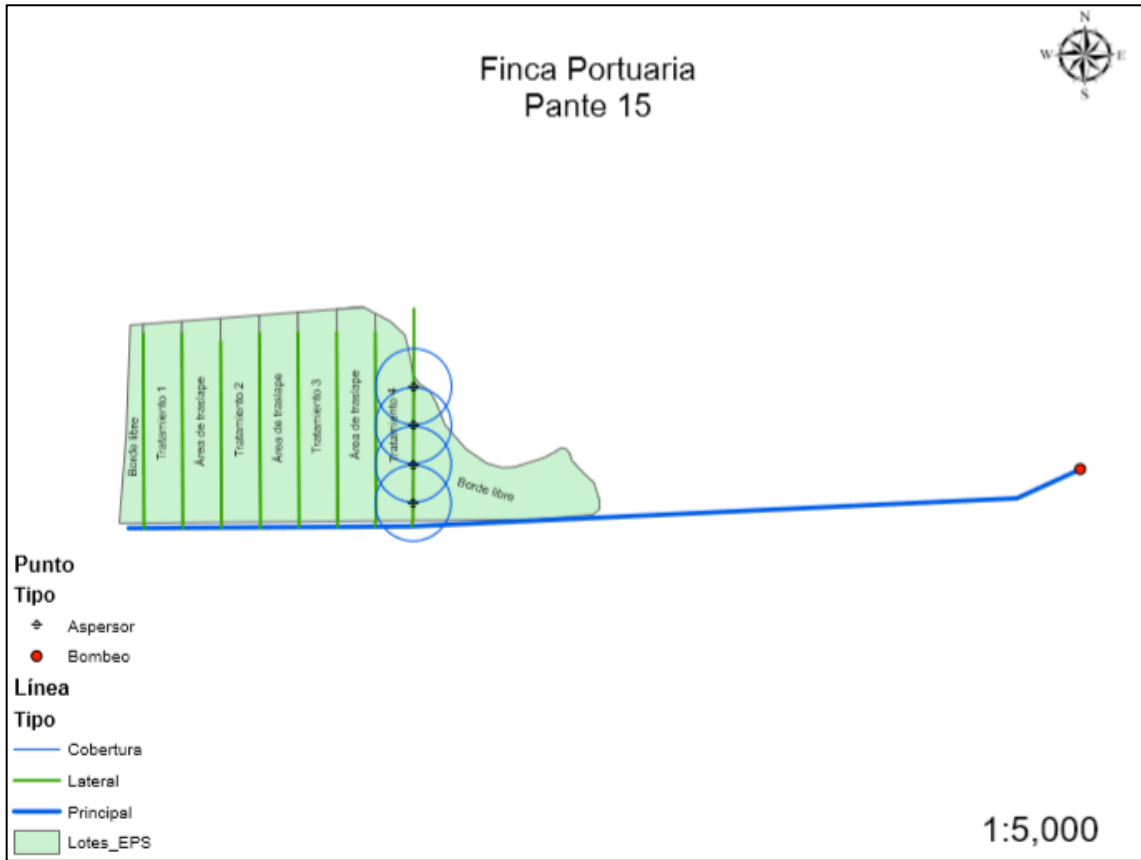
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 19A. Diseño básico de sistema de riego y distribución de tratamientos implementado en segunda localidad.



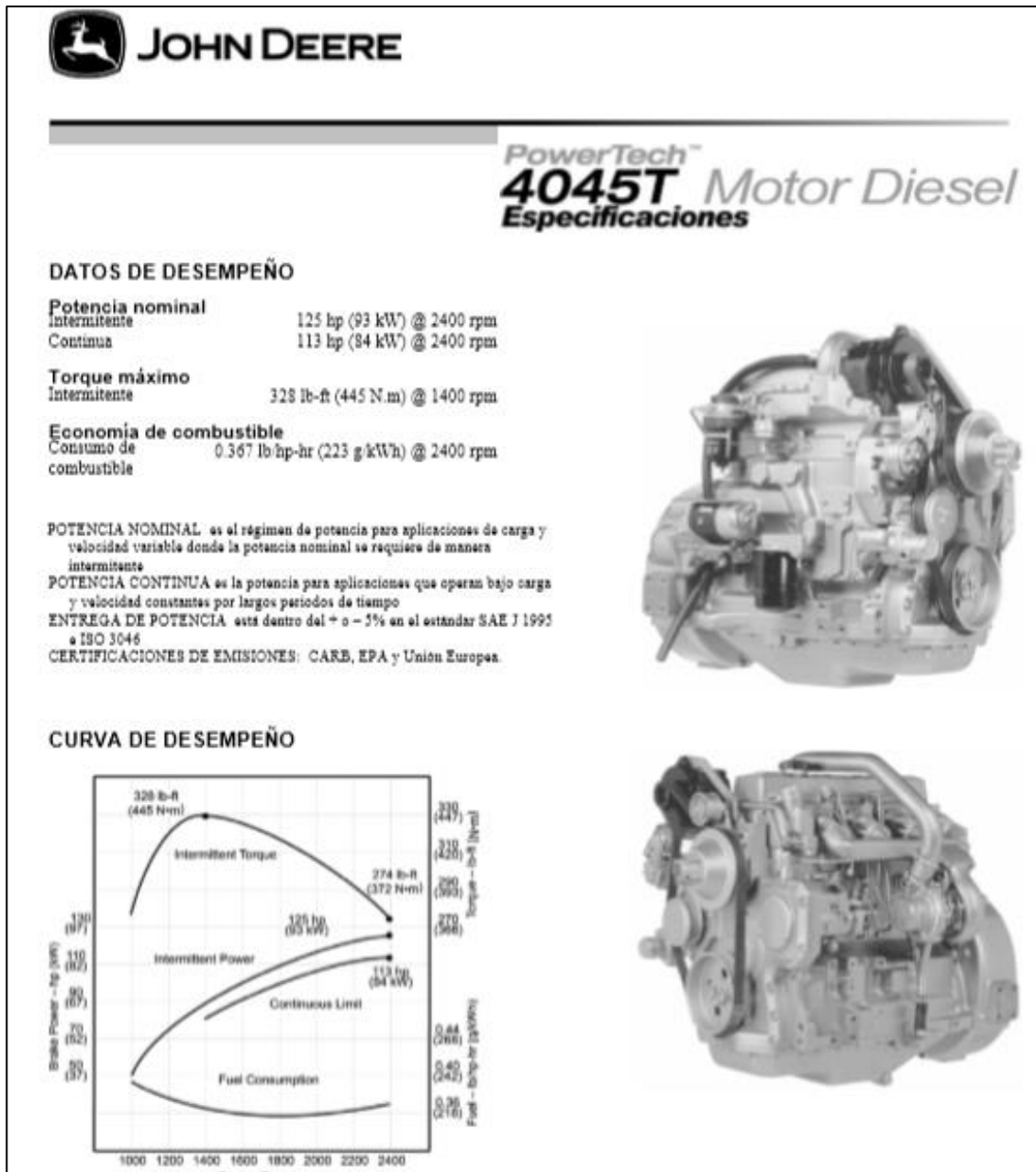
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 20A. Diseño básico de sistema de riego y distribución de tratamientos implementado en tercer localidad.




Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 21A. Diseño básico de sistema de riego y distribución de tratamientos implementado en cuarta localidad.



