

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**VALIDACIÓN DE LOS MOMENTOS DE DIFERENCIACIÓN DE LAS FASES
FENOLÓGICAS PARA LA VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*)
CP72-2086 PLANTÍA, DE TERCER TERCIO DE COSECHA PARA EL ESTRATO
ALTITUDINAL BAJO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS PARA EL GRUPO
CORPORATIVO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

WILSON MARCELO GONZÁLEZ ZULETA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**VALIDACIÓN DE LOS MOMENTOS DE DIFERENCIACIÓN DE LAS FASES
FENOLÓGICAS PARA LA VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*)
CP72-2086 PLANTÍA, DE TERCER TERCIO DE COSECHA PARA EL ESTRATO
ALTITUDINAL BAJO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS PARA EL GRUPO
CORPORATIVO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

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

POR

WILSON MARCELO GONZÁLEZ ZULETA

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO**

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

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

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

Guatemala, septiembre de 2019

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: **“VALIDACIÓN DE LOS MOMENTOS DE DIFERENCIACIÓN DE LAS FASES FENOLÓGICAS PARA LA VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) CP72-2086 PLANTÍA, DE TERCER TERCIO DE COSECHA PARA EL ESTRATO ALTITUDINAL BAJO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS PARA EL GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.”** como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

WILSON MARCELO GONZÁLEZ ZULETA

ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

Porque tu amor y bondad no tiene fin, me has permitido sonreír al poder cumplir todas las metas trazadas siendo esto resultado de tu ayuda, porque cada día es una experiencia más para poner a prueba la capacidad de cada persona haciéndome aprender de cada error y dándome cuenta que después de cada tropiezo me permites mejorar como ser humano. ¡La honra y gloria sea para él!

A MIS PADRES:

Floralma Zuleta de González

Por tu amor incondicional, por traerme al mundo y enseñarme el valor de la vida, gracias por todos tus consejos, ejemplos y regaños que me hacen hoy en día una persona de bien, por aquellas noches de desvelo en las que me has ayudado y aquellas madrugadas en las que siempre estas para atenderme, te amo mamá.

Cecilio González García

Por todo el sacrificio y esfuerzo que has realizado para que hoy me encuentre celebrando a tu lado este triunfo, gracias por enseñarme el valor del trabajo, la dedicación, esfuerzo, responsabilidad y todos esos valores que hoy me hacen ser la persona justa que soy, te amo papá.

¡Misión cumplida!

A MIS HERMANAS:

Melissa Flor de María y Cecilia Alexandra por brindarme su cariño, confianza y apoyo en todo momento que lo he requerido, porque ambas también han sido un ejemplo para mí.

A MIS ABUELOS: Marcelo González, Julia García, José Zuleta (+) y Felisa de León, gracias por todos aquellos ejemplos y consejos que me han dado en la vida, además de haberme regalado a los mejores padres.

A MIS TÍOS: A todos y cada uno de ellos por el apoyo, cariño y atención que siempre han tenido conmigo, en especial a Armando Batres y Marta Zuleta por haberme abierto las puertas de su casa en todo momento y regalarme una segunda familia.

A MI FAMILIA: A mis primos, en especial a Wilmar, Johana, Verónica y Elena que siempre me adoptaron como el hermano menor en su casa, a toda mi demás familia por sus consejos y ejemplo en la vida.

A MIS AMIGOS: Por brindarme su confianza, apoyo y amistad a lo largo de la vida universitaria, Juan Ruano, Cristian Zamora, Sebastián Chalí, Elmer Bala, Wilmer Colocho, Edwin López, Marlon Siqueij, Jerson García, Antonio Quiñonez, Luis Castillo, Edwin Valdez, Alejandro Duque, entre otros; con los cuales compartí aquellos momentos difíciles como de alegría durante este trayecto.

A MIS AMIGOS: Edgardo Quiñonez, Fredy Marroquín, Hugo Cano, José Muralles, Fernando Itzep, Jerry Sanchez, Josué González, David Vargas, Yovany Reyes, Gabriel Salazar, Gerson Ramos, Milton Corrales, Ronald Orozco, Alejandro Arana, Mario Girón, Asdrúbal Tuch, Álvaro Rodríguez, Jeffrey Gámez, William Velásquez y todos aquellos que me han tendido la mano, quienes han hecho más amena mi primera experiencia profesional y de los que además he aprendido mucho, tanto en el ámbito profesional como personal.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A DIOS:

Por todas sus bendiciones.

A MI FAMILIA:

Porque sin ustedes nada de esto hubiese sido posible, este triunfo es de todos.

A MI PATRIA, GUATEMALA:

Tierra bendita y preciosa, porque su belleza natural es inigualable, porque la amabilidad de su gente no tiene fin y porque gracias a la contribución de los mismos se sustenta la educación de mayor calidad en nuestro país, la USAC.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:

Mi alma mater, forjadora de mis ideales y de la mejor calidad de educación superior en el país.

A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA:

Por todas sus enseñanzas y haber sido mi hogar durante cuatro años.

A MIS PROFESORES:

Por compartir sus conocimientos de forma adecuada.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS:

Por su amistad, apoyo y todos los momentos que llegamos a compartir.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores Ing. Agr.,PhD. Marco Vinicio Fernández, Ing. Agr., MSc. Manuel de Jesús Martínez, Ing. Agr. Fernando Itzep, Ing. Agr. Waldemar Nufio e Ing. Agr. Héctor Monterroso por interesarse en la elaboración de este trabajo de graduación, su amistad, confianza, apoyo durante la realización del mismo y por compartir su experiencia y conocimientos para el enriquecimiento tanto de este documento como de la vida académica y profesional.

Mis padres Por darme la oportunidad de completar mi carrera universitaria, por su amor incondicional, el apoyo brindado hacia mi persona, tanto moral como económico, por ser el motor que mi vida siempre ha necesitado y ser el motivo de querer ser un mejor hijo, una mejor persona, un mejor profesional.

Grupo Corporativo Santa Ana Por abrirme las puertas en el inicio de mi vida profesional, por permitirme ser parte de uno de los ingenios más grandes de la agroindustria azucarera en nuestro país, además de ser el último paso en la finalización de mi vida como estudiante.

Departamento de planificación y control de riegos Gracias por todos aquellos conocimientos adquiridos, las experiencias vividas y aprendidas con el equipo de trabajo. Gracias a Edgardo Quiñonez por ser mi mentor, a quien debo gran parte de los conocimientos que he adquirido durante esta experiencia, al Ing. Agr. Sebastián Pinto por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, a Hernán Revolorio, Filadelfo Herrera, Luis Alfaro y demás parte del equipo por su apoyo y buenos momentos vividos durante la toma de datos de la investigación, a Fredy Marroquín, Hugo Cano, José Muralles, Gerson Ramos y demás compañeros por el apoyo brindado.

Amigos Ing. Agr. José Remberto Martínez, Ing. Agr. Emilio Rosales, Ing. Eliseo Cifuentes, gestores de riego, a mis amigos de la carrera universitaria y todas aquellas personas con las que he compartido en la vida, por la confianza, el aprecio y sobre todo por la amistad incondicional que me han brindado.

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	PÁGINA
CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD QUE SE PRESENTA Y ÁREA EN QUE SON UTILIZADOS LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE RIEGO EN LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN DEL GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA.....	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 METODOLOGÍA	6
1.3.1 Cuantificación de áreas por sistema de riego.....	6
1.3.2 Determinación del promedio del coeficiente de uniformidad de cada uno de los sistemas de riego	7
1.3.3 Identificación de los factores que afectan la uniformidad de riego	12
1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
1.4.1 Área en que se aplica cada uno de los sistemas de riego.....	13
1.4.2 Determinación del coeficiente de uniformidad para los sistemas de riego de mayor importancia dentro de las áreas productivas	19
1.4.3 Identificación de los factores que afectan la uniformidad de riego	21
1.5 CONCLUSIONES	32
1.6 BIBLIOGRAFÍA	33
1.7 ANEXOS	35

TÍTULO	PÁGINA
CAPÍTULO II: VALIDACIÓN DE LOS MOMENTOS DE DIFERENCIACIÓN DE LAS FASES FENOLÓGICAS PARA LA VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum spp.</i>) CP72-2086, PLANTÍA DE TERCER TERCIO DE COSECHA EN EL ESTRATO ALTITUDINAL BAJO.....	39
2.1 PRESENTACIÓN	41
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	44
2.2.1 Caña de azúcar.....	44
2.2.2 Importancia de la caña de azúcar	44
2.2.3 Fenología	45
2.2.4 Etapas fenológicas.....	45
2.2.5 Plantía.....	47
2.2.6 Densidad poblacional.....	47
2.2.7 Altura de planta.....	48
2.2.8 Tasa de crecimiento.....	48
2.2.9 Estratos altitudinales	49
2.2.10 Estrés hídrico en caña de azúcar	49
2.2.11 Coeficiente de cultivo (Kc).....	50
2.2.12 Evapotranspiración (ETo).....	50
2.2.13 El agua en el suelo	50
2.2.14 Capilaridad en el suelo	50
2.3 MARCO REFERENCIAL	52
2.3.1 Ubicación	52
2.3.2 Extensión	53
2.3.3 Aspectos climáticos.....	53
2.3.4 Suelo.....	54
2.3.5 Estrato altitudinal.....	55
2.3.6 Variedad CP72-2086.....	56
2.3.7 Estudios previos.....	57

TÍTULO	PÁGINA
2.4 OBJETIVOS.....	59
2.4.1 Objetivo General.....	59
2.4.2 Objetivos Específicos	59
2.5 HIPÓTESIS.....	59
2.6 METODOLOGÍA	60
2.6.1 Caracterización y validación cada una de las etapas fenológicas de la variedad CP72-2086.....	60
2.6.2 Determinación de la duración de cada una de las etapas fenológicas para esta variedad en el estrato altitudinal bajo	66
2.6.3 Monitoreo de las condiciones climáticas que prevalecieron en el estrato bajo durante la investigación	67
2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
2.7.1 Determinación de la duración de las etapas fenológicas.....	73
2.7.2 Comparación de los cambios de etapa fenológica con respecto a CENGICAÑA	80
2.7.3 Condiciones climáticas prevalecientes durante la evaluación	82
2.8 CONCLUSIONES	88
2.9 RECOMENDACIONES.....	89
2.10 BIBLIOGRAFÍA	90
2.11 ANEXOS	93

TÍTULO	PÁGINA
CAPÍTULO III: SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD DE RIEGOS DEL GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA.	97
3.1 PRESENTACIÓN	99
3.2 ÁREA DE INFLUENCIA.....	100
3.3 OBJETIVO GENERAL.....	101
3.4 SERVICIOS PRESTADOS	102
3.4.1 Servicio 1: Monitoreo del nivel freático del agua en pozos mecánicos.....	102
3.4.2 Servicio 2: Determinación de la capacidad de infiltración que poseen las áreas regadas con equipos de pivote central y avance frontal en las áreas productivas del ingenio.	120
3.5 BIBLIOGRAFÍA.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Formato para la determinación de la calidad técnica de riego en el sistema de aspersión.....	8
Figura 2. Distribución espacial de los recolectores de pluviometría con cuatro aspersores simultáneamente	9
Figura 3. Instalación de recipientes durante prueba de uniformidad	10
Figura 4. Prueba de uniformidad realizada en sistema de riego por aspersión.....	11
Figura 5. Sistema de riego por aspersión de tipo cañón	14
Figura 6. Operación de aspersor marca Nelson, modelo F200	15
Figura 7. Sistema de riego por avance frontal.....	16
Figura 8. Sistema de riego por pivote central	17
Figura 9. Porcentaje de área cubierta por cada uno de los sistemas de riego en el Ingenio Santa Ana	18
Figura 10. Coeficiente de uniformidad de riego para los principales sistemas	19
Figura 11. Efecto del marco de riego en el coeficiente de uniformidad obtenido en el sistema de riego por aspersión.....	21
Figura 12. Variación del coeficiente de uniformidad de riego relacionada a la velocidad del viento en el sistema de aspersión.....	22
Figura 13. Variación del coeficiente de uniformidad relacionada a la velocidad del viento en el sistema de riego por avance frontal	23
Figura 14. Variación del coeficiente de uniformidad de riego relacionada a la velocidad del viento en el sistema de riego por pivote central.....	24
Figura 15. Variación del coeficiente de uniformidad de riego relacionada a la velocidad en que operan los equipos de riego por avance frontal.....	25
Figura 16. Variación del coeficiente de uniformidad de riego relacionada a la velocidad en que operan los equipos de riego por pivote central	26
Figura 17. Variación entre el coeficiente de uniformidad de riego respecto a la presión de operación del aspersor en el sistema de riego por aspersión.....	27

FIGURA	PÁGINA
Figura 18. Árbol de problemas en el coeficiente de uniformidad en los sistemas de riego por aspersión y mini aspersión.....	28
Figura 19. Árbol de problemas en los sistemas de riego por pivote central y avance frontal.....	30
Figura 20A. Prueba de uniformidad realizada en el sistema de riego por avance frontal.....	35
Figura 21A. Prueba de uniformidad realizada en sistema de riego por mini aspersión.....	36
Figura 22A. Resultados obtenidos en prueba de uniformidad realizada en pivote central.....	36
Figura 23A. Prueba de uniformidad realizada en el sistema de riego por aspersión cañón.....	37
Figura 24A. Prueba de uniformidad realizada en sistema de riego por mini aspersión.....	37
Figura 25. Fases fenológicas en el cultivo de caña de azúcar.....	47
Figura 26. Cambios con la edad en la población y en la altura del cultivo de caña de azúcar.....	48
Figura 27. Finca Agropecuaria Centroamericana perteneciente a la Región VI del Grupo Corporativo Santa Ana.....	52
Figura 28. Pluviómetro instalado en la finca Agropecuaria Centroamericana.....	54
Figura 29. Etapas fenológicas de la caña de azúcar según estudio previo realizado por CENGICAÑA.....	57
Figura 30. Establecimiento de las parcelas de investigación.....	61
Figura 31. Ubicación de los metros lineales evaluados dentro de cada parcela de investigación.....	62
Figura 32. Sonda de Humedad TDR-350.....	69
Figura 33. Comportamiento de la altura promedio respecto a la población por metro lineal.....	73

FIGURA	PÁGINA
Figura 34. Relación entre la población por metro lineal respecto a la radiación solar	74
Figura 35. Comportamiento de la altura con respecto al tiempo	75
Figura 36. Ensayo en un área lisimétrica, estación experimental.....	76
Figura 37. Relación tasa de crecimiento respecto a la población promedio.....	77
Figura 38. Relación entre la tasa de crecimiento respecto a la precipitación pluvial.....	78
Figura 39. Balance hídrico de lotes analizados	79
Figura 40. Relación tasa de crecimiento respecto a la radiación solar.....	80
Figura 41. Temperatura promedio diaria para el año 2018	82
Figura 42. Precipitación diaria para el periodo de evaluación	83
Figura 43. Comportamiento de la radiación global para el periodo del cultivo	84
Figura 44. Seguimiento de humedad en los lotes de investigación.....	85
Figura 45. Aporte capilar en lotes de investigación	86
Figura 46A. Estado de los lotes evaluados durante la investigación 318 días después de la siembra	93
Figura 47A. Sistema de riego por avance frontal aplicado en los lotes evaluados.....	94
Figura 48A. Muestreo de suelos realizado en las parcelas de investigación	95
Figura 49A. Toma de datos biométricos durante la investigación	95
Figura 50. Área de influencia de los servicios prestados	101
Figura 51. Sonda hidrosensible para el monitoreo del nivel freático del agua	104
Figura 52. Influencia de cuenca a la que pertenecen los pozos instalados.....	107
Figura 53. Comportamiento del nivel freático del pozo ubicado en la finca Amazonas	108
Figura 54. Comportamiento del nivel freático del pozo ubicado en la finca La Niña.....	109
Figura 55. Comportamiento del nivel freático del pozo ubicado en la finca Río Plata.....	110
Figura 56. Diagrama de clasificación de agua para riego	113