Fuente: Grupo Corporativo Santa Ana, 2017.

Figura 22A. Ficha técnica motor John Deere 4045T.



CORNELL


PRODUCT DATA SHEET

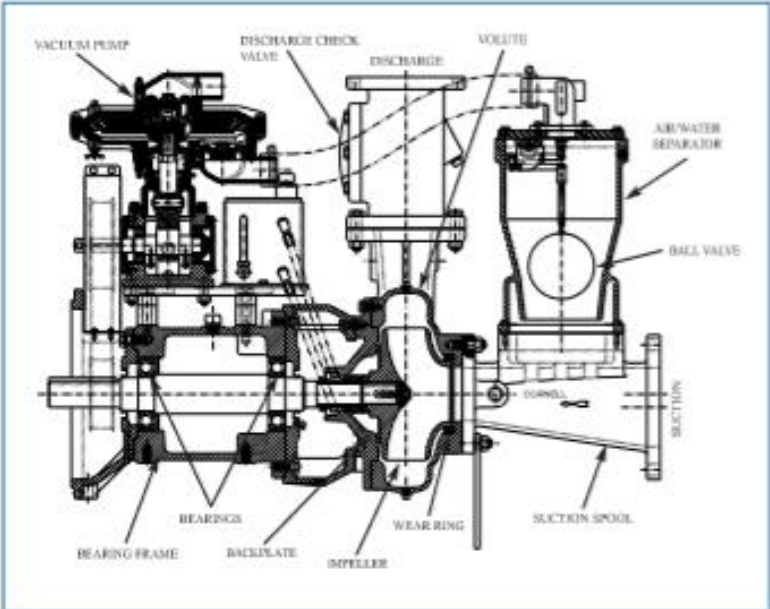
CORNELL PUMP COMPANY

Model 4HH-EM Redi-Prime®

PUMP SPECIFICATIONS

- **Size:** 4HH - 4" discharge x 6" suction with 125# cast iron flanges.
- **Casing:** Cast iron.
- **Impeller:** Enclosed - 6 vane. Handles .62" diameter solids.
- **Wear Rings:** Replaceable. (Double wear rings available).
- **Seal:** Cornell's patented Cycloseal® design with Run-Dry oil lubrication system. John Crane T-2 single mechanical seal with Viton® elastomers, stainless steel hardware and tungsten- vs. silicon-carbide seal faces for abrasion resistance.
- **Check Valve:** SwingFlex® Val-Matic®.
- **Shaft Sleeve:** Heat treated 416 stainless steel.
- **Bearings:** Heavy duty, grease lubricated, deep groove ball bearings, with a minimum of 50,000 hours bearing life.
- **Hardware:** Stainless steel float linkage. A positive seating vacuum priming valve prevents water carry-over to the vacuum, pump or atmosphere.
- **Vacuum Pump** - 50 SCFM Maximum.






VACUUM PUMP DISCHARGE CHECK VALVE DISCHARGE VOLUTE AIR/WATER SEPARATOR
 BEARINGS BEARING FRAME BACKPLATE IMPELLER WEAR RING SUCTION SPOOL BALL VALVE SUCTION


Fuente: Grupo Corporativo Santa Ana, 2017.

Figura 23A. Ficha técnica bomba cornell 4HH.



EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Departamento de Ingeniería Agrícola
Ingenio Santa Ana



DATOS GENERALES

Fecha: _____ Región: _____ Finca: _____
 Area (Ha): _____ Lote: _____ Código de Finca: _____
 Fecha de corte ó siembra: _____ Variedad: _____
 Dirección de surcos: _____ Código de motor: _____

DATOS DE CAMPO

| DATOS DE ASPERSIÓN | DATOS DE BOMBA |
|---|--|
| Fecha del último riego: _____ | Numero de recipientes: _____ |
| Marco de riego: _____ | DATOS DE BOMBA |
| Distancia entre aspersores (m): _____ | RPM: _____ |
| Distancia entre laterales (m): _____ | Presión de Salida (PSI): _____ |
| Aspersor: _____ | Horometro Inicial: _____ |
| Altura de Aspersor (m): _____ | Horometro Final: _____ |
| Diametro de boquilla (mm): _____ | CAUDALIMETRO |
| Diametro de pluviometro (cm): _____ | Caudal acumulado inicial: _____ |
| PRESIÓN DE ASPERSORES | Caudal acumulado final: _____ |
| Presión inicial aspersor 1 (PSI): _____ | GPM Inicial: _____ |
| Presión inicial aspersor 2 (PSI): _____ | GPM Final: _____ |
| Presión final aspersor 1 (PSI): _____ | TUBERIAS (Diametro en Pulgadas) |
| Presión final aspersor 2 (PSI): _____ | Diametro tubería / Conducción: _____ |
| RIEGO | No. Tubería / Conducción: _____ |
| Hora inicial: _____ | Diametro tubería / Principal: _____ |
| Hora Final: _____ | No. Tubería / Principal: _____ |
| Tiempo de riego (hrs): _____ | Diametro tubería / Lateral: _____ |
| | No. Tubería / Lateral: _____ |

DATOS METEOROLÓGICOS

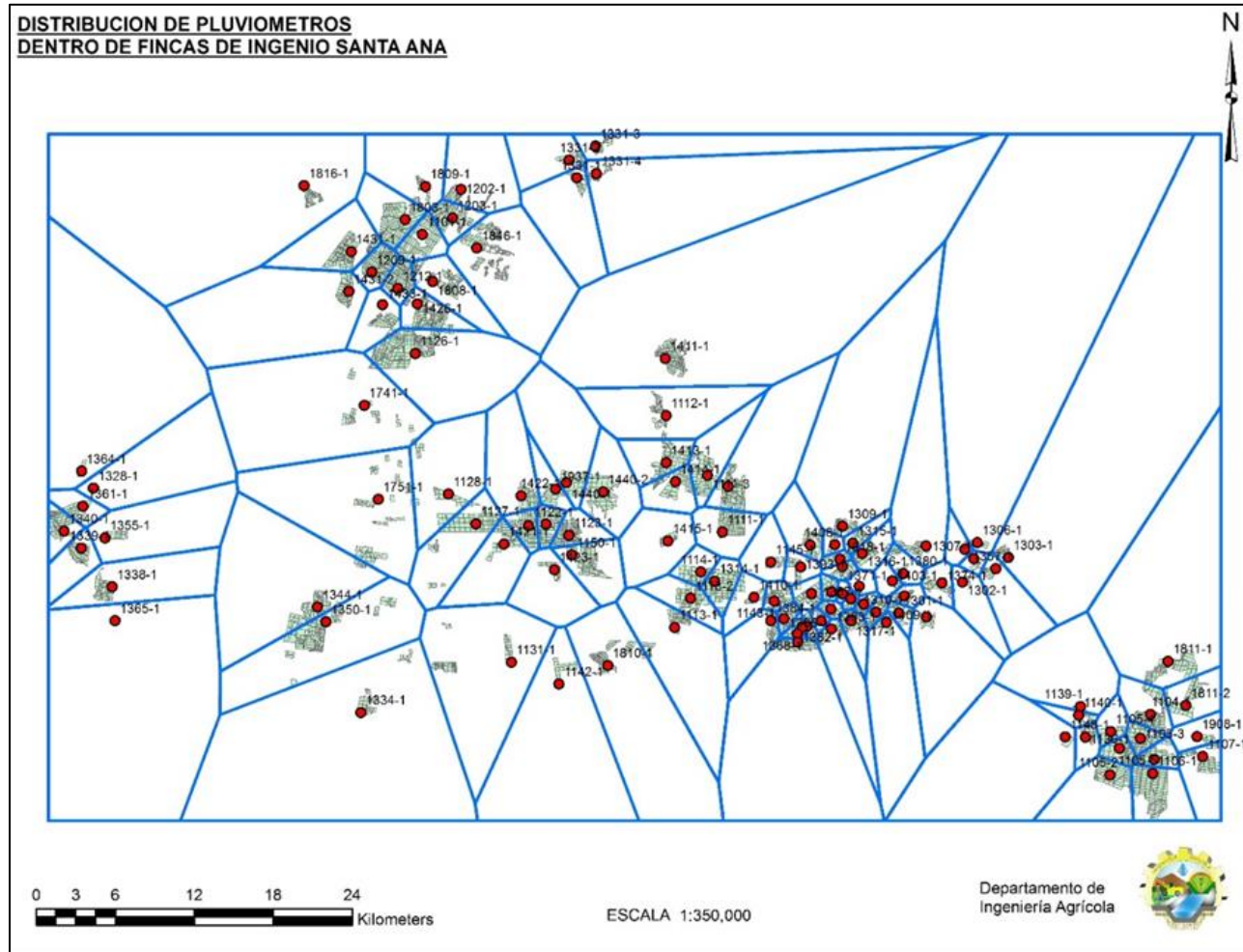
| Tiempo (min) | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Vel. Viento (Km/hora): | | | | | | | | |
| Dirección: | | | | | | | | |