FIGURA	PÁGINA
Figura 57. Formato de campo utilizado para el monitoreo de nivel freático del agua.....	117
Figura 58. Resultados de análisis de agua realizado en pozo de finca La Aurora.....	118
Figura 59. Análisis de agua realizado en pozo de finca La Niña.....	119
Figura 60. Ubicación de los cilindros infiltrometros	121
Figura 61. Forma correcta de colocar los cilindros infiltrometros	122
Figura 62. Nivel de agua en los cilindros de infiltración	124
Figura 63. Resultados de infiltración básica en prueba realizada en finca La Pinta.....	131
Figura 64. Resultados de prueba de infiltración realizada en finca La Pinta.....	132

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Área de riego para cada uno de los sistemas de riego.....	13
Cuadro 2. Matriz de priorización de problemas	31
Cuadro 3. Resultados del análisis físico de suelos realizado en los lotes de establecimiento de la investigación.....	55
Cuadro 4. Fechas de muestreo durante la investigación	72
Cuadro 5. comparación de la duración de etapas fenológicas.....	81
Cuadro 6. Ubicación geográfica de equipos en los que se enfocaron los servicios prestados	100
Cuadro 7. Cuenca a la que pertenecen los pozos monitoreados	106
Cuadro 8. Resultado de los análisis químicos del agua	111
Cuadro 9. Resultados de la clasificación de agua para riego.....	114
Cuadro 10. Resultado de pruebas de infiltración realizadas	126
Cuadro 11. Infiltración básica determinada en las pruebas de infiltración.....	128
Cuadro 12. Valores de Infiltración básica de los suelos	129

DIAGNÓSTICO DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD PRESENTADO Y ÁREA EN QUE SE APLICAN LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE RIEGO EN LAS ÁREAS PRODUCTIVAS, VALIDACIÓN DE LOS MOMENTOS DE DIFERENCIACIÓN DE LAS FASES FENOLÓGICAS PARA LA VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) CP72-2086 PLANTÍA, DE TERCER TERCIO DE COSECHA PARA EL ESTRATO ALTITUDINAL BAJO Y SERVICIOS PROFESIONALES REALIZADOS PARA EL GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

Este documento es un integrado de las actividades que fueron realizadas durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), el mismo fue realizado en el Grupo Corporativo Santa Ana. El trabajo está comprendido por tres capítulos: el diagnóstico realizado en la determinación del área regada por cada uno de los sistemas que operan en las áreas productivas del ingenio, además de la calidad técnica de riegos, una investigación titulada: “Validación de los momentos de diferenciación de las fases fenológicas para la variedad de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) CP72-2086 plantía, de tercer tercio de cosecha para el estrato altitudinal bajo” y un informe de los servicios profesionales prestados a la institución antes mencionada.

El Capítulo I consta del diagnóstico realizado en la determinación del área que ocupa cada uno de los sistemas de riego, determinando al sistema por aspersión como el más importante, encontrándose en 62 % del área productiva del ingenio, los sistemas de riego por mini aspersión, pivote central y avance frontal son definidos como los de mayor importancia. Por otra parte, al realizar un análisis de la calidad técnica de operación de riego, mediante el coeficiente de uniformidad de Christiansen se determinó que el sistema de avance frontal es el de mejor uniformidad con un coeficiente de 83 %; 78 % corresponde al sistema de mini aspersión, 77 % el sistema de riego por aspersión y un coeficiente del 76 % para pivote central.

El Capítulo II corresponde a la investigación realizada, con el propósito final de validar los momentos de diferenciación en cuanto a las fases fenológicas del cultivo de caña de azúcar, específicamente para la variedad CP72-2086, plantía de tercer tercio de cosecha en áreas productivas del Grupo Corporativo Santa Ana, se llevó acabo en la Región VI de dicho ingenio, en áreas encontradas a los 94 msnm es decir, pertenecientes al estrato altitudinal bajo de la franja cañera a nivel nacional.

Las variables evaluadas durante la realización de este estudio corresponden a la densidad poblacional de tallos por metro lineal, además de la altura de plantas previamente identificadas así como la relación existente entre los factores climáticos más importantes en el óptimo desarrollo del cultivo, teniendo un registro de las condiciones de humedad, así como la precipitación pluvial acumulada presentada durante la investigación, radiación solar y temperatura promedio diaria, variables obtenidas de la estación meteorológica instalada por el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) en la finca Costa Brava.

Los resultados obtenidos demostraron que la etapa de Iniciación es de 40 días de duración, 56 días fue la duración de la etapa de Macollamiento. La Elongación I, tiene una duración total de 87 días, 135 días dura la Elongación II, para finalizar con la etapa de Maduración la cual inicia 318 días después de la siembra y finaliza al realizar la cosecha del cultivo, la misma se realiza generalmente 360 días después de la siembra.

Finalmente, el Capítulo III presenta los servicios profesionales prestados al Ingenio Santa Ana, comprendiendo dos de las más importantes actividades para el Departamento de Planificación y Control de Riego, siendo, el monitoreo del nivel freático de los pozos mecánicos con el fin de conocer la capacidad de recarga que posee cada uno de ellos, mediante los niveles dinámicos y estáticos encontrados durante esta actividad. Además, fueron realizadas doce pruebas de infiltración, correspondiente a las áreas de aplicación de cuatro equipos de riego mecanizado con el fin de hacer más eficiente la aplicación de la lámina de riego mediante el diseño y programación de los mismos bajo fundamentos técnicos.



1.1 PRESENTACIÓN

Actualmente en la industria azucarera sobresalen algunos de los ingenios de mayores producciones como lo son Santa Ana, Pantaleón, Madre Tierra, Magdalena, La Unión, Palo Gordo, entre otros. La producción de caña de azúcar depende de varios factores como lo son el suelo, clima, fertilidad, mecanización, riego, etc, siendo estos de suma importancia para alcanzar los más altos rendimientos.

La uniformidad de distribución del agua, es uno de los factores importantes en la producción de caña de azúcar. Una distribución de agua inadecuada puede tener como consecuencia, que el cultivo no se desarrolle de la mejor manera, manifestándose en el crecimiento deficiente de algunas plantas y otras con un desarrollo vegetativo exuberante dentro de los mismos lotes. Además, si existe mala distribución se puede producir el anegamiento de una parte del terreno, causando asfixia de las raíces debido a aireación deficiente, la lixiviación de nutrientes, o bien la acumulación de sales nocivas en la zona radicular.

Los distintos sistemas de riego utilizados en las regiones pertenecientes al ingenio son establecidos según las características fisiográficas del área o bien la accesibilidad que se posea en las mismas. Generalmente prevalecen los sistemas de mini aspersión, aspersión, gravedad, pivotes, así como avances frontales siendo de suma importancia para el departamento de planificación y control de riego conocer el área cubierta por cada uno de los sistemas para tener control de diversos aspectos.

Al mismo tiempo, es importante para el departamento determinar la calidad de aplicación de riego de los sistemas establecidos en las áreas de producción, con el fin de visualizar y corregir problemas que afecten la calidad de la misma.

Durante el tiempo que se diagnosticó este factor se pudo detectar que, para el periodo de riego del año 2018, la calidad de riego fue considerada como muy buena, encontrándose en un promedio del 83 % en el sistema de riego por avance frontal, es denominada como

calidad de aplicación de riego aceptable en los sistemas de aspersión (77 %), 78 % en mini aspersión y 76% en los equipos de riego por pivote central.

Además, se determinó que los principales factores que afectan una correcta aplicación son el viento, la presión de los emisores y el taponamiento de los mismos; por otra parte, se pudo observar que el sistema de riego con mayor área de aplicación es aspersión, además del leve aumento de las áreas con equipos de riego mecanizado debido a los proyectos de inversión del ingenio, haciendo énfasis en este sistema por la alta eficiencia de aplicación.

La disminución del área regada por gravedad a lo largo de la historia es uno de los factores más importantes del impulso que tiene la ejecución de sistemas de riego con una mayor eficiencia de aplicación, haciendo más óptima la utilización del vital recurso hídrico, además de aumentar la eficiencia de aplicación en las áreas productivas del ingenio y teniendo en mente la aplicación de futuras leyes de agua que puedan ser aprobadas en nuestro país, además de ello es importante resaltar la eficiente utilización de la altimetría en algunas áreas productivas, las cuales se prestan para implementar un sistema de aplicación de riego por gravedad más eficiente denominado, aspersión_gravedad.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar de los distintos sistemas de riego implementados en el Grupo Corporativo Santa Ana, para determinar los factores que afectan la uniformidad de riego en cada uno de ellos.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar el área en que se aplican cada uno de los distintos sistemas de riego en el ingenio.
2. Determinar el coeficiente de uniformidad para los sistemas de riego de mayor importancia dentro de las áreas productivas.
3. Identificar los factores que afectan la uniformidad de riego.

1.3 METODOLOGÍA

1.3.1 Cuantificación de áreas por sistema de riego

A. Reconocimiento del área de estudio

Para reconocer el área de estudio, se realizó una visita a las fincas en las que pudieron encontrarse los distintos sistemas de riego en operación, observando los principios básicos de operación de cada uno de ellos. Fue necesario de la misma forma realizar un recorrido por gran parte del área productiva del ingenio distribuida en 7 regiones, comprendiendo 25,960 ha.

B. Recolección de información primaria

Para la recolección de dicha información, se realizaron entrevistas con los mayordomos encargados del riego en cada una de estas regiones, con el fin de conocer que sistema de riego utilizaban en cada uno de los lotes de producción encontrados dentro de estas áreas productivas.

C. Recolección de información secundaria

El departamento de planificación y control de riego tiene una persona responsable de gestionar y supervisar el riego en cada una de estas regiones, por lo cual se consultó con cada uno de ellos el sistema de riego que utilizaban en cada uno de los lotes de producción que tenían bajo su responsabilidad, además de ello se consultó informes previos que se manejaban dentro del departamento para tener mayor información de referencia.

D. Análisis de la información

Con la información obtenida se procedió a realizar un análisis de la misma y se contrastó con las fuentes primarias y secundarias; generando gráficas utilizando para ello el software de Excel y mapas mediante ArcMap se realizó la triangulación, para de este modo llegar a la información más precisa.

1.3.2 Determinación del promedio del coeficiente de uniformidad de cada uno de los sistemas de riego

A. Selección de equipos a evaluar

Para el año 2018, el departamento de planificación y control de riego estableció como meta la realización de al menos 3 pruebas de calidad técnica de riego por semana. Para ello se tenía en cuenta los informes presentados al final de cada semana respecto a las actividades que se realizaron dentro de la misma, por cada uno de los gestores de riegos, además de la planificación de las actividades a realizar en la semana siguiente; dando la pauta a desarrollar cada evaluación de la uniformidad de riego según lo representativo que resultaba ser las motobombas y los lotes en las que cada una de ellas se encontrara operando.

B. Recopilación de información

Al realizar la evaluación del coeficiente de uniformidad de riego en cada uno de estos equipos fue necesaria la recolección correspondiente a las características técnicas de operación en estos equipos, entre las que se encuentran el distanciamiento entre aspersores y laterales en el que el equipo se encontraba operando, fecha de corte o siembra del lote en el que se realizó la evaluación, la variedad sembrada, fecha del último riego, marca de aspersor, diámetro de boquilla, descarga del aspersor, presión del mismo, entre otros parámetros como se presenta en el siguiente formato (figura 1).



EVALUACIÓN DE UNIFORMIDAD DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Departamento de Ingeniería Agrícola
Ingenio Santa Ana



DATOS GENERALES

Fecha: Región: Finca:
 Área (ha): Lote: Código de Finca:
 Fecha de corte o siembra: Variedad:
 Tipo de riego: Código motobomba:

DATOS DE CAMPO

DATOS DE ASPERSIÓN		DATOS DE BOMBA	
Frecuencia de riego:		RPM:	
Marco de riego:		Presión de Trabajo (PSI):	
Distancia entre aspersores (m):		Horometro Inicial:	
Distancia entre laterales (m):		Horometro Final:	
Marca aspersor 1:		CAUDALIMETRO	
Marca aspersor 2:		Vol. Inicial [(Acre-pulg)*0.1]:	
Altura de Aspersores (m):		Vol. Final [(Acre-pulg)*0.1]:	
Diámetro boquilla 1 (Pulg):		Caudal Inicial (GPM):	
Diámetro boquilla 2 (Pulg):		Caudal Final (GPM):	
PRESIÓN DE ASPERSORES		TUBERIAS (Diámetro en Pulgadas)	
Presión inicial aspersor 1 (PSI):		Diámetro tubería / Principal:	
Presión inicial aspersor 2 (PSI):		No. Tubería / Principal:	
Presión final aspersor 1 (PSI):		Diámetro tubería / Lateral:	
Presión final aspersor 2 (PSI):		No. Tubería / Lateral:	
Caudal de aspersor 1 (l/s):		RIEGO	
Caudal de aspersor 2 (l/s):		Hora inicial:	
Diámetro de mojado Asp. # 1 (m):		Hora Final:	
Diámetro de mojado Asp. # 2 (m):		Tiempo de riego (hrs):	0.00
No. De aspersores trabajando:		DATOS DE PLUVIOMETROS	
RESPONSABLE		Numero de recipientes:	
		Diámetro de pluviómetro (cm):	

DATOS METEOROLÓGICOS

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

PLUVIOMETRIA (ml)

1		18		35		1'		35'	
2		19		36		2'		36'	
3		20		37		3'		37'	
4		21		38		4'		38'	
5		22		39		5'		39'	
6		23		40		6'		40'	
7		24		41		7'		41'	
8		25		42		8'		42'	
9		26		43		9'		43'	
10		27		44		10'		44'	
11		28		45		11'		45'	
12		29		46		12'		46'	
13		30		47		13'		47'	
14		31		48		14'		48'	
15		32		49		15'		49'	
16		33		50		16'		50'	
17		34		51		17'		51'	

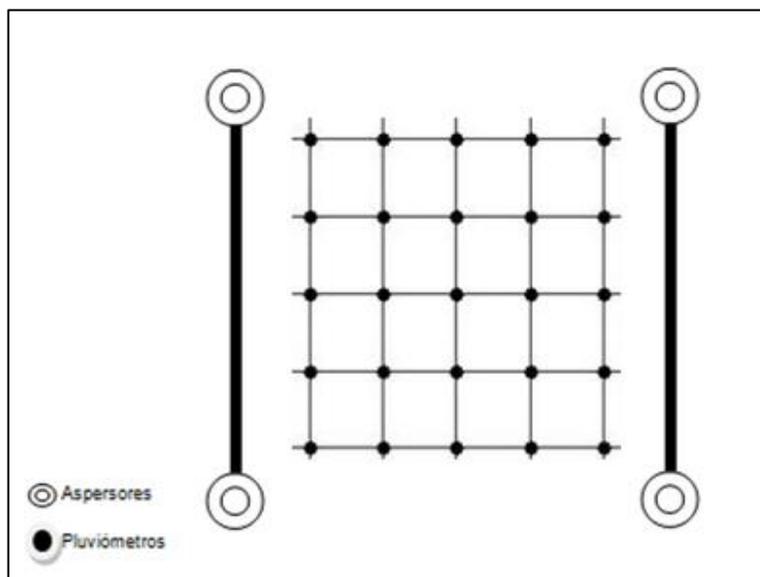
Fuente: (Quiñonez s. f.)

FIGURA 1. FORMATO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD TÉCNICA DE RIEGO EN EL SISTEMA DE ASPERSIÓN

C. Instalación de pluviómetros

Una vez realizada la recopilación de los datos correspondientes a la operación del riego se procedió a realizar la instalación de los recipientes para medir la pluviometría; teniendo en cuenta las precauciones necesarias para la precisión de la información obtenida como lo fueron, que ninguno de los emisores estuviera abierto durante la instalación de los recipientes, que estos fueran instalados en un área firme para evitar que se cayeran, que el cultivo no fuera una interferencia en la dirección normal del flujo de agua, etc.