PLUVIOMETRÍA

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Fuente: Grupo Corporativo Santa Ana, 2017.

Figura 24A. Hoja de registro electrónica para evaluación de riego.



Fuente: Grupo Corporativo Santa Ana, 2017.

Figura 25A. Red de pluviómetros en Grupo Corporativo Santa Ana.



3 CAPÍTULO III

**SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA,
GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA S.A., ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

3.1 PRESENTACIÓN

En el presente documento se encuentra la descripción de los servicios realizados en el Grupo Corporativo Santa Ana.

Los servicios prestados hacia la empresa corresponden específicamente a los desarrollados en el Departamento de Ingeniería Agrícola, mismos que se enfocaron en el área de riegos, y en el área de topografía.

El área de riegos tiene a su cargo velar por el mantenimiento de los equipos de riego, así como de las planificaciones y diseños de los diferentes sistemas de los que se dispone en la empresa. Por su parte, el área de topografía se encarga de las actividades relacionadas con las mediciones altimétricas y planimetrías para la realización de trabajos que requieran información detallada y con alta precisión.

A raíz de las actividades que tiene a su cargo el “Departamento de Ingeniería Agrícola”, en este informe se presentan dos servicios, los cuales son 1) Monitoreo de la humedad del suelo con base el programa “CENGIRIEGOS”, desarrollado por CENGICAÑA, y 2) Diseño y establecimiento de una red geodésica. Mismos que han tenido por objetivo en común el facilitar y ayudar a mejorar el desarrollo de las actividades para maximizar su eficiencia dentro de la empresa.

3.2 ÁREA DE INFLUENCIA

El desarrollo de los servicios prestados fue llevado a cabo en las instalaciones del Grupo Corporativo Santa Ana, ubicado en el kilómetro 64.5, carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla. Específicamente para el Departamento de Ingeniería Agrícola.

Las principales áreas en las que se enfocaron las actividades del Departamento de Ingeniería Agrícola fueron el área de riego y el área de topografía. Ambas áreas son cubiertas por el departamento y a nivel general dentro de la empresa, por lo que el área de influencia para los servicios realizados corresponde a toda el área administrativa de la empresa (25,002.86 ha).

3.3 OBJETIVO GENERAL

Apoyar al “Departamento de Ingeniería Agrícola” para facilitar y mejorar el desarrollo de las actividades que a este le competen.

3.4 SERVICIO PRESTADOS

3.4.1 Monitoreo de la humedad en el suelo con base en el programa CENGIRIEGOS

3.4.1.1 Definición del problema

El monitoreo en el comportamiento de la humedad en el suelo puede complicarse cuando el área objetivo (a trabajar) es demasiado grande como para darle un seguimiento con métodos tradicionales o mecánicos que permiten obtener los datos referentes a la humedad, como lo son las sondas de humedad. Las cuales hay que llevarlas al campo cada vez que se requiere realizar una medición.

Lo complicado de este tradicional método es que no se tiene la cantidad de equipos necesarios para realizar estas mediciones en cada uno de los lotes de los que dispone en la empresa, por lo que se ven obligados a estar trasladando los pocos equipos con los que se cuenta hacia el área donde se debe realizar la medición.

Esto representa una actividad laboriosa y de larga duración cuando se quiere conocer el estado del suelo (en cuanto a humedad se refiere) en un grupo determinado de lotes.

Es por ello, que haciendo uso del programa CENGIRIEGOS, presentado por el Centro de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar – CENGICAÑA, se pretende facilitar esta tarea, ya que este programa tiene la capacidad de brindar la información en un tiempo muy corto, con lo que se pueden generar alternativas de manejo adecuadas a la situación por la que esté pasando el cultivo en un momento determinado, y sin la necesidad de estar yendo al campo cada vez que la información se requiera.

3.4.1.2 Objetivos específicos

1. Registrar los lotes productivos pertenecientes al Grupo Corporativo Santa Ana en la plataforma del programa CENGIRIEGOS.
2. Monitorear y reportar el estado de humedad en los suelos productivos pertenecientes al Grupo Corporativo Santa Ana.
3. Facilitar la toma de decisiones respecto a la planificación en los eventos de riego.

3.4.1.3 Metodología

El monitoreo de la humedad del suelo con base en el programa CENGIRIEGOS consistió en alimentar la base de datos del mismo, con la información que este requiere para así poder generar resultados fiables y actualizados.

Los pasos para el registro y monitoreo de suelos se presentan a continuación:

A. Registro de lotes de interés

De acuerdo a la información que requirió el programa, así fue proporcionada teniendo el cuidado de ingresarla correctamente (figura 26).

| Estatos | | Textura | %CC | %PMP | D.A.P. (gr/cc) | LAA (mm) | B |
|---------|----|----------------|-----------|-----------|----------------|----------|---|
| De | A | | | | | | |
| 0 | 20 | Franco Arenoso | 41.550000 | 22.560000 | 0.890000 | 33.80 | B |
| 20 | 40 | Franco Arenoso | 40.420000 | 24.560000 | 0.800000 | 25.38 | B |
| 40 | 60 | Franco Arenoso | 33.270000 | 19.860000 | 0.890000 | 23.87 | B |

Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 26. Registro de lotes en programa CENGIRIEGOS.

B. Constante actualización de datos de lluvias y riego

Se alimentó el programa con los datos de las precipitaciones diarias y las láminas de riego aplicadas para poder tener un registro actualizado y por ende un resultado más cercano a la realidad.

Una vez actualizados los datos, en el programa se generó una gráfica (figura 27) de distribución o comportamiento de la humedad en el suelo de interés, con lo cual el programa

presentó la situación en la que se encontraba el suelo debido al manejo que se le dio. De igual forma se presentó una gráfica (figura 27) en la cual se indicó cómo debió de estar comportándose la humedad si el manejo hubiese sido el adecuado.

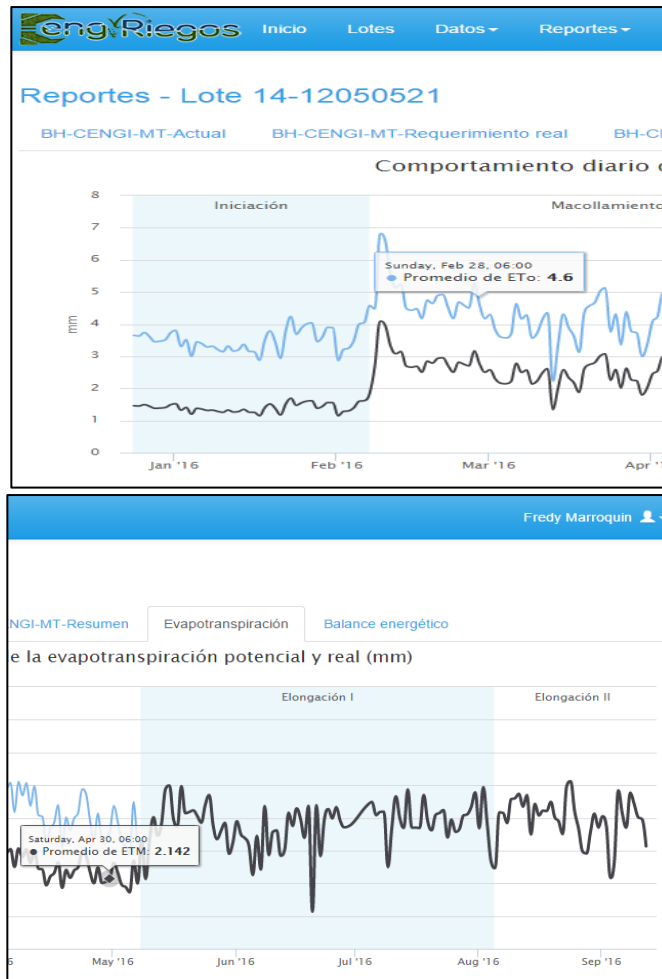


Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 27. Comparación entre el estado de humedad del suelo entre el manejo dado y el recomendado.

C. Analizar la evapotranspiración que está generando el cultivo

Una vez generados los resultados de humedad fue necesario generar una gráfica que proporcionó la información sobre cómo se está dando la evapotranspiración del cultivo (figura 28).



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 28. Resumen de la evapotranspiración generada en el cultivo.

La gráfica anterior junto con la del comportamiento de la humedad en el suelo, permitió tomar decisiones para establecer la fecha de un evento de riego a futuro, como también la lámina que se necesitó reponer.

D. Generación de informes

En este último paso se generó un informe (diario, semanal o mensual) que permitió conocer cómo se manejó el cultivo en cuanto a requerimiento hídrico se refiere (figura 29).

| engRiegos Inicio Lotes Datos Reportes | | | | | | | Fredy Marroquin |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|----------|-----------------|
| Reportes - Lote 14-12050521 | | | | | | | |
| BH-CENGI-MT-Actual BH-CENGI-MT-Requerimiento real BH-CENGI-MT-Resumen Evapotranspiración Balance energético | | | | | | | |
| BH-CENGI-MT-Operación actual | | | | | | | |
| Etapa fenológica | LN/riego | LN Total | LB Total | Déficit (mm) | Frecuencia (días) | # Riegos | |
| Iniciación | 61.32 | 183.97 | 229.96 | -23.62 | 15 | 3 | |
| Macollamiento | 47.37 | 189.46 | 236.83 | -52.27 | 22.5 | 4 | |
| Total | 108.69 | 373.43 | 466.79 | -75.89 | 9.38 | 7 | |
| BH-CENGI-MT-Operación requerimiento real | | | | | | | |
| Etapa fenológica | LN/riego | LN Total | LB Total | Déficit (mm) | Frecuencia (días) | # Riegos | |
| Iniciación | 27.89 | 83.67 | 104.59 | 0.00 | 15 | 3 | |
| Macollamiento | 35.51 | 177.55 | 221.94 | 0.00 | 18 | 5 | |
| | | | | 0.00 | | | |
| | | | | 0.00 | | | |
| Total | 63.4 | 261.22 | 326.53 | 0.00 | 8.25 | 8 | |

Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 29. Resumen del manejo hídrico en el cultivo.

En este informe se pudo comparar el manejo que se le dio al cultivo en un momento determinado, y el manejo que de acuerdo a las características del cultivo y del suelo se debió dar

3.4.1.4 Material y equipo

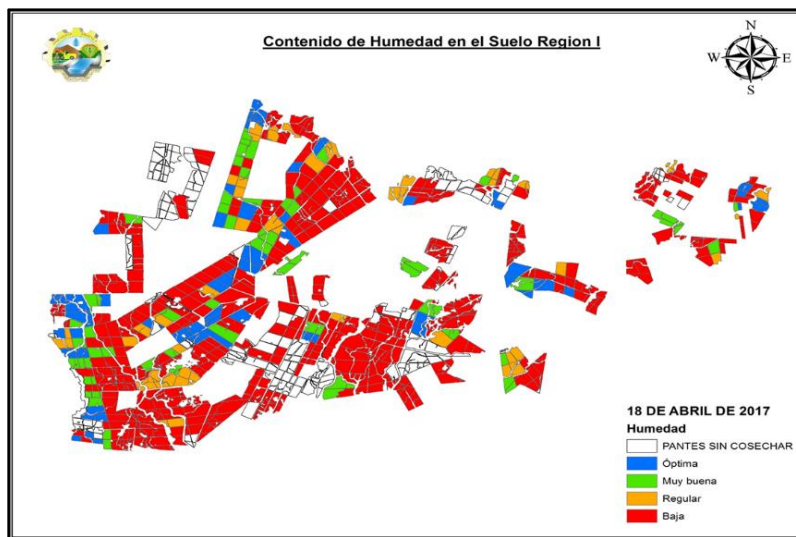
- Equipo de cómputo.
- Software CENGIRIEGOS (en línea).
- Base de datos de suelos.
- Base de datos de estaciones meteorológicas.
- Base de datos de riegos aplicados.
- Acceso a internet.