El distanciamiento entre aspersores y laterales se encontraba directamente relacionado con la cantidad de recipientes instalados, los mismos se colocaban a una distancia de 9 m por 9 m, es decir cubriendo un área total de 81 m² (figura 2), la colocación de los recipientes se realizó tratando de formar un rectángulo con un ancho equivalente al distanciamiento entre aspersores y al doble de distancia que existía entre cada lateral; esto con el fin de simular las condiciones del terreno al final del riego, cuadrando el área a las dimensiones iguales al marco de riego (Quiñonez s. f.).



Fuente: (Quiñonez s. f.)

FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS RECOLECTORES DE PLUVIOMETRÍA CON CUATRO ASPERSORES SIMULTANEAMENTE

Una vez instalados los recipientes requeridos (figura 3) y en la distribución espacial requerida según el sistema de riego al que se estaba evaluando, se procedía a realizar la apertura de los hidrantes correspondientes a los aspersores que se encontraban evaluando (figura 4), tomando en cuenta la medición de la presión en que se encontraban operando los aspersores, la velocidad del viento así como la dirección se medían a cada 15 minutos, teniendo una duración de dos horas cada una de las pruebas de calidad técnica de riego, lo cual es la duración de un evento de riego (Quiñonez s. f.).



FIGURA 3. INSTALACIÓN DE RECIPIENTES DURANTE PRUEBA DE UNIFORMIDAD



**FIGURA 4. PRUEBA DE UNIFORMIDAD REALIZADA EN SISTEMA DE RIEGO POR
MIDI ASPERSIÓN**

D. Medición de la pluviometría

Haciendo uso de probetas graduadas, se midió el volumen de agua contenido en cada uno de los recipientes instalados, teniendo un registro preciso de cada uno de ellos, ya que en la fase de gabinete se realizó el cálculo del coeficiente de uniformidad de riego haciendo uso de la fórmula de (Christiansen 1942), de la misma forma se determinó la uniformidad de distribución, lamina mínima, promedio y máxima aplicada, haciendo uso del modelo propuesto por Christiansen que se detalla en la siguiente ecuación.

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

Donde:

X_i = Pluviometría del i-esimo recipiente

M = Pluviometría promedio de todos los recipientes

n = Número de pluviómetros instalados.

La uniformidad de distribución se determina en base a la media del 25% de las pluviometrías menores, utilizando para ello el modelo.

$$DU = 100 * \left(\frac{\text{Promedio del 25\% de pluviometría menor}}{\text{Promedio general de pluviometría}} \right)$$

Por último, se realizó un informe dentro del cual se presentaron distintas graficas correspondientes al requerimiento hídrico del cultivo en el momento que se realizó la prueba, determinado en base a la evapotranspiración de referencia para la época del año y el K_c del cultivo según la etapa fenológica en la que se encontraba, contrastando lo anterior con la lámina de riego promedio aplicada, y la lámina de riego obtenida en cada pluviómetro, obteniendo de esa forma el porcentaje del área que se logra cumplir la aplicación de la lámina requerida.

1.3.3 Identificación de los factores que afectan la uniformidad de riego

Mediante los datos referentes a los parámetros operativos y de las condiciones climáticas prevaletientes durante la evaluación de la calidad técnica de riego en los diferentes sistemas de riego se realizó un análisis de la significancia que posee cada uno de los factores involucrados en la disminución del coeficiente de uniformidad.

1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.4.1 Área en que se aplica cada uno de los sistemas de riego

El riego es definido por (Sevilla 2007) como la aplicación de humedad que se da al suelo de manera artificial, la misma se da para los suelos que son utilizados para labores agrícolas ya que de esta forma pueden lograrse producciones sostenidas y continuas tanto en los recursos naturales como económicamente hablando.

Por otra parte, (Paz 2010) define al riego como la aplicación necesaria de agua en el sistema de un cultivo según los requerimientos que el mismo posea, esto con el fin de obtener los mayores rendimientos posibles, así como mejorar las condiciones del cultivo, logrando de este modo que se mantenga siempre óptimo para contrarrestar posibles problemas que se presentan generalmente dentro de ellos como lo son las plagas, enfermedades, etc.

Como bien se mencionaba anteriormente, para el año 2018 ingenio Santa Ana contó con 25,960 ha de área productiva, dentro de la que se realizó la aplicación de láminas de riego mediante el uso de distintos sistemas como se detalla en el cuadro 1.

CUADRO 1. ÁREA DE RIEGO PARA CADA UNO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Sistema de riego	Área total (ha)	%
Aspersión	16,017	61.7%
Aspersión_gravedad	337	1.3%
Avance frontal	2,547	9.8%
Gravedad	2,568	9.9%
Mini aspersión	2,787	10.7%
Pivote central	1,638	6.3%
Sin riego	65	0.3%
Total	25,960	

A. Sistema de riego por aspersión

En el 61.7 % (16,017 ha) del total de área productiva del ingenio se aplicó el sistema de riego por aspersión, convirtiéndose de esta forma en el sistema más importante para los intereses del departamento de planificación y control de riego.

La operación del sistema de riego por aspersión (figura 5) se define como una modalidad de riego en la que el recurso hídrico se aplica al cultivo en una forma localizada, mediante este método el agua es llevada al suelo en forma de lluvia utilizando unos aspersores como emisores, los cuales generan un chorro de gotas pulverizadas, para que este sistema funcione es necesaria la instalación de una red de tubería de riego así como un sistema de bombeo apropiado para generar las presiones requeridas y de esta forma hacer eficiente el riego (Montero 2000).



FIGURA 5. SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN DE TIPO CAÑÓN

El sistema de aspersión de tipo cañón utiliza generalmente aspersores de la marca Komet, Nelson (figura 6), etc. los cuales requieren un caudal de al menos 150 galones por minuto y

una presión de operación por encima de los 35 psi, la pulverización de las gotas depende del diámetro de boquilla, así como de la presión de operación en que el mismo opere, teniendo en cuenta además que del tamaño que posea la gota será la deriva que el viento provoca sobre las gotas de agua (Mérida 2017).



FIGURA 6. OPERACIÓN DE ASPERSOR MARCA NELSON, MODELO F200

B. Sistema de riego por mini aspersion

Seguidamente se encuentra el sistema de riego por mini aspersion, el cual se encuentra instalado en 2,787 ha (10.7 % del área productiva total), siendo este uno de los sistemas de riego con mayor eficiencia en la actualidad; sin embargo, esta cualidad se aprovecha únicamente en las etapas fenológicas primerizas del cultivo de caña de azúcar, donde la caña no haya alcanzado una altura que dificulta considerablemente su aplicación y por consiguiente también la eficiencia de este sistema tan importante, generalmente este sistema de riego se instala en áreas productivas con caña de primer tercio de cosecha para

aprovecha al máximo la aplicación de riegos según el requerimiento hídrico del cultivo en cada una de sus etapas fenológicas como lo indica (Mérida 2017).

C. Sistema de riego por avance frontal y pivote central

Por otra parte, gran importancia posee los equipos de riego mecanizado dentro de las áreas productivas del ingenio ya que 2,547 ha son regadas mediante avances frontales (figura 7) y en 1,638 ha se aplican láminas de riego mediante el uso de pivotes centrales (figura 8) representando al 9.8 % y 6.3 % del área productiva total respectivamente. Además, se debe tener en cuenta que el área regada por ambos sistemas de riego se ve limitada a la longitud que posee el equipo de riego, además del relieve y la disponibilidad del recurso hídrico en algunas ocasiones, debido a que cada uno de estos equipos puede consumir de 2,200 hasta 4,500 galones de agua por minuto.



FIGURA 7. SISTEMA DE RIEGO POR AVANCE FRONTAL



FIGURA 8. SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL

D. Sistema de riego por gravedad

En el ingenio se ha buscado en los últimos años la reducción del área regada con el sistema por gravedad, ya que este se ve afectado por la baja eficiencia que el mismo representa, además de la proximidad que se tiene de la entrada en vigencia de las leyes de agua en nuestro país, por lo cual a pesar de reducir las áreas de aplicación aún se da el riego por gravedad en 2,568 ha, representando el 9.9 % del total de área productiva.

E. Sistema de riego por aspersión_gravedad

Otra forma de aprovechar y hacer más eficiente la aplicación de agua por gravedad que ha sido una alternativa muy rentable y eficiente por parte del ingenio consiste en la aplicación de un sistema de riego por aspersión_gravedad; lo cual consiste en no utilizar un bombeo sino más bien aprovechar la altimetría del área en que es aplicado utilizando para ello aspersores de tipo cañón. 337 ha del ingenio son regadas utilizando este sistema de riego siendo el 1.3 % del área productiva del ingenio como se muestra en la figura 9.

F. Área sin riego

Para el periodo de la Zafra 2018_19 únicamente 65 ha no se realizó aplicación alguna de lámina de riego debido a las distintas condiciones fisiográficas e hidrológicas de la ubicación de estos lotes de producción, los cuales representan únicamente al 0.3 % del área productiva total (figura 9).

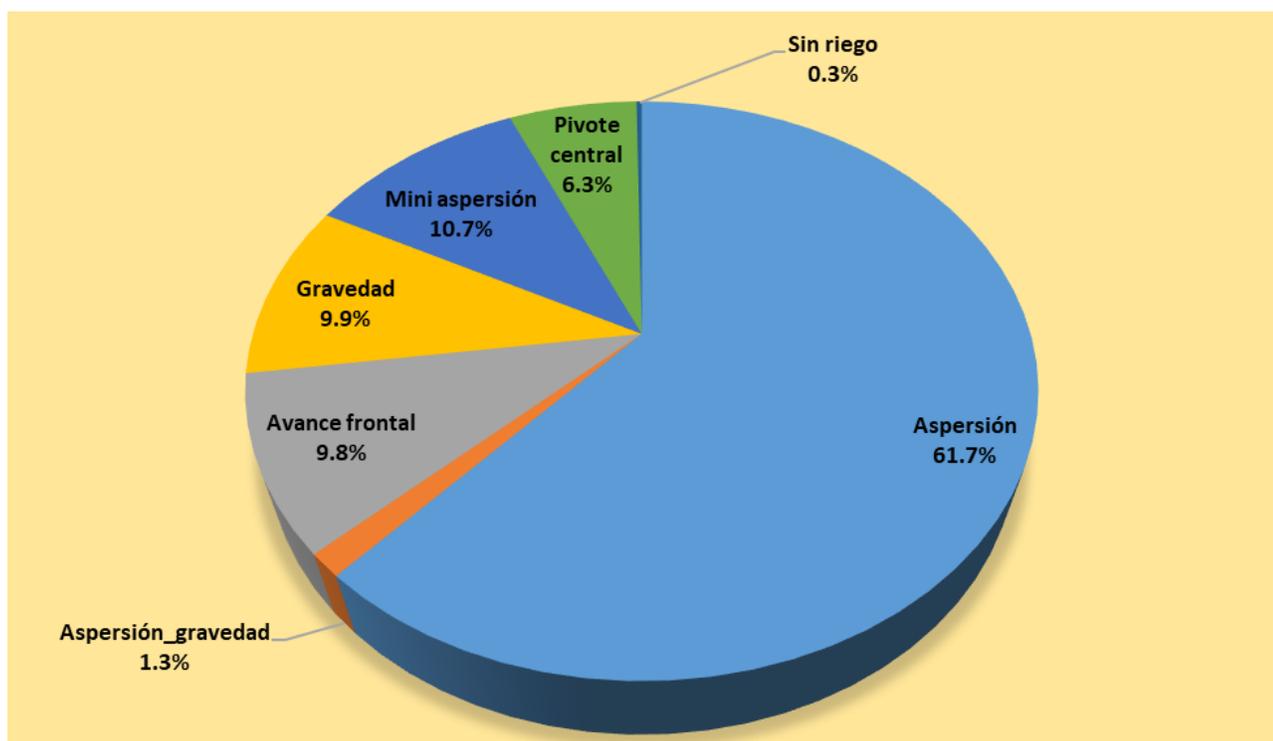


FIGURA 9. PORCENTAJE DE ÁREA CUBIERTA POR CADA UNO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO EN EL INGENIO SANTA ANA

1.4.2 Determinación del coeficiente de uniformidad para los sistemas de riego de mayor importancia dentro de las áreas productivas

Uno de los factores de mayor importancia en lo que respecta a la aplicación del riego consiste en la uniformidad de distribución de la lámina de riego, ya que este es un indicador de las variaciones espaciales que se pueden presentar durante esta labor tan importante no solo en el ámbito de la agricultura sino además en el uso eficiente del agua (Paz 2010).

(Keller 1990) determinó que un coeficiente de uniformidad de Christiansen por arriba del 80 % es denominado como muy buena ya que los parámetros que puedan ser variables en esta evaluación no poseen influencia significativa en la uniformidad de la aplicación de lámina de riego en el escenario y tiempo establecido, en la figura 10 se detalla el coeficiente de uniformidad para los principales sistemas de riego utilizados en el ingenio.

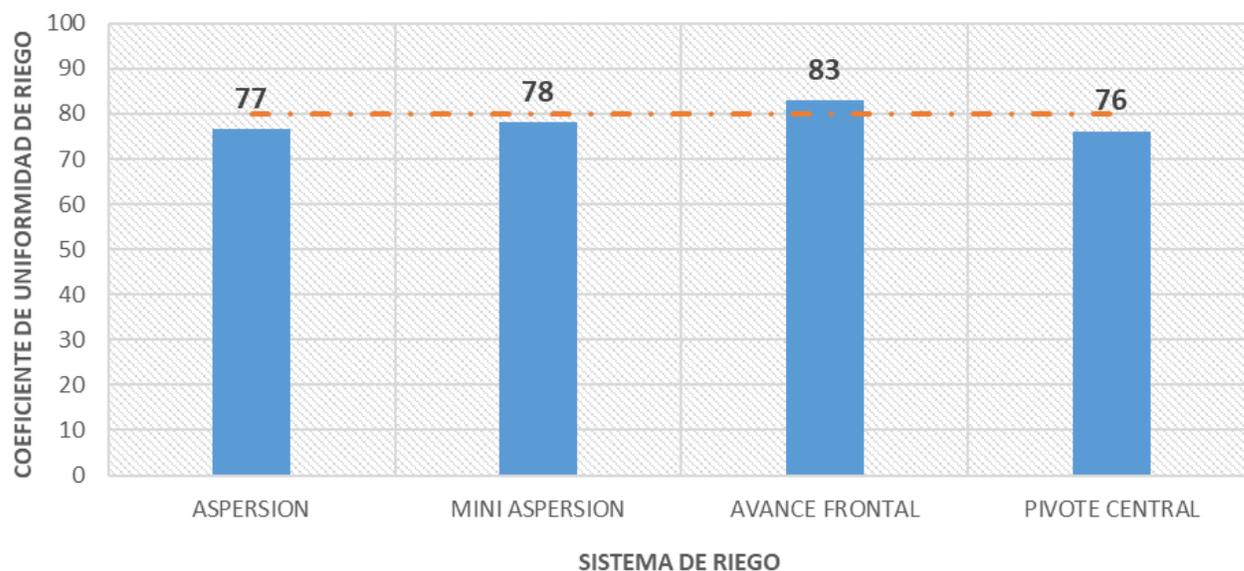


FIGURA 10. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO PARA LOS PRINCIPALES SISTEMAS

Durante las evaluaciones realizadas en el periodo de operación de riego de la zafra 2018-19 se realizó el análisis de la calidad técnica de aplicación de riego correspondiente a los cuatro sistemas de riego, al observar los resultados obtenidos se demuestra que únicamente el sistema de riego por avance frontal (83 %) se encuentra por encima del 80 % de correcta aplicación, la cual se denomina por (Keller 1990) como muy buena.

Sin embargo, la diferencia existente entre los rangos establecidos y los resultados obtenidos en el sistema de riego por aspersión, mini aspersión y pivote central (77 %, 78 % y 76 % respectivamente en cuanto al coeficiente de uniformidad de riego) no se encuentran significativamente alejados de una buena aplicación, por lo cual son catalogados como una aplicación de riego aceptablemente uniforme.

1.4.3 Identificación de los factores que afectan la uniformidad de riego

A. Marco de riego en el sistema de riego por aspersión

Por otra parte, (Burt et al. 1997) concuerdan en que los factores más importantes y de mayor influencia en la heterogeneidad de la distribución de la lámina de riego se encuentran en la variación de presiones en el sistema, además del diseño de los aspersores, el marco de riego instalado como se observa en la figura 11, además de las condiciones climáticas que prevalezcan en el momento de la aplicación del riego.

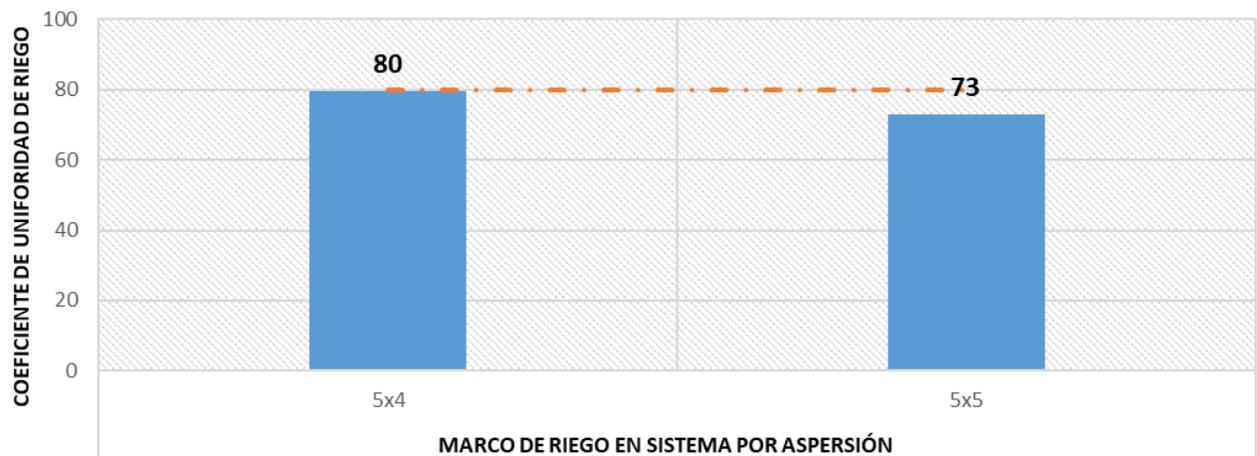


FIGURA 11. EFECTO DEL MARCO DE RIEGO EN EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD OBTENIDO EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Realizando un análisis del efecto provocado por la distribución de aspersores en el área de riego puede comprobarse que al utilizar un distanciamiento de 5 tubos entre laterales y 4 tubos entre aspersores alcanza una eficiencia de aplicación de hasta el 80 %. Por el contrario, al distanciar por 5 tubos los aspersores la calidad de aplicación se reduce hasta el 73 %, esto debido a la capacidad de diámetro de mojado que poseen estos aspersores, el porcentaje de traslape se reduce drásticamente al aumentar de una forma considerable el distanciamiento, mientras que la susceptibilidad a no cubrir el área asignada para cada

aspersor aumenta significativamente en cuanto a la modificación que sufre la intensidad de riego y el factor viento que siempre debe ser considerado.

B. Velocidad del viento en el sistema de riego por aspersión

La uniformidad de riego se puede ver afectada por distintas variables que están directamente relacionadas con el área de aplicación del riego como lo son las variables meteorológicas, las cuales implican la velocidad y dirección del viento como de mayor impacto (figura 12), además de las pérdidas por evaporación, por otra parte se encuentran las variables operativas en las que se ven involucradas la presión de operación de los emisores, así como el diámetro de boquilla que posean las mismas, marco de riego utilizado, entre otros (Mérida 2017).

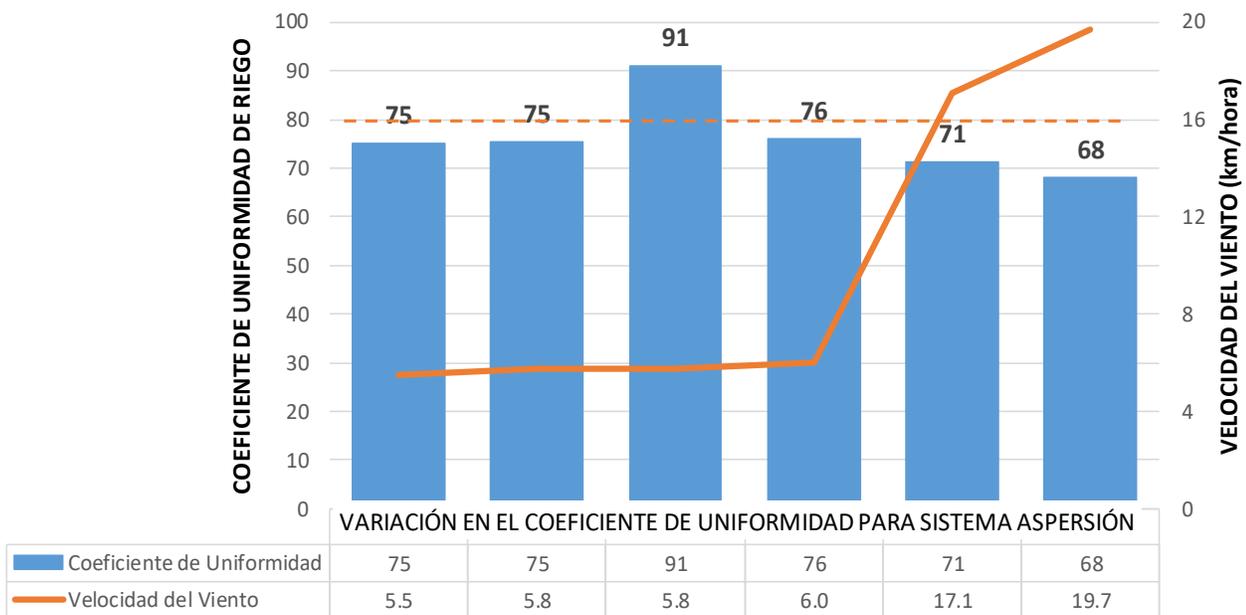


FIGURA 12. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO RELACIONADA A LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL SISTEMA DE ASPERSIÓN

Al analizar la incidencia que posee la velocidad del viento en cuanto a la aplicación efectiva de la lámina de riego requerida por el cultivo durante su ciclo fenológico se puede observar la relación inversamente proporcional, siendo la velocidad del viento uno de los factores de mayor importancia en cuanto a la óptima aplicación del riego debe establecerse un parámetro de suspender las labores de riego cuando la velocidad del viento sea superior a los 15 km/hora, con el fin de que la aplicación de riego sea efectiva y no solamente represente costos.

C. Velocidad del viento en el sistema de riego por avance frontal

De la misma forma que sucedió con el sistema de riego por aspersión, la velocidad del viento posee el mismo comportamiento en cuanto a la reducción de la calidad técnica de aplicación de riego en cuanto esta variable aumenta, a pesar de ser un riego más localizado el factor viento afecta la eficiente operación de este importante sistema de riego, llegando a disminuir hasta un 78 % el coeficiente de uniformidad al presentarse una velocidad del viento de 12.2 km/hora (figura 13).

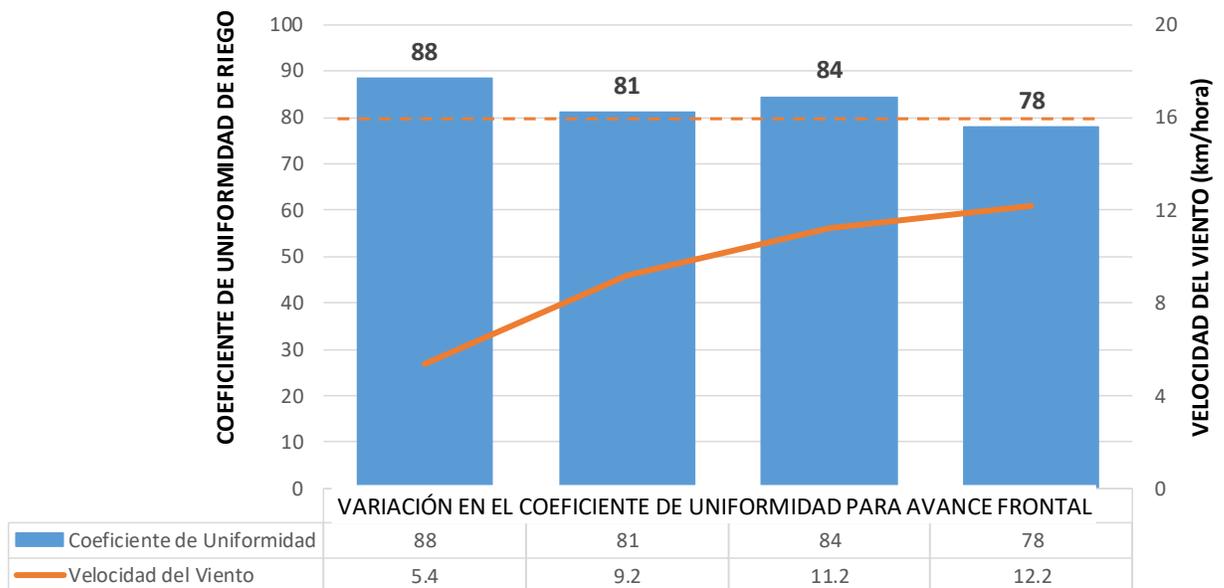


FIGURA 13. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD RELACIONADA A LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL SISTEMA DE RIEGO POR AVANCE FRONTAL

D. Velocidad del viento en el sistema de riego por pivote central

La misma situación se da en otro de los principales sistemas de riego mecanizado como lo es en los pivotes centrales, nuevamente el aumento de la velocidad del viento disminuye radicalmente el coeficiente de uniformidad de riego como se observa en la figura 14, pudiendo reducir la uniformidad hasta un 67 % al presentarse vientos de hasta 15 km/hora, es importante de la misma forma resaltar que según la altura del cultivo, se modifica la altura a la que se encuentran los emisores, volviéndose más susceptibles a las ráfagas de viento que se puedan dar en el momento del riego.

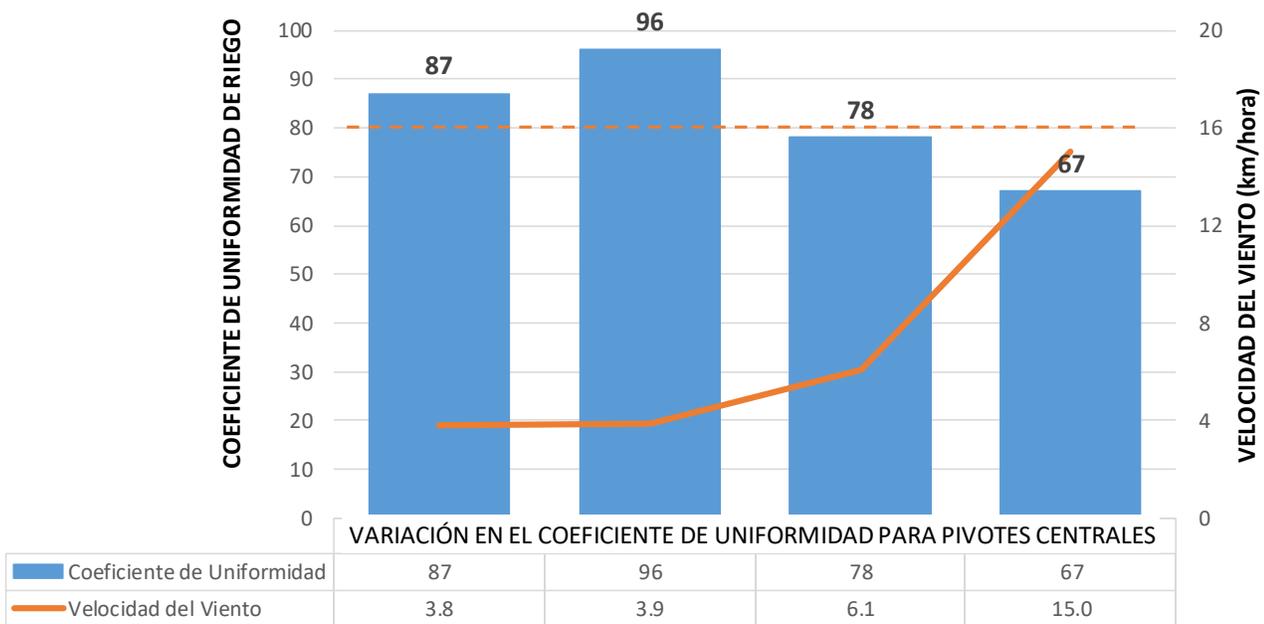


FIGURA 14. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO RELACIONADA A LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL

E. Velocidad de operación en el sistema de riego por avance frontal

Otro de los factores muy importantes para las variaciones significativas existentes en el coeficiente de uniformidad de aplicación de riego se da en la velocidad porcentual de movimiento a la que es programado cada uno de los equipos de riego mecanizado que se encuentre en operación, los avances frontales pueden disminuir hasta un 78 % el coeficiente de aplicación de riego al aumentar su velocidad de operación hasta un 41 %, teniendo en cuenta que la intensidad de riego se ve disminuida de forma notable (figura 15).

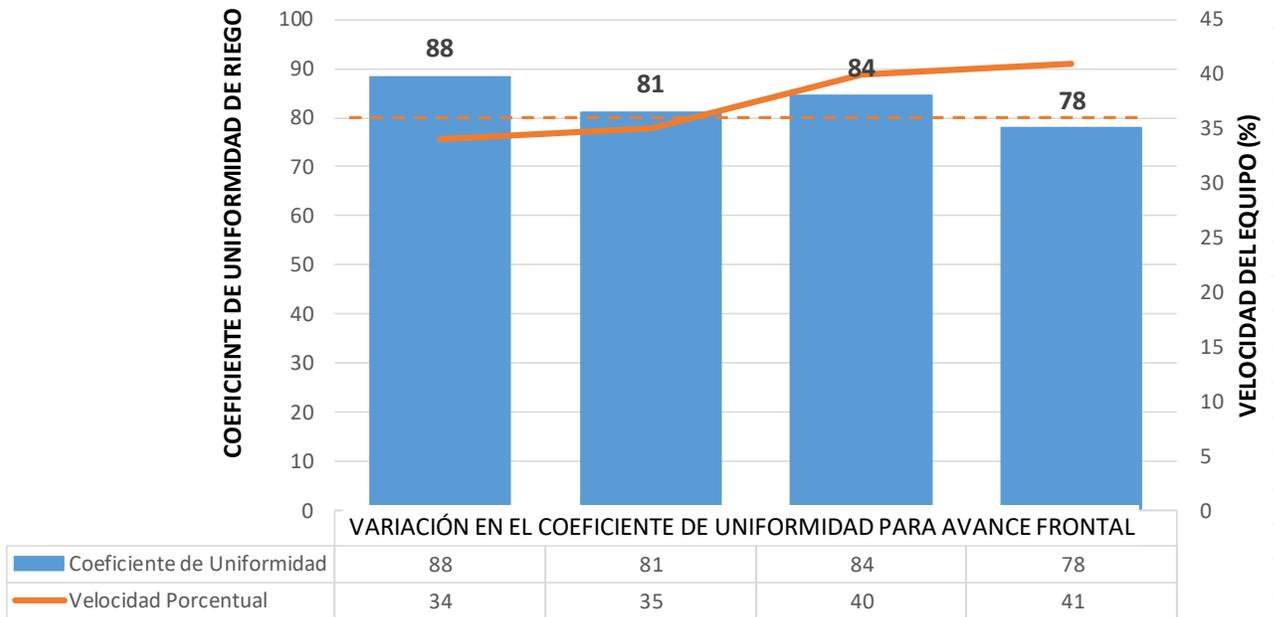


FIGURA 15. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO RELACIONADA A LA VELOCIDAD EN QUE OPERAN LOS EQUIPOS DE RIEGO POR AVANCE FRONTAL

F. Velocidad de operación en el sistema de riego por avance frontal

En el caso de los equipos del sistema de riego por pivote central (figura 16) el aumento en la velocidad porcentual de hasta un 30 % puede significar la disminución de la calidad técnica de riego hasta un 67 % en cuanto al coeficiente de uniformidad, marcando de esta forma la relación inversamente proporcional existente en estos equipos entre dos variables tan importantes durante la operación como lo es la velocidad de operación y la uniformidad de riego.