3.4.1.5 Evaluación

Siguiendo la metodología antes descrita, a finales del mes de octubre se realizó el registro de 2,846 lotes, los cuales conforman el 100 % de lo administrado por la empresa. Asimismo,

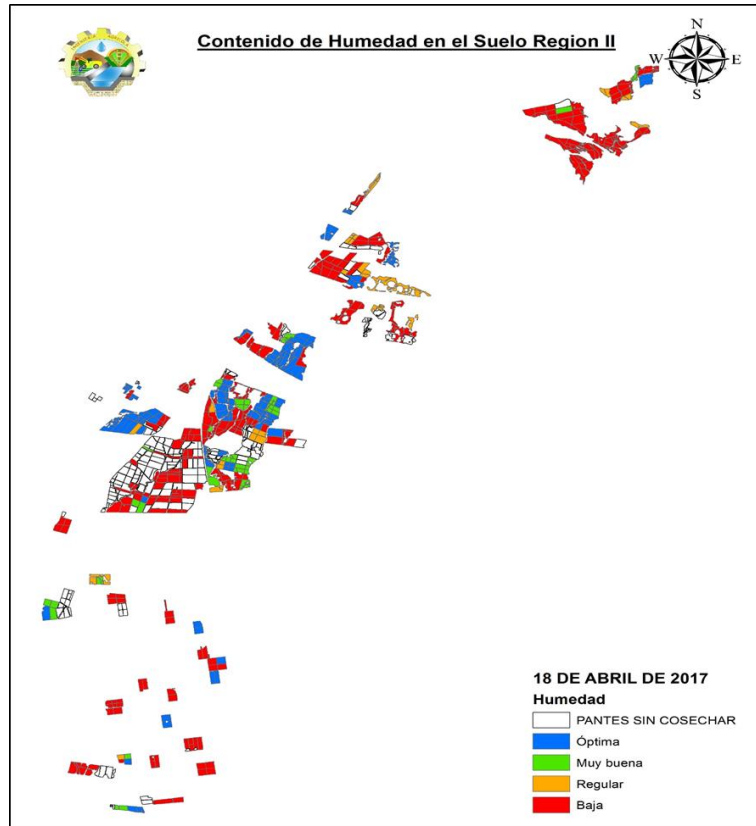
el registro de lluvias fue actualizado hasta la fecha 18/04/2017, misma en la que se presentó el último informe correspondiente (figuras 30 a 35).

El comportamiento presentado durante los meses de monitoreo (agosto 2016 – abril 2017) por parte del software CENGIRIEGOS fue aceptado por los administradores de las regiones productivas, debido a que se mantenía dentro de la clasificación real que se observaba en campo. Por lo tanto, el uso de este software se mantendrá para las siguientes épocas de monitoreo de humedad en los suelos.



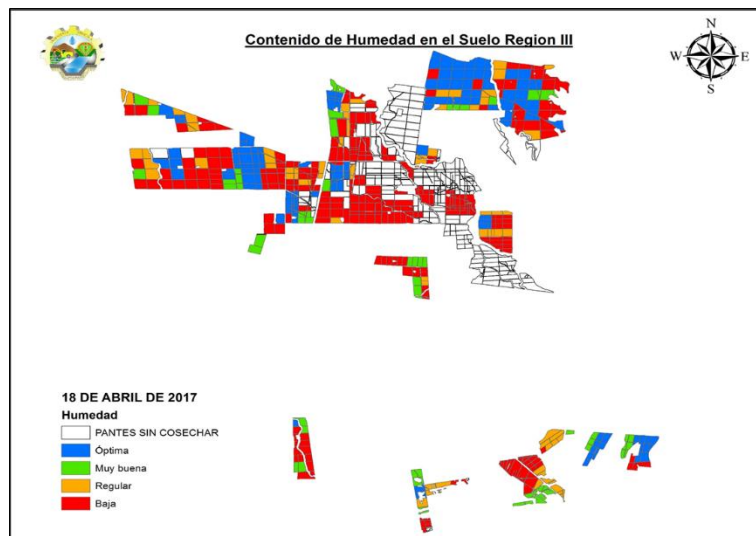
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 30. Contenido de humedad en suelo región 1.



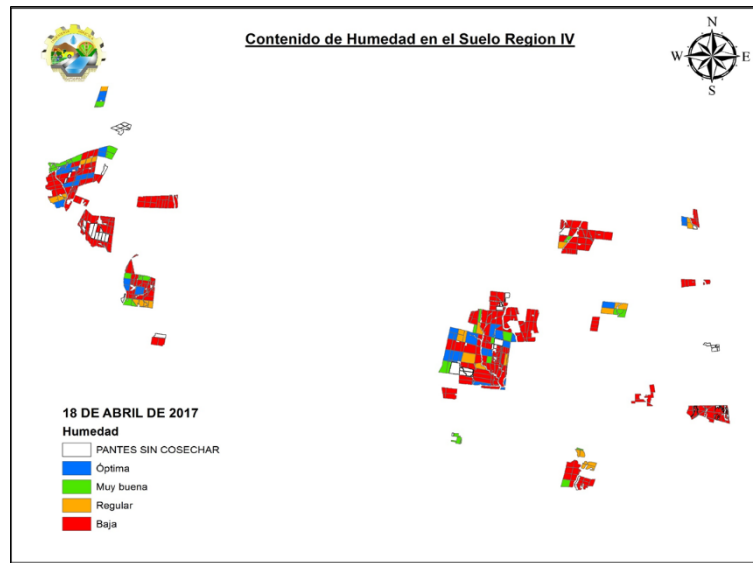
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 31. Contenido de humedad en suelo, región 2.



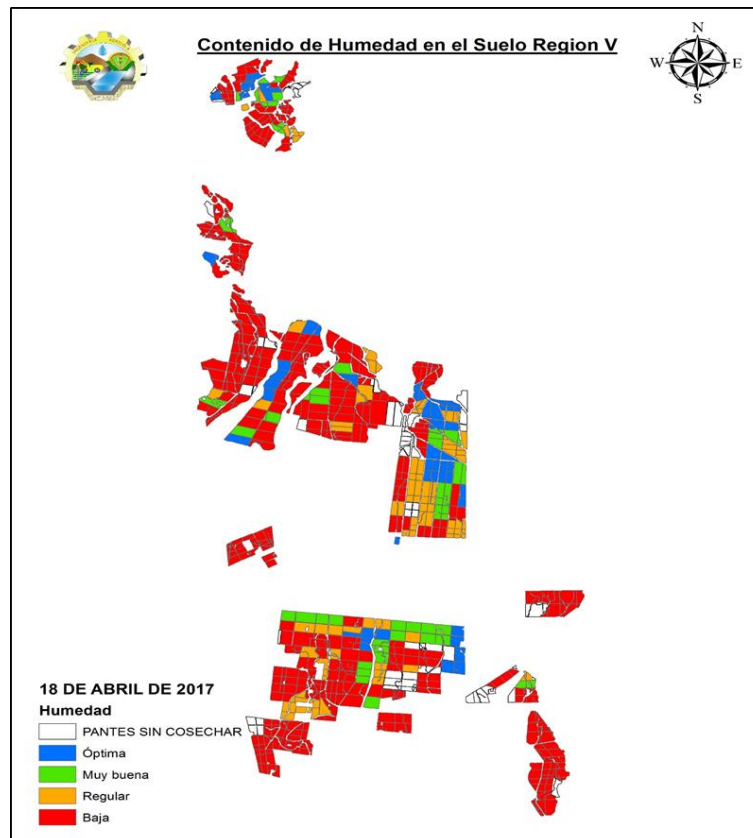
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 32. Contenido de humedad en suelo, región 3.