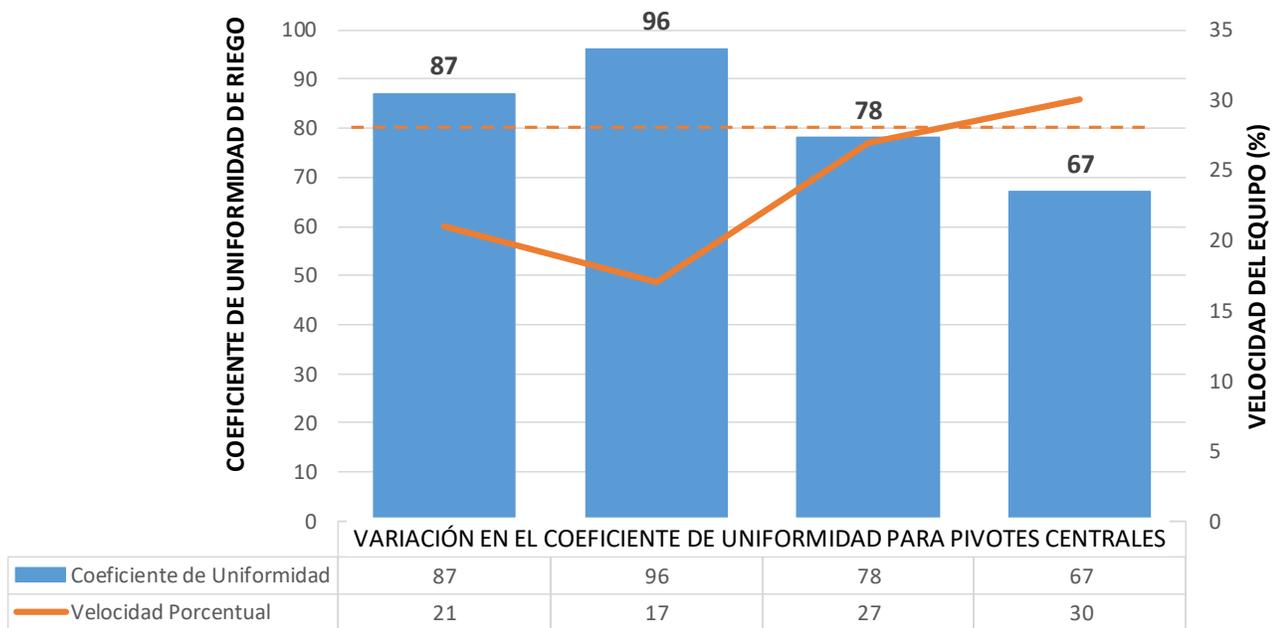


FIGURA 16. VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO RELACIONADA A LA VELOCIDAD EN QUE OPERAN LOS EQUIPOS DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL

G. Presión a la que se operan los aspersores en el sistema de riego por aspersión

Y aunque muchos son los autores que concuerdan en que la velocidad del viento es el parámetro que posee mayor efecto en la distribución uniforme del riego (Tarjuelo 1999 y Sanchez 2010) la variación de este factor depende estrechamente con el diseño del sistema de riego, como lo es la presión de operación de los aspersores (figura 17), así como su separación, el tamaño de boquilla y el tipo de aspersor que esté siendo utilizado (Keller y Bliesner, 1990).

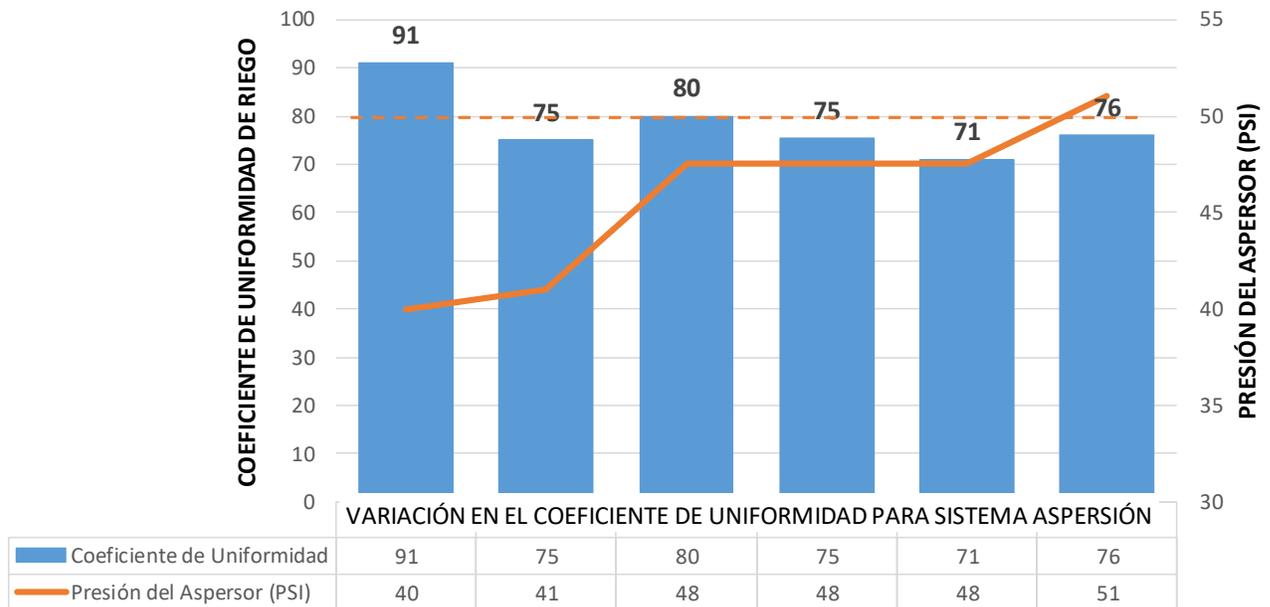


FIGURA 17. VARIACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO RESPECTO A LA PRESIÓN DE OPERACIÓN DEL ASPERSOR EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Por último, es importante resaltar la importancia de la presión de operación de los aspersores durante el riego, jugando un papel por demás importante en el momento de la pulverización de las gotas de agua, a mayor presión existe una mayor pulverización de gotas pero esto vuelve más susceptible a que las mismas sean llevadas por pequeñas ráfagas de viento existentes en el momento, en contraparte una baja presión en los aspersores

disminuye la eficiencia de pulverización de la gota, haciendo que la misma sea más pesada y por consiguiente no cubra el diámetro de mojado descrito en las características técnicas del aspersor, además el sistema no tiene los suficientes recursos para realizar la demanda de caudal óptima para estos aspersores.

i. Árbol de problemas

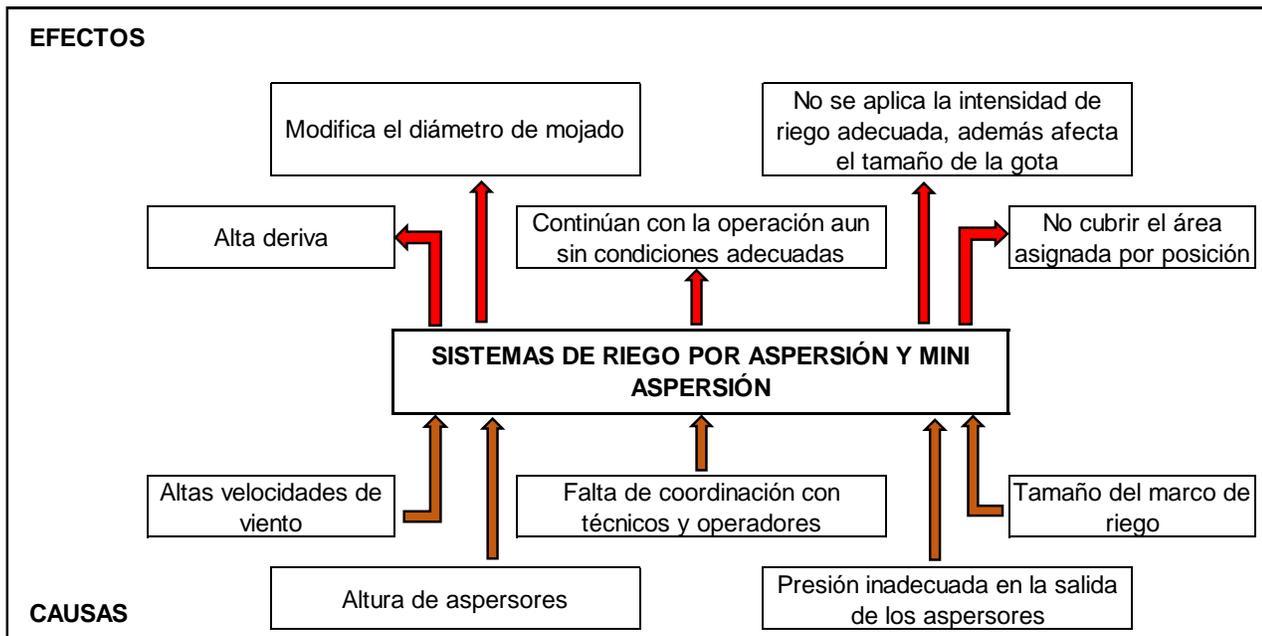


FIGURA 18. ÁRBOL DE PROBLEMAS EN EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN Y MINI ASPERSIÓN

Análisis (Causa-efecto)

Los principios de operación en lo que respecta a los sistemas de riego de aspersión y mini aspersión son muy similares, incluso los factores que afectan la uniformidad de aplicación del riego.

Durante la aplicación de riego en el ingenio se posee la idea equivocada de no dejar de regar, aunque las ráfagas de viento se den de manera abrupta, sin tener en cuenta la poca eficiencia de aplicación de la lámina de agua posea en ese momento; a una mayor altura los aspersores, además de un nivel alto de pulverización de las gotas de agua por parte de los aspersores son factores directamente relacionado con un coeficiente de uniformidad bajo durante ese riego.

Se tiene un proyecto de estandarización y establecimiento de parámetros operativos de riego en el que se dé la instrucción a las personas responsables del riego en cada una de las regiones del área productiva del ingenio, no solo las herramientas para medir la velocidad a la que se encuentra el viento sino también suspender la operación del riego hasta que las condiciones de este factor mejoren.

Por otra parte, existen algunos factores relacionados con el incumplimiento del área de riego por posición; como lo es la baja presión de salida en el aspersor, ya que las gotas no son pulverizadas lo suficiente y el peso de las mismas hacen que el aspersor no cumpla con el diámetro de mojado óptimo que posee según sus características, la altura a la que se encuentran los aspersores también son parte de este problema.

Por último, el marco de riego es la distancia existente entre laterales y entre aspersores, la cual puede ser medida tanto por el número de tubos instalados como por la longitud que exista entre los parámetros antes mencionados, a mayor separación de tubería existente se aumenta el área de riego para cada uno de los aspersores instalados, además de afectar directamente la intensidad de riego aplicada por el sistema en este caso.

Al implementar marcos de riego mayores la distribución de aspersores se vuelve inestable, dejando incluso muchos más diamantes debido a que las características operativas del aspersor no se adaptan a las condiciones instaladas, debido a que el diámetro de mojado del mismo no sea tan distante, además de ello el porcentaje de traslape se ve afectado drásticamente por lo que la calidad técnica de riego se ve disminuida.

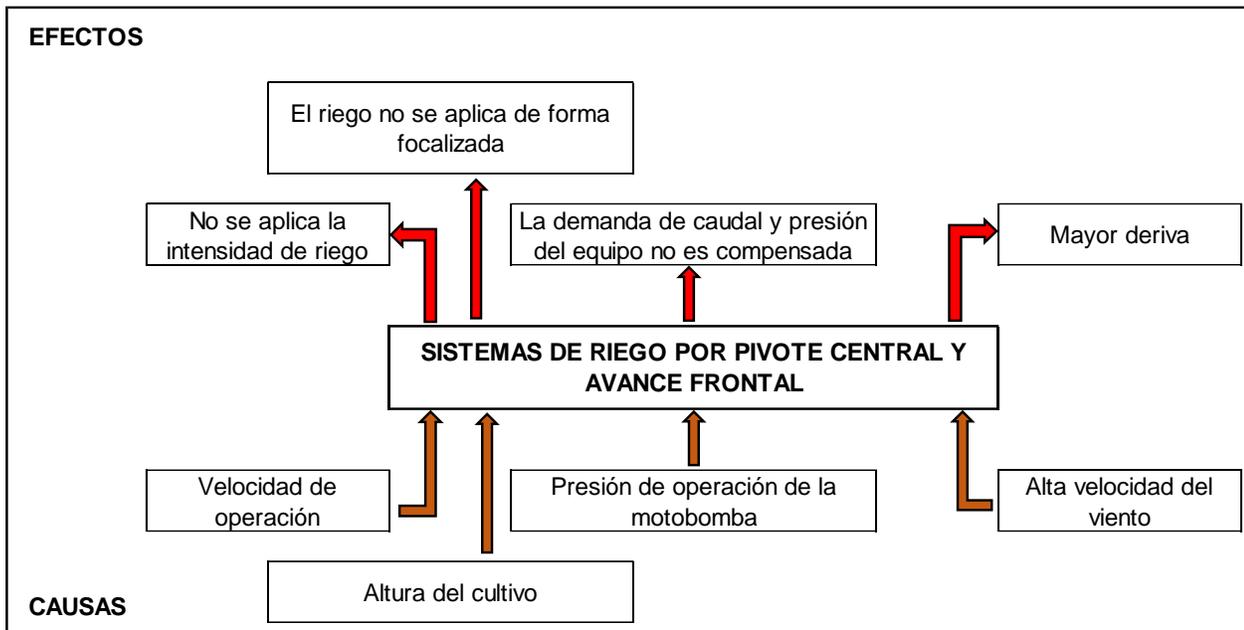


FIGURA 19. ÁRBOL DE PROBLEMAS EN LOS SISTEMAS DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL Y AVANCE FRONTAL

Análisis (Causa-efecto)

La supervisión y control de la presión, así como la velocidad a la que se encuentran operando los equipos en los sistemas de riego por avance frontal y pivote central, es una labor que no se realiza con frecuencia, recordando que este parámetro está estrechamente relacionado con la demanda de caudal por parte del sistema, aplicando intensidades de riego superiores o inferiores según el sistema de riego establecido.

Por otra parte, gran parte del problema se da en la pulverización de la gota, volviéndose más susceptible a la deriva al existir una mayor pulverización causa de las altas presiones de operación, o bien la poca pulverización de las gotas que impida que el aspersor cumpla con el diámetro de mojado establecido en las características técnicas establecidas por el fabricante, por otra parte la presión es importante para mantener el sistema con una

demanda de caudal estable y acorde a la intensidad de riego que necesita el cultivo según la etapa fenológica en la que se encuentra.

Además de ello, la altura a la que se encuentra el cultivo obliga a modificar la altura a la que se encontrarán los emisores en estos equipos de riego mecanizado, siendo más susceptibles no solo a mayores derivas consecuencia de altas velocidades del viento, sino también a una aplicación variable en áreas en donde el área foliar del cultivo cubra por completo el área de aplicación de riego.

ii. Matriz de priorización de problemas

De acuerdo con los problemas establecidos durante el diagnóstico de la calidad técnica de riego, haciendo énfasis específicamente en el coeficiente de uniformidad de riego se establecieron las principales causas que afectan la correcta aplicación del riego en las áreas productivas del ingenio Santa Ana, las cuales se detallan en el cuadro 2.

CUADRO 2. MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS

No.	Problema	Aspersión (1 a 10)	Mini aspersión (1 a 10)	Pivote central (1 a 10)	Avance frontal (1 a 10)	Nivel de prioridad
1	Altas velocidades del viento	8	6	6	6	26
2	Altura de los aspersores	6	4	5	5	20
3	Presión inadecuada en la salida de los emisores	7	7	3	3	20
4	Presión de operación de la motobomba	5	5	4	4	18
5	Tamaño del marco de riego	8	8	1	1	18
6	Velocidad de operación del equipo	1	1	8	8	18
7	Altura del cultivo	4	4	4	4	16
8	Falta de coordinación con técnicos y operadores	4	4	4	4	16

1.5 CONCLUSIONES

1. Para el periodo de operación de riego en la zafra 2018-19, se aplicaba el sistema de riego por aspersión en 16,017 ha correspondiente al 61.7 % del área productiva total del ingenio, en 2,787 ha es aplicado el riego utilizando el sistema de riego por mini aspersión, los equipos de riego por avance frontal son aplicados en 2,547 ha mientras que con el sistema de pivote central se riegan 1,638 ha siendo el 9.8 % y 6.3% del total de área productiva respectivamente, 2,568 ha son regadas por gravedad (9.9 %), en 337 ha se aplica el sistema de riego por aspersión_gravedad y únicamente el 0.3 % del área productiva total no se riega (65 ha).
2. El coeficiente de uniformidad mayor (83 %) se presentó en el sistema de riego por avance frontal, encontrándose dentro de los rangos muy buenos de operación, por otra parte, el sistema de riego por aspersión presentó un 77 % de uniformidad de riego, 78 % corresponde al sistema de riego por mini aspersión y por último el sistema de pivote central corresponde a la uniformidad de riego más baja con un 76 %, valores encontrados dentro de los parámetros aceptables establecidos para la evaluación de la calidad técnica de riego.
3. Se determinó que los principales factores que afectan el coeficiente de uniformidad para los sistemas de aspersión y mini aspersión corresponden al marco de riego, la presión de operación, así como la velocidad del viento. En cuanto a los sistemas de riego por avance frontal y pivote central se determinó que las altas velocidades del viento y la velocidad porcentual del recorrido que realizan estos equipos mecanizados son los factores que disminuyen significativamente la uniformidad de riego.

1.6 BIBLIOGRAFÍA

1. Burt, CM; Clemmens, AJ; Strelkoff, TS; Solomon, KH; Bliesner, RD; Hardy, LA, Howell, TA & Eisenhauer, DE. (1997). Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 123(6), 423-442.
2. Christiansen, JE. (1942). *Irrigation by sprinkling*. California, USA, University of California, California Agricultural Experimental Station Bulletin 670.
3. Keller, J., & Bliesner, RD. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. New York, USA, AVI Book, Van Nostrand Reinhold.
4. Mérida, H. M. 2017. *Trabajo de graduación: Análisis de la eficiencia de distribución de agua del sistema de riego por aspersión de la aldea Quillinco, Chiantla, Huehuetenango*. (Tesis MSc.). Universidad Rafael Landivar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas: Guatemala. 172 p.
5. Montero, J. (2000). *Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario*. La Mancha, España: Universidad de Castilla. 35 p.
6. Paz Fong, P. D. 2010. *Trabajo de graduación: 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*. (Tesis Ing. Agr.). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala. 139 p.

7. Quiñonez, M. E. (s.f.). *Trabajo de graduación: Evaluación semi comercial del efecto de dos programaciones de riego por aspersión tipo cañón, sobre el rendimiento de la caña de azúcar (Saccharum spp.) en plantía, en tres localidades; Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala, C.A.* (Informe de tesis Ing. Agr.). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala. 216 p. (Sin publicar).
8. Sánchez, I., Zapata, N., & Faci, J. M. (2010). Combined effect of technical, meteorological and agronomical factors on solid-set sprinkler irrigation. II. Modifications of the wind velocity and of the water interception plane by the crop canopy. *Agric. Water Manage* 97(10), 1591–1601.
9. Tarjuelo, J. M., Montero, J., Carrión, P. A., Honrubia, F. T., & Calvo, M. A. (1999). Irrigation uniformity with medium size sprinklers Part II: influence of wind and other factors on water distribution. *T ASAE*, 42(3), 677–689.
10. Universidad de Sevilla, España. (2007). *Open course ware Universidad de Sevilla*. Obtenido de Universidad de Sevilla, Open Course Ware: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-yriegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20aspersion/page_18.htm

1.7 ANEXOS



**FIGURA 20A. PRUEBA DE UNIFORMIDAD REALIZADA EN EL SISTEMA DE RIEGO
POR AVANCE FRONTAL**



FIGURA 21A. PRUEBA DE UNIFORMIDAD REALIZADA EN SISTEMA DE RIEGO POR MINI ASPERSIÓN



FIGURA 22A. RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBA DE UNIFORMIDAD REALIZADA EN PIVOTE CENTRAL

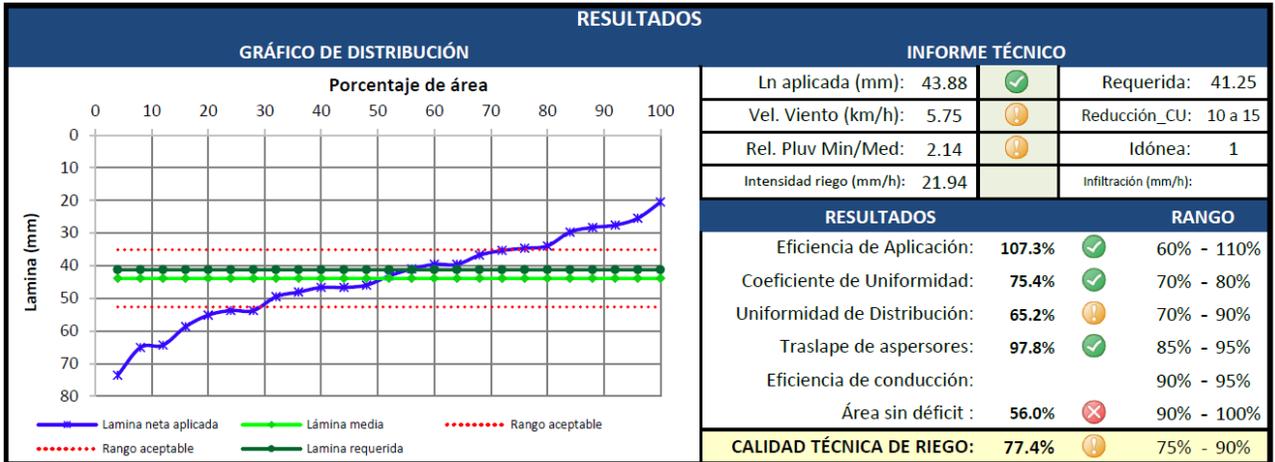


FIGURA 23A. PRUEBA DE UNIFORMIDAD REALIZADA EN EL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN CAÑÓN

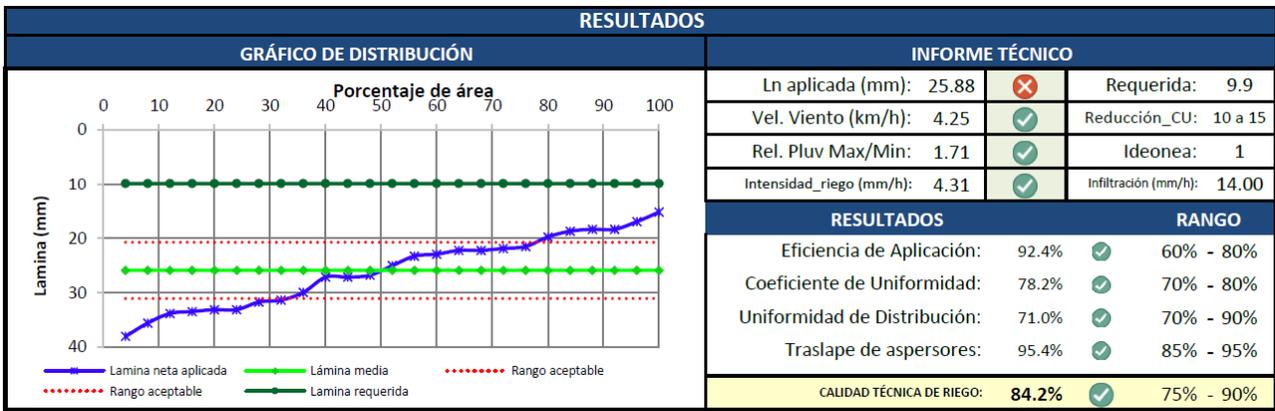
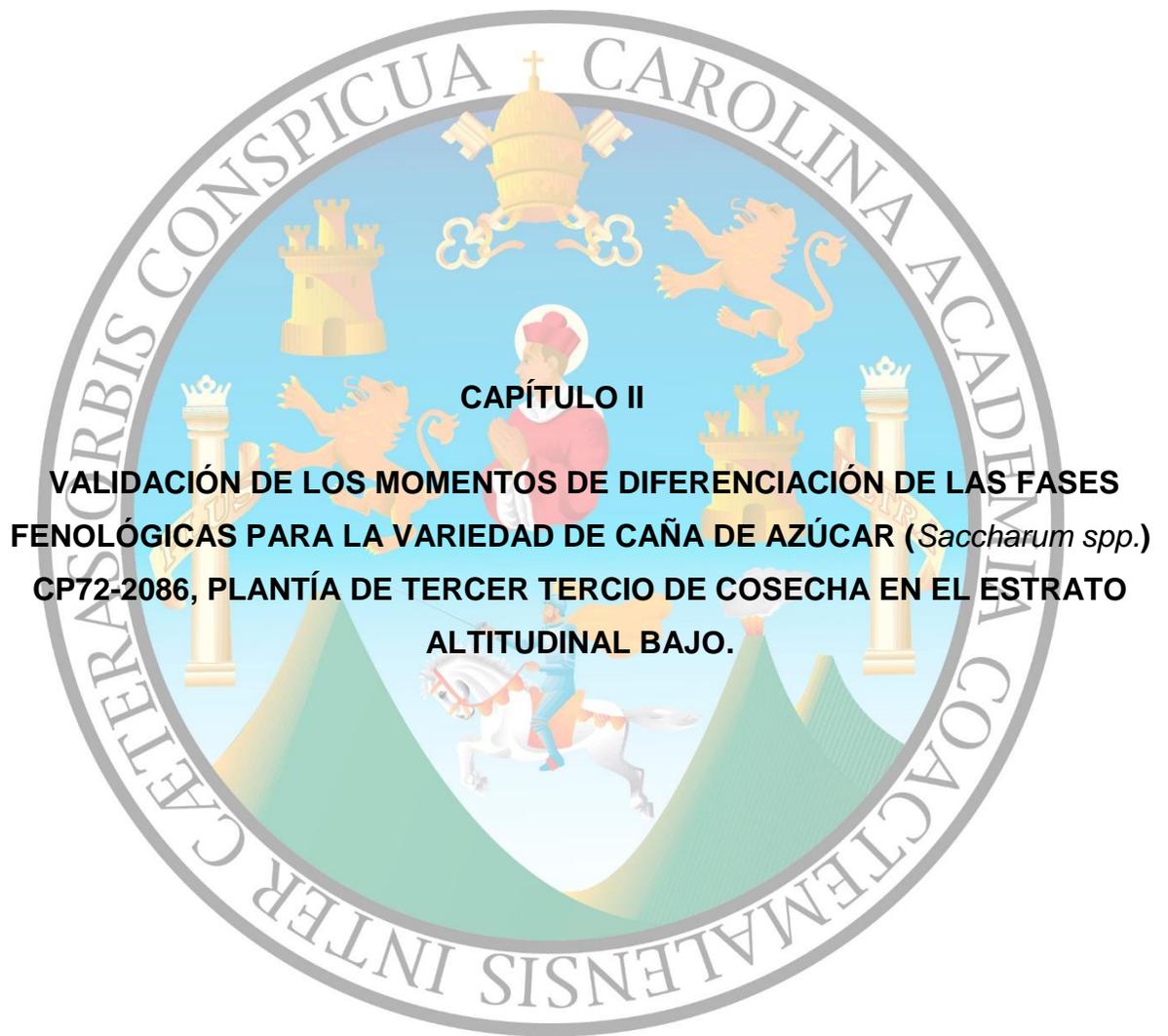


FIGURA 24A. PRUEBA DE UNIFORMIDAD REALIZADA EN SISTEMA DE RIEGO POR MINI ASPERSIÓN



CAPÍTULO II

VALIDACIÓN DE LOS MOMENTOS DE DIFERENCIACIÓN DE LAS FASES FENOLÓGICAS PARA LA VARIEDAD DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) CP72-2086, PLANTÍA DE TERCER TERCIO DE COSECHA EN EL ESTRATO ALTITUDINAL BAJO.

2.1 PRESENTACIÓN

El Grupo Corporativo Santa Ana es uno de los ingenios sobresalientes dentro de la agroindustria azucarera en Guatemala. Para la zafra 2018-19 el ingenio tuvo un área productiva de 25,960 ha, de ellas el 42 % poseen la variedad CP72-2086 considerándose a ésta como la variedad más importante en el ingenio, razón por lo cual se realizan diversas investigaciones para proponer mejoras en cuanto al manejo de la variedad, siendo este el punto de partida para la realización de este estudio.

Hasta el momento únicamente el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña (CENGICAÑA) había realizado investigaciones sobre el desarrollo fenológico de la caña, por otra parte al ser esta variedad la de mayor importancia dentro de las áreas de producción del ingenio, resulta imposible tener un control del estado fenológico exacto ya que el trabajo realizado por CENGICAÑA se centró en la variedad CP72-2086, estrato altitudinal alto y primer tercio de cosecha, todo lo anterior para lograr aplicar una lámina de riego adecuada en base al requerimiento de la fase fenológica en que se encuentre. En la actualidad se aplican laminas que se han dado de forma histórica o bien mediante investigaciones realizadas en forma general por CENGICAÑA.

La caña de azúcar posee un ciclo fenológico con una duración cercana a los 360 días, que en promedio es el tiempo comprendido por este cultivo para ser cosechado, independientemente del estrato altitudinal, las condiciones edafoclimáticas y tercio de cosecha a la que ésta corresponda, para la caña de azúcar se presentan cuatro etapas fenológicas identificadas como: iniciación, macollamiento, elongación (I y II) y por último la etapa de maduración. Para cada una de las etapas es de suma importancia brindar al cultivo los requerimientos necesarios en lo que respecta a nutrición y riego para obtener óptimos rendimientos.

Por otra parte, el ingenio Santa Ana, posee áreas de producción situadas en tres de los cuatro estratos altitudinales de la zona cañera de Guatemala, los cuales provocan variaciones en cuanto a la duración de cada etapa fenológica, presentando cada uno de ellos diferencias importantes en cuanto a condiciones climáticas y de suelo y por consiguiente variabilidad en el ciclo fenológico y requerimientos del cultivo.

A lo largo del tiempo se han realizado aplicaciones de láminas de riego en el cultivo de caña de azúcar mediante el conocimiento histórico que se posee, es decir sin criterios técnicos. Esto debido al desconocimiento de las características y duración de los distintos estados fenológicos, siendo indispensable estas características para diseñar técnicamente y planificar láminas de riego variables según los distintos requerimientos de agua de cada etapa.

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de determinar la duración de las distintas etapas fenológicas para el cultivo de caña de azúcar de la variedad CP72-2086, plantía de tercer tercio de cosecha, bajo las condiciones presentes en el estrato altitudinal bajo. Las variables de respuesta que se midieron durante el ensayo fueron; la densidad poblacional por metro lineal y la altura de los tallos analizados durante el transcurso de la misma, determinando mediante estas el comportamiento de la tasa de crecimiento en el cultivo y además se llevó un control de las condiciones climáticas que prevalecieron.

Una vez realizados los análisis correspondientes se determinó que la duración de la etapa fenológica de iniciación fue de 40 días, 56 días para la etapa de macollamiento, la etapa de elongación dividida en sus dos fases presenta una duración de 222 días, comprendidos en 87 días que dura la elongación I y 135 días que fue la duración de la elongación II, finalizando con 42 días que correspondieron a la etapa de maduración.

Al comparar ambos ensayos en lo que respecta a las etapas de iniciación, elongación I y maduración no se presentó diferencia significativa.