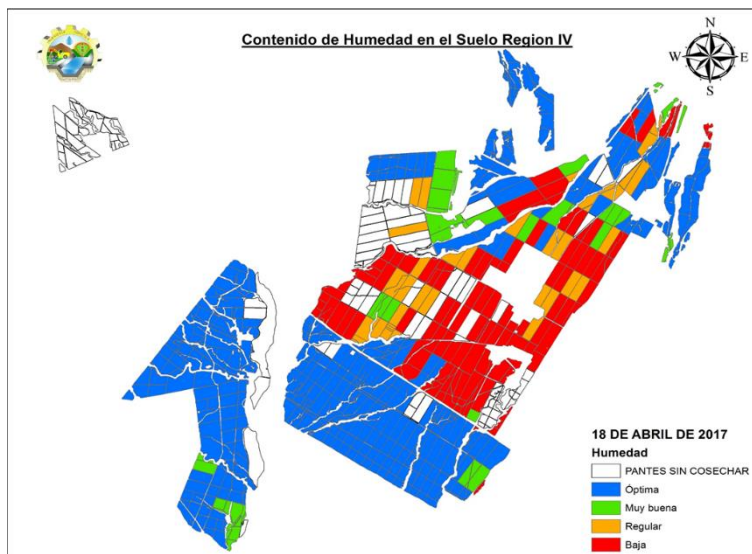
Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 33. Contenido de humedad en suelo, región 4.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 34. Contenido de humedad en suelo, región 5.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 35. Contenido de humedad en suelo, región 6.

Para el último reporte presentado se puede observar que el estado de humedad en los suelos que pertenecen a las regiones administrativas 1 a 5 se encontró clasificado como “bajo”. Esto se pudo asociar a la época seca en la que se realizó el monitoreo.

3.4.1.6 Constancias

El reporte de la condición de humedad en el suelo se reportó en forma de mapas de campo para ofrecer una inspección rápida de los resultados obtenidos con el software CENGIRIEGOS. Así también, se presentó el detalle de cada lote en cuadros donde se indicó la lámina de agua requerida por el cultivo (L_n), la lámina de agua que se debía aplicar (L_b), el porcentaje de humedad en el suelo y la condición de humedad. La constancia de estos detalles se presenta en el cuadro 44.

Cuadro 44. Detalle de la condición de humedad en campo reportada por software CENGIRIEGOS.

| | Código de finca a que pertenece lote | Nombre de Finca | Código de pante | mm de agua requeridos | mm de agua a regar | Porcentaje de humedad en el suelo | Descripción humedad |
|--------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|
| REGION | CODFINCA | NOMFINCA | PANTE | Ln | Lb | % | HUMEDAD |
| 1 | 1306 | MANIADERO II | 1 | 35.96 | 44.95 | -67% | Baja |
| 1 | 1306 | MANIADERO II | 2 | 39.75 | 49.68 | -67% | Baja |
| 1 | 1306 | MANIADERO II | 3 | 45.14 | 56.43 | -67% | Baja |
| 1 | 1309 | LOS PORTALES | 1 | 49.87 | 66.49 | -67% | Baja |
| 1 | 1309 | LOS PORTALES | 2 | 48.59 | 64.79 | -67% | Baja |
| 1 | 1309 | LOS PORTALES | 3 | 47.57 | 63.42 | -67% | Baja |
| 1 | 1309 | LOS PORTALES | 4 | 17.27 | 23.03 | 37% | Muy buena |
| 1 | 1309 | LOS PORTALES | 5 | 45.39 | 60.52 | -67% | Baja |
| 1 | 1309 | LOS PORTALES | 6 | 43.74 | 58.32 | -67% | Baja |
| 1 | 1309 | LOS PORTALES | 7 | 45.22 | 60.29 | -67% | Baja |
| 1 | 1315 | LA COLINA | 18 | 3.02 | 4.03 | 89% | Óptima |
| 1 | 1315 | LA COLINA | 23 | 43.95 | 58.6 | -67% | Baja |
| 1 | 1315 | LA COLINA | 26 | 34.54 | 46.05 | 48% | Muy buena |
| 1 | 1317 | VALDE PEÑA | 7 | 5.16 | 6.88 | 81% | Óptima |
| 1 | 1318 | LA GIGANTA | 1 | 6.25 | 8.33 | 71% | Óptima |
| 1 | 1318 | LA GIGANTA | 2 | 6.24 | 8.33 | 69% | Óptima |
| 1 | 1318 | LA GIGANTA | 14 | 34.54 | 46.05 | 45% | Muy buena |
| 1 | 1318 | LA GIGANTA | 15 | 34.54 | 46.05 | 45% | Muy buena |
| 1 | 1318 | LA GIGANTA | 17 | 34.54 | 46.05 | 40% | Muy buena |
| 1 | 1319 | CANARIAS | 14 | 57.73 | 76.97 | -67% | Baja |
| 1 | 1319 | CANARIAS | 15 | 66.03 | 88.03 | -67% | Baja |

Fuente: elaboración propia, 2017.

3.4.2 Diseño y establecimiento de la red geodésica para el Grupo Corporativo Santa Ana

3.4.2.1 Definición del problema

Las redes geodésicas consisten básicamente en una serie de puntos distribuidos por toda la superficie de un país, un departamento, un municipio, o un área específica formando una malla de triángulos de los cuales se conocen sus coordenadas con mucha precisión, a dichas coordenadas se les denominan vértices geodésicos (Divas, 2012). En estas redes se basan una gran cantidad de estudios y trabajos, algunos de ellos son los levantamientos topográficos, cartográficos, geodésicos, entre otros.

Disponer de una red de puntos geodésicos es de gran importancia en la agroindustria azucarera, ya que debido a las grandes dimensiones de las áreas que se administran es necesaria la constante actualización en las mediciones de las mismas. Que, a su vez, deben ser datos precisos y confiables.

Dentro de las 25,002.89 ha administradas por la empresa, esta extensión no cuenta con una red geodésica definida que sea aprovechable para las labores que se engloban en el campo de la geodesia.

Los puntos geodésicos existentes instalados son muy pocos (13) y no cubren la totalidad del área administrada. Es por esto, que se tomó la decisión de diseñar y establecer una red geodésica que cubra en su totalidad el área administrada por el Grupo Corporativo Santa Ana, de forma tal que sea aprovechable en las labores que requieran puntos de referencia geodésica de gran precisión.

3.4.2.2 Objetivos específicos

1. Establecer los parámetros necesarios para el diseño de la red geodésica con base al uso de un equipo con sistema global de navegación satelital (GNSS).
2. Establecer una red geodésica cuya cobertura sea el 100 % del área administrada por la empresa.

3.4.2.3 Metodología

A. Parámetros de diseño de la red geodésica

La información que se decidió registrar por cada banco de marca fueron latitud, longitud y altitud. Con lo que la red diseñada fue de tipo tridimensional (Cabrera & Morales, 2012).

Los parámetros considerados se basaron en las especificaciones de precisión del equipo GNSS utilizado, el cual corresponde al modelo R4 de la marca Trimble. Este equipo ofrece una precisión de 2.50 cm con una corrección en tiempo real (RTK).

Con la característica antes descrita, la red geodésica se clasificó con una categoría B de acuerdo con lo establecido por Cabrera & Morales (2012), donde se establece que cuando la precisión en los datos de los puntos permite un error entre 1 cm a 10 cm.

La distancia entre cada posición de referencia se diseñó con un radio no mayor a 5 km. Esto debido a la curvatura natural del planeta, lo cual afecta en las lecturas altimétricas.

Con base en lo anterior, la red se clasificó como de cuarto orden, ya que no sobrepasa los 5 km de distancia establecidos por Cabrera & Morales (2012).

El material definido para la estructura de cada banco de marca fue el concreto, ya que ofrece una resistencia alta a la degradación por las condiciones ambientales.

La decisión más importante que se tomó fue la de enlazar cada banco de marca entre sí para garantizar el encaje preciso en las lecturas de coordenadas que se puedan realizar a futuro, sin importar el equipo que se utilice.

B. Establecimiento de la red geodésica

La instalación de los bancos de marca que conforman cada posición de referencia partió desde un punto principal, al cual se le denominó “master base” el cual sirvió de referencia inicial para la instalación de los demás bancos de marca. Es decir, todos los bancos de marca se instalaron haciendo el enlace hacia el master base, con lo cual quedaron enlazados unos con otros a un radio de distancia no mayor a 5 km.

El master base o punto inicial se referenció con el equipo R4 por un tiempo total de 24 horas, mientras que los demás bancos de marca tuvieron un tiempo de referencia de 6 horas.

a. Selección del lugar para instalación

La ubicación para instalación de los “master base” se definió con base en la seguridad del lugar, puesto que se necesitó dejar el equipo en funcionamiento durante 24 h. Por lo cual los lugares seleccionados fueron los cascos de las principales fincas que existen por cada región administrativa.

Los bancos de marca secundarios o dependientes se ubicaron en lugares donde se tuvieron las siguientes características:

- Campo de visión en un ángulo mínimo de 30° sobre el plano horizontal.
- Poca presencia de barreras físicas.
- Espacios protegidos contra paso de maquinaria pesada.
- Lugares de fácil identificación (canales de drenaje, puentes, pozos, helipuertos, etc.).

b. Procesamiento de la información

Esta actividad consistió en procesar los datos obtenidos por la lectura del equipo topográfico R4. Esto con el uso del software para manejo de información geográfica ArcMap, con el que se obtuvieron las coordenadas de latitud, longitud y altitud.

c. Identificación de bancos de marca

Cada banco de marca o master base instalado fue identificado con la siguiente modalidad:

BM.X.R.Y ó MB.X.R.Y

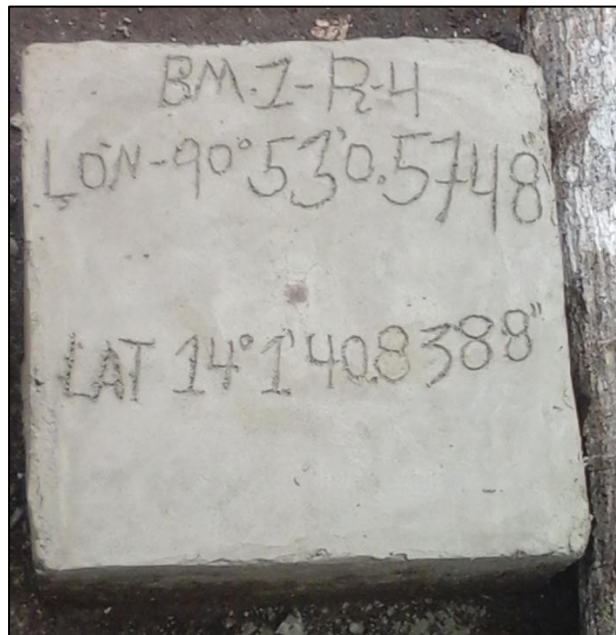
MB = Master base

BM = Banco de marca

X = Número correlativo de instalación (1, 2, 3, ...)

Y = Número de región administrativa donde se encuentra el punto (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

Las coordenadas correspondientes a cada punto se dejaron grabadas seguido de la identificación del mismo, tal como se observa en la figura 36.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 36. Identificación de punto de referencia.

3.4.2.4 Material y equipo

- Equipo topográfico R4.
- Software de sistemas de información geográfica.
- Mapa completo del área administrada por la empresa.
- Equipo de cómputo.
- Concreto (cemento, arena, hierro, y agua).
- Automóvil.

3.4.2.5 Evaluación

La instalación del primer “master base” se dio en el casco de finca La Giralda, la cual pertenece a la región administrativa número 4, misma que se encuentra ubicada en el municipio de San José, Escuintla. A esta región se le asignaron 9 posiciones de referencia,

lo que equivale a 17 bancos de marca y 1 master base, con lo cual queda cubierta el área perteneciente a dicha región.

La 2ª región en donde se instalaron bancos de marca corresponde a la número 1, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Taxisco, Santa Rosa. Al cual se le asignaron 10 posiciones de referencia, lo cual equivale a 19 bancos de marca y 1 master base ubicado en el casco de la finca La Giganta.

La 3ª región abordada para la instalación de bancos de marca fue la número 5, la cual está ubicada entre los municipios de Guanagazapa, Escuintla, y Taxisco, Santa Rosa. A dicha región se le asignaron un total de 8 posiciones de referencia, lo cual equivale a 15 bancos de marca, y 1 master base ubicado en el casco de la finca California.

La 4ª región abordada fue la número 7, ubicada en el municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa. A la cual se le instalaron un total de 11 bancos de marca, y un master base ubicado en el casco de finca Nueve Cerros.

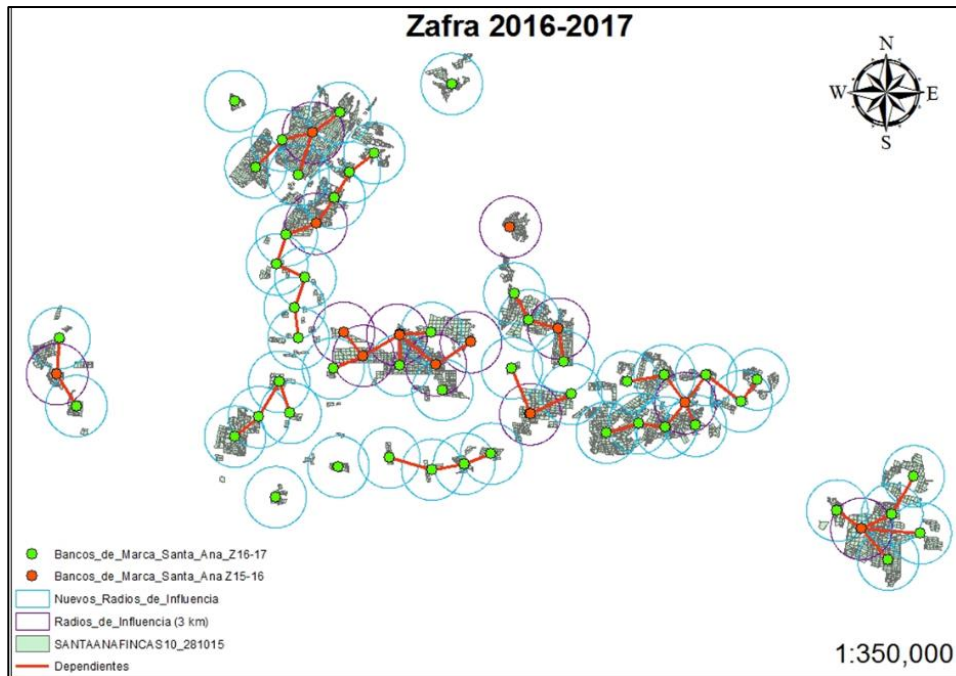
La 5ª región trabajada corresponde a la número 3, la cual se ubica entre los municipios de Masagua y San José, Escuintla. A la que se le instalaron un total de 9 posiciones de referencia, lo que corresponde a 17 bancos de marca, y un master base ubicado en el casco de finca Bolivia.

La 6ª región trabajada fue la número 2, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Masagua, Escuintla. A esta región se le asignaron un total de 10 posiciones de referencia, lo cual equivale a 19 bancos de marca, y un master base ubicado en casco de finca La Niña.