La diferencia en cuanto a la duración de las etapas fenológicas determinadas durante la presente investigación con respecto a la investigación realizada por CENGICAÑA en el año 1,997, se presentaron en las etapas de macollamiento y elongación II, existiendo 34 días de diferencia en lo que respecta a la etapa de macollamiento y 70 días más correspondieron a la etapa de elongación II. Teniendo en cuenta las condiciones en que se realizaron ambas evaluaciones, se diferencian en cuanto al tercio de cosecha y estrato altitudinal.

En cuanto al análisis de las variables climáticas, durante el periodo en que se realizó este ensayo, se presentaron favorablemente para obtener un alto potencial de la caña de azúcar de tercer tercio, en promedio se presentó una temperatura superior a los 30 °C en un 60 % de horas luz, además una precipitación acumulada de 2,700 mm.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Caña de azúcar

“La caña de azúcar es una gramínea tropical, cuyo tallo acumula un jugo rico en sacarosa compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio se forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña con la energía tomada del sol durante la fotosíntesis, constituye el cultivo de mayor importancia desde el punto de vista de la producción azucarera, además representa una actividad productiva y posee varios subproductos, entre ellos la producción de energía eléctrica derivada de la combustión del bagazo, alcohol de diferentes grados como carburante o farmacéutico” (Pinto 2011).

2.2.2 Importancia de la caña de azúcar

En la actualidad el cultivo de la caña de azúcar es de suma importancia para la agroindustria nacional, esta actividad representa el segundo lugar en exportaciones y generación de divisas para Guatemala, durante los últimos años ha aumentado las áreas de producción de caña de azúcar en la zona sur del país, convirtiéndose de esta forma la caña de azúcar como uno de los monocultivos de mayor escala a nivel nacional (SIB 2016).

El cultivo de la caña de azúcar es muy importante en la economía local debido a que genera gran cantidad de empleos, tanto directos como indirectos durante la temporada de zafra, necesitando mucho de recurso humano en las actividades realizadas durante ese tiempo y de esta forma beneficia a la población de la región (Pec 2015).

Durante el año 2015, fue el segundo producto que más divisas generó al país por el concepto de exportaciones, solo por debajo de la industria textil. Además, estas exportaciones, que representaron el 7.9 % de las divisas que las exportaciones generaron y el 13.0 % de las exportaciones de la industria manufacturera (SIB 2016).

2.2.3 Fenología

Se denomina a la fenología como la ciencia que estudia las fases del ciclo vital de los seres vivos y como las variaciones estacionales o de climas pueden afectar la duración de cada una de estas fases (Castro 2014).

Su estudio se basa principalmente en la observación periódica del entorno y de sus especies, además de distintas variables que se ven modificadas durante la duración de la misma como lo puede ser la altura, población, grosor de tallos, etc. haciendo énfasis específicamente en el cultivo de caña de azúcar (CENGICAÑA 2014).

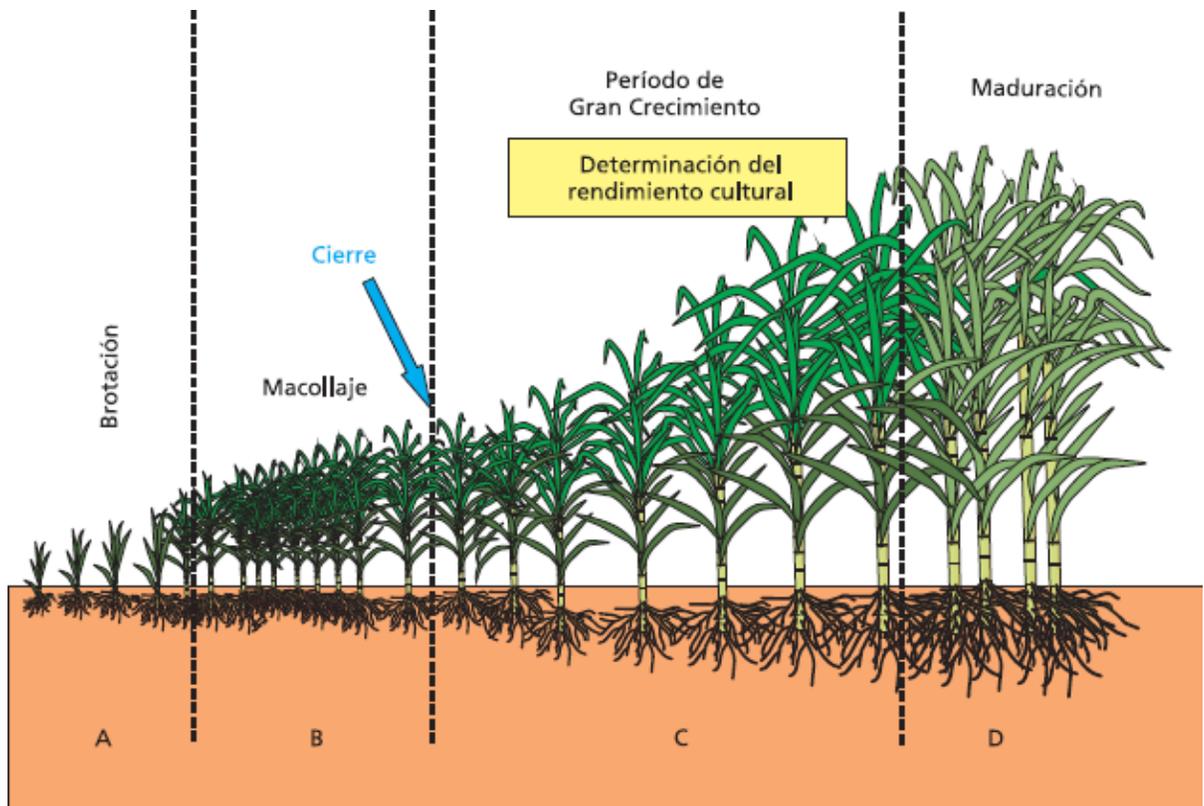
2.2.4 Etapas fenológicas

1. Etapa de Iniciación o crecimiento: Da comienzo desde el momento de la siembra hasta el momento en que las macollas inician la generación de una mayor cantidad de tallos (Castro 2014).
2. Etapa de Macollamiento: Da inicio en el momento en que la macolla genera una mayor cantidad de tallos y finaliza al iniciar un crecimiento drástico en cada uno de los tallos (Castro 2014). Sin embargo, hay que resaltar que cuando la biomasa aumenta en el cultivo hay poca luz en la parte basal de la planta y como consecuencia el macollamiento es mínimo y muchos de los tallos antes formados mueren. A partir del quinto mes el número de tallos se comienza a estabilizar (SAGARPA et al 2015).
3. Etapa de Elongación I: En esta etapa se marca un crecimiento intenso en el tamaño de los tallos y además mantiene una alta tasa de crecimiento, además de ello la densidad poblacional se ve disminuida hasta en un 50 % (CENGICAÑA 2014).

4. Etapa de Elongación II: De igual forma que en la etapa mencionada anteriormente se da un crecimiento bien marcado en la altura de los tallos, pero se ve disminuida la tasa de crecimiento en comparación a la elongación I, además de que se logra observar una estandarización en cuanto a la tasa de crecimiento (Castro 2014).

Durante la etapa de elongación II se define la producción de caña ya que ella determina la población final de tallos a moler, así como el peso para cada uno de estos tallos. Además, en esta etapa se inicia el almacenamiento de azúcar en los entrenudos por lo cual en esta fase el cultivo expresa la máxima respuesta a los factores ambientales y de manejo. (SAGARPA et al, 2012).

5. Etapa de Maduración: Ocurre la síntesis de azúcar, con una rápida acumulación de azúcar y el crecimiento vegetativo se ve disminuido radicalmente (CENGICAÑA 2014). Estas etapas fenológicas, se ilustran en la figura 25.



Fuente: CENGICAÑA 2014

FIGURA 25. FASES FENOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

2.2.5 Plantía

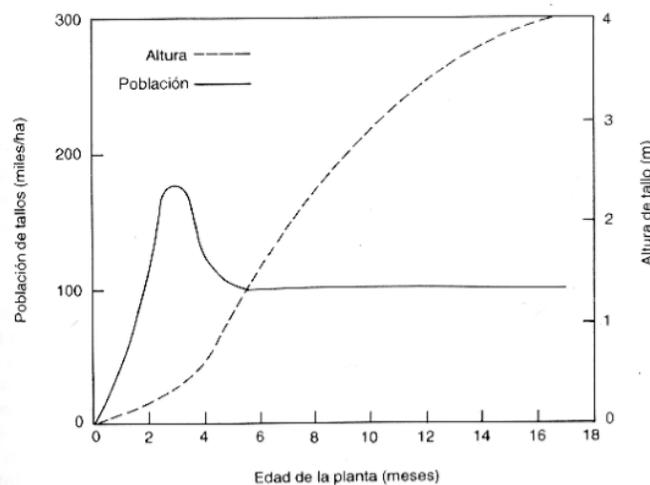
Hace referencia a las plantas de algún cultivo que han sido sembradas en la presente época, es decir que no se tenga corte alguno haciendo énfasis precisamente en el cultivo de caña de azúcar. Se reconoce como tal a los pantes renovados recientemente y los cuales no han estado sometidos a ningún proceso de zafra (Lemus 2012).

2.2.6 Densidad poblacional

Consiste en la cantidad de individuos presentes o que ocupan un espacio determinado; en el caso de esta investigación se determina como densidad poblacional al número de individuos o tallos de caña encontrados por un metro lineal (Lemus 2012).

2.2.7 Altura de planta

Es necesario en una investigación marcar parámetros específicos en cuanto a la determinación de los puntos en que se realizará la medición para que no exista variación significativa entre los datos tomados en los distintos muestreos, en lo que respecta al cultivo de caña de azúcar se determinan como parámetros de la medición de altura (figura 26), realizar la misma desde la base de la planta hasta en donde se encuentra la primera lígula visible de la misma (Rivera 2014).



Fuente: Amaya et al 2015.

FIGURA 26. CAMBIOS CON LA EDAD EN LA POBLACIÓN Y EN LA ALTURA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

2.2.8 Tasa de crecimiento

En el cultivo de caña de azúcar la tasa de crecimiento se mide en término de la altura que crece el cultivo con respecto al tiempo, como se sabe el tallo es la parte de la planta con mayor importancia económica y que con frecuencia se utiliza la tasa de elongación de este para determinar el crecimiento. Durante los 3 primeros meses de cultivo el alargamiento de los tallos es mínimo, sin embargo, el macollamiento de estos se da de manera drástica, por otra parte, entre el cuarto o quinto mes con las condiciones adecuadas para el cultivo el crecimiento puede llegar a ser hasta de 2.3 cm/día (Amaya et al 2015).

2.2.9 Estratos altitudinales

A. Estrato Litoral

Según CENGICAÑA, en la actualidad se toma al estrato litoral como todas aquellas áreas de producción de la franja cañera que se encuentran en altitudes que van desde los 0 msnm hasta los 40 msnm (Castro 2014).

B. Estrato Bajo

De igual forma se indica que el estrato bajo presenta áreas de entre 40 msnm hasta los 100 msnm.

C. Estrato Medio

El mismo autor indica que la altitud del estrato medio se presenta de los 100 msnm hasta los 300 msnm representando cada uno de estos estratos diferencias significativas en cuanto a las condiciones climáticas, edáficas, entre otras (Castro 2014).

D. Estrato alto

El mismo se comprende en las áreas productivas de caña de azúcar que se encuentran por encima de los 300 msnm (Castro 2014).

2.2.10 Estrés hídrico en caña de azúcar

El efecto de la deficiencia de aplicación del recurso hídrico en el cultivo de caña de azúcar se presenta generalmente como un amarillamiento marcado drásticamente en toda el área en que se ve afectado, otro de los síntomas de esta deficiencia se da en la corta distancia que existe en los entrenudos consecuencia de los momentos en que se ha visto afectado la

aplicación óptima de agua, recordando que cada semana se genera un nuevo entrenado (Santos 2014).

2.2.11 Coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha, está normalmente diferenciado en 4 fases; inicial, desarrollo, media y estado de maduración (Santos 2014).

2.2.12 Evapotranspiración (ETo)

La evapotranspiración es el transporte y evaporación del agua desde el suelo a la atmósfera, a través del tejido de las plantas. Un cultivo en general pierde agua por los estomas. El agua y los nutrientes se absorben por la raíz, pero gran parte del agua absorbida se pierde por la transpiración y solo una pequeña parte se queda en los tejidos vegetales (Santos 2014).

2.2.13 El agua en el suelo

La humedad en el suelo se ve modificada a partir del comportamiento de la precipitación pluvial o bien la aplicación de riego con los distintos sistemas que existen en la actualidad, uno de los aportes de mayor importancia pero que generalmente no existen las condiciones para evaluarse o bien no se le ha dado la importancia que esto conlleva, incluso dentro de la agroindustria cañera se da en el aporte de agua por capilaridad.

2.2.14 Capilaridad en el suelo

El aporte capilar es la cualidad que sucede cuando las fuerzas intermoleculares adhesivas entre un líquido y un sólido son mayores que las fuerzas intermoleculares cohesivas del líquido, en el caso del suelo el movimiento capilar se puede dar de forma horizontal o vertical. La adsorción entre las partículas activas del suelo y agua, además de las fuerzas

osmóticas influyen la adherencia y la tensión superficial por la cual las moléculas de la superficie soportan la misma fuerza de tensión (Illescas 2014).

En lo que respecta a los suelos arenosos, son calificados como carentes de estructura o se dice que tienen una estructura granular suelta, porque pocas partículas se adhieren mutuamente en condiciones naturales cuando los mismos están húmedos; las propiedades de estos entonces son semejantes a los suelos de fina textura (Castro 2014).

2.3.2 Extensión

Para el año 2018, el Grupo Corporativo Santa Ana cuenta con 25,960 ha de caña de azúcar en producción, las cuales están divididas en 7 regiones. Con el área que cuenta actualmente el ingenio el tiempo de duración de la zafra es de noviembre a abril, en lo que respecta a la región VI posee 3,515.57 ha del total de esta área productiva, representando un 13.32 % de la misma. En cuanto a la finca Agropecuaria Centroamericana respecta, posee 199.64 ha de producción total.

2.3.3 Aspectos climáticos

En el área de la finca Agropecuaria Centroamericana predomina un clima cálido, el cual posee una temperatura promedio de entre 27 °C y 28 °C, además en los últimos años se han presentado precipitaciones anuales de 2220 mm en promedio, resaltando la época lluviosa que va de mayo a noviembre determinados mediante datos históricos de las estaciones meteorológicas del ingenio (Pec 2015).

Para el ciclo del cultivo, en el cual se desarrolló la validación de la duración de las etapas fenológicas se presentó una precipitación de 2710 mm, determinados a través del pluviómetro establecido en la finca y en el cual se genera un control más preciso por parte del departamento de ingeniería agrícola. Recordando de igual forma que este ciclo fue uno de los más lluviosos de los últimos años y que además se observó una muy marcada canícula entre los meses de julio y agosto.



FIGURA 28. PLUVIÓMETRO INSTALADO EN LA FINCA AGROPECUARIA CENTROAMERICANA

La precipitación registrada por estos pluviómetros es cargada a una base de datos manejada por personal capacitado del ingenio, para tener como referencia en situaciones de análisis de datos en los que se involucra la precipitación, la lámina precipitada es determinada mediante la relación del volumen recopilado por estos recipientes con respecto al área de captación que posee el pluviómetro (Pinto 2011).

2.3.4 Suelo

Como parte de la investigación se realizó un análisis de suelo en los lotes monitoreados, pudiendo determinar de ellos las propiedades físicas cada uno de estos a diferentes profundidades evaluadas como lo fueron de 0-20 cm de 20-40 cm y de 40-60 cm. Las muestras de suelo fueron analizadas en CENGICAÑA, pudiendo determinar de cada una de estas muestras las propiedades físicas de las mismas, así como el contenido o la composición del suelo en cuanto las partículas de arcilla, limo y arena (cuadro 3).