La última región trabajada fue la número 6, la cual se ubica en el municipio de Escuintla, Escuintla. A la cual se le asignaron 6 posiciones de referencia, lo cual equivale a 11 bancos de marca, y un master base ubicado sobre la pista de aterrizaje de finca Provincias.

Es necesario mencionar que el orden trabajado se debió a dos factores, los cuales fueron: a) época de corte (tercio), y b) distancia de las regiones hacia las instalaciones centrales productivas de la empresa.

Las posiciones de referencia se muestran en la figura 37.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 37. Red geodésica desarrollada en Grupo Corporativo Santa Ana, zafra 2016/2017.

En total se instalaron 7 master base, y 99 bancos de marca.

3.4.2.6 Constancias

El registro de todos los puntos referenciados se ordenó conforme a la región administrativa donde se instalaron. En este registro se colocó el detalle del punto instalado, tal como se muestra en el cuadro 45.

Cuadro 45. Bancos de marca ubicados región 1, Grupo Corporativo Santa Ana, zafra 2016/2017.

| BANCOS DE MARCA EN INGENIO SANTA ANA | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------|----------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|---------|----------|-------------|--------------|
| REGION | DEESCRIPCION | CLASIFICACION | ID | Altitud | Longitud | | | Latitud | | | Longitud | Latitud |
| | | | | Z | Grados | Minutos | Segundos | Grados | Minutos | Segundos | X_GTM | Y_GTM |
| 1 | Anexo Piedrecitas | Banco de Marca | BM_2 | 2.9530 | -90 | 30 | 58.98960 | 14 | 0 | 11.75400 | 498230.1460 | 1548397.2180 |
| 1 | Anexo Piedrecitas | Master Base | BM_1 | 2.9910 | -90 | 30 | 58.87080 | 14 | 0 | 12.11040 | 498233.6730 | 1548408.1770 |
| 1 | San Federico (campo) | Banco de Marca | BM.3.R1 | 0.3980 | -90 | 32 | 38.25568 | 13 | 59 | 37.79642 | 495253.2410 | 1547352.5330 |
| 1 | San Federico (campo) | Banco de Marca | BM.4.R1 | 0.2900 | -90 | 32 | 36.88500 | 13 | 59 | 37.44400 | 495292.7850 | 1547343.3380 |
| 1 | Canarias (casco) | Banco de Marca | BM.5.R1 | 0.4170 | -90 | 34 | 18.02510 | 13 | 59 | 50.71455 | 492257.4110 | 1547750.1550 |
| 1 | Canarias (casco) | Banco de Marca | BM.6.R1 | 0.3270 | -90 | 34 | 17.80951 | 13 | 59 | 50.54610 | 492263.8800 | 1547744.9780 |
| 1 | Palmillas-Veliz | Banco de Marca | BM.7.R1 | 0.1660 | -90 | 35 | 36.52445 | 13 | 59 | 9.38782 | 489901.1000 | 1546482.0970 |
| 1 | San Cristobal(L204) | Banco de Marca | BM.10.R1 | 6.2400 | -90 | 33 | 57.97400 | 14 | 1 | 58.37000 | 492860.9780 | 1551674.1280 |
| 1 | San Cristobal(L204) | Banco de Marca | BM.9.R1 | 6.2260 | -90 | 33 | 57.66100 | 14 | 1 | 58.26600 | 492870.3540 | 1551670.9320 |
| 1 | Los Portales(casco) | Banco de Marca | BM.11.R1 | 6.7100 | -90 | 32 | 43.02800 | 14 | 2 | 33.32600 | 495109.5060 | 1552747.6880 |
| 1 | Los Portales(casco) | Banco de Marca | BM.12.R1 | 6.7700 | -90 | 32 | 43.03700 | 14 | 2 | 33.90800 | 495109.2330 | 1552765.5870 |
| 1 | La Ceiba(L2) | Banco de Marca | BM.13.R1 | 4.0020 | -90 | 32 | 14.33400 | 14 | 1 | 40.34100 | 495970.0160 | 1551119.4790 |
| 1 | La Ceiba(L2) | Banco de Marca | BM.14.R1 | 3.8500 | -90 | 32 | 13.75600 | 14 | 1 | 41.02200 | 495987.3550 | 1551140.4070 |
| 1 | La Primavera(L13) | Banco de Marca | BM.15.R1 | 14.6710 | -90 | 28 | 55.36600 | 14 | 0 | 6.22200 | 501939.2420 | 1548227.2400 |
| 1 | La Primavera(L13) | Banco de Marca | BM.16.R1 | 14.5480 | -90 | 28 | 55.93800 | 14 | 0 | 6.61000 | 501922.0680 | 1548239.1390 |
| 1 | Monte Leon II (L1) | Banco de Marca | BM.17.R1 | 5.7540 | -90 | 29 | 38.55300 | 13 | 59 | 0.55700 | 500643.5380 | 1546209.4820 |
| 1 | Monte Leon II (L1) | Banco de Marca | BM.18.R1 | 5.8940 | -90 | 29 | 38.83700 | 13 | 59 | 0.49400 | 500634.9940 | 1546207.5520 |
| 1 | Maneadero(L3) | Banco de Marca | BM.19.R1 | 32.8920 | -90 | 26 | 39.91900 | 14 | 0 | 46.75100 | 506002.7730 | 1549473.1910 |
| 1 | Maneadero(L3) | Banco de Marca | BM.20.R1 | 33.2310 | -90 | 26 | 39.85200 | 14 | 0 | 47.45900 | 506004.7890 | 1549494.9560 |
| 1 | El Camalote(L1) | Banco de Marca | BM.21.R1 | 34.9250 | -90 | 27 | 22.95800 | 14 | 1 | 42.17900 | 504711.2140 | 1551176.0730 |
| 1 | El Camalote(L1) | Banco de Marca | BM.22.R1 | 34.8210 | -90 | 27 | 23.15200 | 14 | 1 | 42.06000 | 504705.4050 | 1551172.4160 |
| 1 | La Giganta(L14) | Banco de Marca | BM.23.R1 | 17.1870 | -90 | 29 | 47.17600 | 14 | 1 | 56.87600 | 500384.7160 | 1551627.2320 |
| 1 | La Giganta(L14) | Banco de Marca | BM.24.R1 | 17.9500 | -90 | 29 | 46.25100 | 14 | 1 | 56.63800 | 500412.4570 | 1551619.9290 |
| 1 | Los Alcaravanes(L1) | Banco de Marca | BM.25.R1 | 1.4800 | -90 | 34 | 27.95000 | 13 | 58 | 17.35500 | 491959.5800 | 1544883.2700 |
| 1 | Los Alcaravanes(L1) | Banco de Marca | BM.26.R1 | 2.3400 | -90 | 34 | 27.78000 | 13 | 58 | 17.60600 | 491964.6900 | 1544890.9900 |

Fuente: elaboración propia, 2017.

3.5 BIBLIOGRAFÍA

1. Cabrera, M., & Morales, H. (2012). Redes geodésicas. En *Verificación y densificación de la red de catastro de la provincia de Córdoba* (págs. 51 - 57). Córdoba, España: Universidad Nacional de Córdoba.
2. Divas, J. (2012). *Desarrollo de una metodología de evaluación de las redes de apoyo catastral georeferenciadas por medio de tecnología de medición satelital*. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.