**CUADRO 3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS REALIZADO EN LOS
LOTES DE ESTABLECIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

Región (Finca)	Pante	Muestra	% Arcilla	% Limo	% Arena	Textura	Punto de Marchitez Permanente	Capacidad de Campo	Densidad Apartente
VI (1209)	922	0-20	13.93	28.68	57.40	Franco Arenoso	23.23	42.54	0.93
VI (1209)	922	20-40	17.79	32.62	49.59	Franco	20.85	35.11	0.89
VI (1209)	922	40-60	22.18	34.65	43.17	Franco	24.27	47.98	0.77
VI (1209)	923	0-20	11.75	35.00	53.25	Franco Arenoso	33.33	60.04	0.66
VI (1209)	923	20-40	11.89	37.61	50.50	Franco	35.13	57.90	0.71
VI (1209)	923	40-60	12.20	33.77	54.03	Franco Arenoso	40.75	60.42	0.66
VI (1209)	924	0-20	16.08	35.28	48.64	Franco	29.55	54.63	0.68
VI (1209)	924	20-40	9.67	32.92	57.42	Franco Arenoso	30.65	55.38	0.73
VI (1209)	924	40-60	11.97	35.44	52.59	Franco Arenoso	29.08	55.83	1.00

Fuente: CENGICAÑA 2018.

Pudiendo determinar que en los lotes 922 y 923 predomina la textura franco arenosa en la superficie, mientras que al profundizar más allá se encuentra una textura franca, por otra parte, caso contrario es lo que sucede con el lote 924, el cual posee una textura franca en la parte superficial y al profundizar más allá de los 20 cm se encontraban características de una textura franco arenosa esto determinado a través del triángulo textural.

2.3.5 Estrato altitudinal

Los pantes elegidos de la finca Agropecuaria Centroamericana en la cual se desarrollará la investigación se encuentran a 95 msnm el pante 922, a 94 msnm el pante 923 y a 95 msnm el pante 924; recordando que el estrato altitudinal bajo comprende áreas encontradas entre 40 y 100 msnm.

2.3.6 Variedad CP72-2086

Su nombre está formado por varias características como lo son

- ✓ CP Canal Point (Florida)
- ✓ 72, año de selección
- ✓ 2086 número correlativo de selección Progenitores
- ✓ CP 62-374 X CP63-588

Esta variedad posee un hábito de crecimiento en los tallos de forma semirrecta, su cantidad de follaje es intermedio además que el deshoje natural se da en niveles bajos; los entrenudos de la misma poseen manchas negras y generalmente son de un color verde amarillento, la forma de crecimiento es cilíndrico y se observa una ligera curva a un costado de las yemas. Posee un borde aserrado en su lamina foliar y además la lígula generalmente es deltoide con rombo (Comparini 2006).

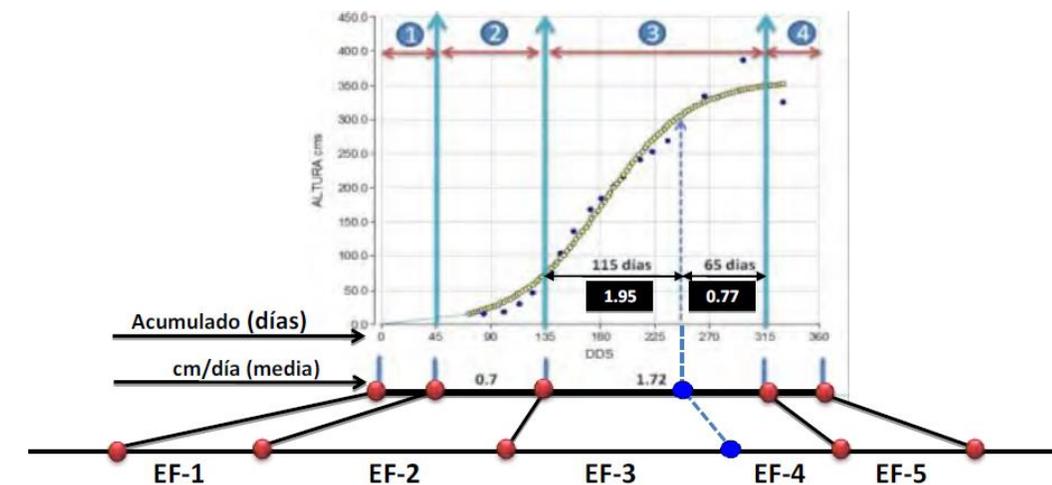
La germinación y macollamiento que posee esta variedad es muy bueno, además este último se da de manera temprana; posee buen desarrollo al sembrarse en la época adecuada al mismo y además que se encuentre en suelos húmedos y bajo riego, con altitudes de 0 a 220 msnm se adapta de buena forma a suelos francos, franco-limosos, franco arenoso y franco arcilloso profundos; la resistencia al acame es buena y su tenacidad es regular, la floración es abundante y aunque posee una coloración verde amarillenta en los primeras fases de desarrollo se puede observar una tonalidad color café (Comparini 2006).

La floración en la variedad CP72-2086 se define como una maduración temprana, siendo esta muy rendidora al inicio de la temporada de zafra, por lo cual es recomendable cortar en los meses de noviembre a mediados de enero. Debido a la floración esta variedad produce corcho y en condiciones fuertes del inicio de verano y el tiempo que se deje transcurrir puede llegar a deteriorarse los entrenudos superiores. Esta es una variedad de muy buen tonelaje y de alta producción de azúcar, logrando de esta forma la preferencia

comercial por parte de muchas entidades pertenecientes a la agroindustria a nivel nacional (Comparini 2006).

2.3.7 Estudios previos

Según el estudio realizado por CENGICAÑA (figura 29), se observa en el período de 135 a 250 días después de la siembra (EF-3), que los tallos alcanzan su máximo crecimiento (en promedio 1.95 cm/día) (Castro 2014). Dada esta característica se considera a esta etapa como crítica, en la cual no se debe permitir estrés. Otras de las etapas consideradas críticas es la etapa inicial (EF-1) debido a una condición de baja humedad en el suelo, la población por metro lineal se reduce significativamente.



Etapas fenológicas de la caña de azúcar y su duración			
NO.	ETAPA FENOLÓGICA	DURACIÓN (DÍAS)	ACUMULADO
1	INICIACIÓN (EF-1)	45	
2	MACOLLAMIENTO (EF-2)	90	135
3	A. ELONGACIÓN ETAPA I (EF-3)	115	250
	B. ELONGACIÓN ETAPA II (EF-4)	65	315
4	MADURACIÓN (EF-5)	45	360

Fuente: CENGICAÑA 2014

FIGURA 29. ETAPAS FENOLÓGICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR SEGÚN ESTUDIO PREVIO REALIZADO POR CENGICAÑA

La determinación de la duración de cada una de las fases fenológicas en este estudio se realizó por CENGICAÑA en 1997, en una de las parcelas experimentales que posee esta entidad resultados que representan la duración de estas fases en el estrato altitudinal alto, es decir superiores a los 300 msnm.

Pudiendo predecir que para las condiciones presentes en los otros estratos altitudinales la duración de las fases fenológicas será diferente. Por otra parte, CENGICAÑA determinó la duración de las etapas fenológicas con plantía de la variedad CP72-2086, siendo esta caña de 1/3 de cosecha.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo general

Validar los momentos de diferenciación de las distintas fases fenológicas en la variedad de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) CP72-2086 plantía en el estrato altitudinal bajo.

2.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la duración de cada una de las etapas fenológicas para la variedad CP72-2086, plantilla de tercer tercio de cosecha en el estrato bajo.
2. Validar cada una de las etapas fenológicas para esta variedad en relación a los resultados de la evaluación realizada por CENGICAÑA.
3. Relacionar las condiciones climáticas que prevalecen en el estrato bajo durante la investigación.

2.5 HIPÓTESIS

Al menos una de las etapas fenológicas en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) presentará diferencias significativas en cuanto a la duración respecto a los datos obtenidos en el estudio elaborado por CENGICAÑA en el año de 1,997, debido a la diferencia existente en cuanto al tercio de cosecha y al estrato altitudinal evaluado.

2.6 METODOLOGÍA

2.6.1 Caracterización y validación cada una de las etapas fenológicas de la variedad CP72-2086

A. Siembra

1. La preparación de suelo se realizó mediante tres labores mecanizadas como lo fueron, un volteo 6 días después del corte de la caña encontrada en ese pante, el paso de un subsolador 2 días después de realizado el volteo, nuevamente un volteo 8 días después de pasado el subsolador y por último la labor del surqueo 3 días después del volteo.
2. La siembra se realizó 3 días después del surqueo, el método de siembra utilizado fue de forma manual, en hileras simples y a un distanciamiento de 1.5 m entre surcos.
3. Fueron sembradas 20 yemas por metro lineal en estos pantes, poseyendo una distancia de estaquillado de 6 m presentando un 50 % de emergencia de yemas por metro lineal.
4. La semilla se obtuvo de la finca Albania Concepción, finca perteneciente a la región III del ingenio. Los paquetes presentaron un peso de 10 kg, es decir en cada uno de los paquetes se tuvieron 45 esquejes de 40 cm cada uno de ellos y un promedio de 125 yemas en cada uno de esos paquetes.

B. Mediciones en campo

1. Se determinó mediante las bases de datos manejadas dentro del Grupo Corporativo Santa Ana lotes sembrados en el 3/3 de la zafra 2017-18 con la variedad CP72-2086 en el estrato altitudinal bajo.
2. Una vez encontrados estos lotes se procedió a determinar tres lotes a monitorear, los cuales debieron presentar condiciones similares en cuanto a textura del suelo, sistema de riego, fecha de siembra, entre otras, determinando que los lotes 922, 923 y 924 de la finca cumplían con determinadas características (figura 30).



FIGURA 30. ESTABLECIMIENTO DE LAS PARCELAS DE INVESTIGACIÓN

3. Dentro de estos lotes se delimitaron cuatro parcelas de 10 m de largo por 7.5 m de ancho, es decir con un área de 75 m², obteniendo un total de doce parcelas.
4. Dentro de estas parcelas de 5 surcos, se despreciaron los dos surcos de los bordes, al interior de la parcela neta se delimitaron cinco sub parcelas de muestreo de 1 m línea (figura 31), obteniendo de ellas un total de 60 muestras; cada uno de estos metros lineales fue identificado con un código único correspondiente al número de pante en el que se encuentre, el número de parcela y el número de metro lineal determinado.

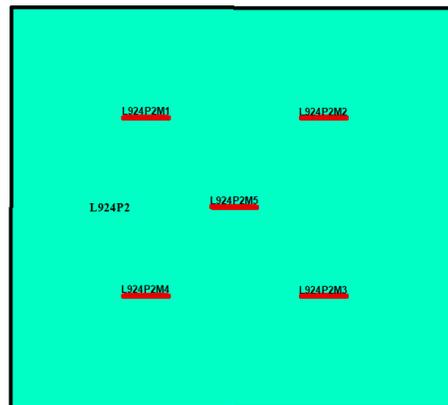


FIGURA 31. UBICACIÓN DE LOS METROS LINEALES EVALUADOS DENTRO DE CADA PARCELA DE INVESTIGACIÓN

5. A las sub parcelas de muestreo definidas se les realizó un monitoreo periódico de dos semanas en fechas generales y de una semana en las fechas correspondientes al cambio de etapa fenológica según la literatura.

6. En el monitoreo se tomó nota de la información referente distintas variables a evaluar:

- ✚ Edad del cultivo
- ✚ Tasa de crecimiento
- ✚ Duración en días de cada una de las etapas fenológicas

7. Para la toma de datos de esta última variable se tomó en cuenta desde el día en que se realizó la siembra hasta el cambio de cada una de las etapas fenológicas, marcada esta duración por el comportamiento gráfico de las siguientes variables.

- a. Densidad poblacional, es decir el número de tallos que se encontraban dentro del metro lineal antes delimitado, incluyendo únicamente los tallos primarios, se debe tener en cuenta que se descartaron los tallos muertos, mamones y los brotes voluntarios.
- b. Altura de planta, las plantas fueron identificadas para darle seguimiento a las mismas y la medición se realizó desde la superficie del suelo hasta el último cuello visible o también llamada última lígula visible, para ello se utilizó una cinta métrica y fue una labor constante para una persona específica, con el fin de evitar variaciones, durante esta medición fue de suma importancia respetar la forma que ha tomado el tallo de la caña para obtener un dato más preciso.
- c. Tasa de crecimiento, haciendo énfasis en la relación existente entre el crecimiento del cultivo con respecto al tiempo transcurrido fue de mucha importancia el determinar el crecimiento diario de la caña durante las mediciones realizadas; este dato se obtuvo utilizando la siguiente relación o determinación de la pendiente:

$$Tasa\ de\ Crecimiento = \frac{Altura\ promedio\ 2 - Altura\ promedio\ 1}{DDS\ 2 - DDS\ 1}$$

- d. Precipitación, se obtuvieron los datos del pluviómetro encontrado dentro de la finca, se tuvo un registro diario de la lluvia que se presentó dentro de la misma; realizando un análisis comparativo del comportamiento de esta variable en comparación con las variables respuesta obtenidas del muestreo en campo como la tasa de crecimiento.
- e. Porcentaje de radiación solar y temperatura media, de la estación meteorológica que posee influencia sobre la finca en la cual se establecen las parcelas de investigación, siendo esta la estación de Costa Brava se pudieron obtener distintas variables entre las que resaltan la radiación solar y temperatura para realizar nuevamente un análisis comparativo del comportamiento de las mismas con respecto a la tasa de crecimiento, es importante mencionar que de esta estación también se obtuvieron datos de precipitación (inciso d) para tener mayor precisión en los datos de referencia.

C. Pantes seleccionados para la realización del estudio

- ✚ Estrato Bajo
 - Región VI
 - Finca Agropecuaria Centro Americana
 - Pantes 922, 923 y 924.

D. Análisis de la información

Al ser una investigación de carácter cualitativo no se definió un modelo estadístico, las parcelas que se establecieron fue de forma aleatoria tratando de ser representativo de todo el pante, además de tener en cuenta la facilidad para ingresar al mismo debido a lo complicado de esta tarea al momento de crecer la caña.

Con los datos obtenidos se realizaron cálculos estadísticos básicos, utilizando el promedio de la altura de las plantas encontradas para realizar la gráfica del comportamiento de la tasa de crecimiento, misma que se obtiene al dividir el promedio antes mencionado con el número de días en que se realizó la medición.

Al igual en cuanto a la variable densidad poblacional, es decir número de tallos por metro lineal nuevamente al realizar un análisis mediante el comportamiento gráfico de esta variable, fue utilizado el promedio de la densidad para graficar cada uno de las parcelas, luego cada uno de los pantes y por consiguiente toda la investigación y de esta forma verificar la coherencia de los datos.

Fueron utilizados datos estadísticos como el promedio, esto para determinar un valor representativo por cada una de las parcelas establecidas o bien por un lote en específico o pudo ser de manera general en la investigación, la moda para determinar con qué frecuencia se repetían los valores, entre otros para tenerlos presente como de referencia, además de la desviación estándar para verificar que tan dispersos están los datos con respecto a la media.

En cuanto a las gráficas elaboradas se estableció en el eje X el número de días que han transcurrido desde la siembra y en el eje Y, las distintas variables a las que se les ha realizado la medición pertinente, es decir densidad poblacional y tasa de crecimiento, precipitación, radiación, etc.

Notando de esta forma el comportamiento que presentan estas gráficas y los cambios de fase fenológica que pueda definir los cambios visuales en el comportamiento de las mismas, marcando un cambio de etapa fenológica el aumento o reducción del factor tasa de crecimiento y realizándose una comparación con respecto al comportamiento de la variable población.

Cuando aumenta la población de forma drástica se determina la etapa fenológica de macollamiento, cuando la población empieza a disminuir y la tasa de crecimiento aumente entra en una etapa de elongación I, al estandarizarse la tasa de crecimiento y la población inicia la etapa de elongación II, por otro lado, al disminuir de manera contundente la tasa de crecimiento a menos de 1 cm/día el cultivo inicia la etapa de maduración.

2.6.2 Determinación de la duración de cada una de las etapas fenológicas para esta variedad en el estrato altitudinal bajo

Como bien se mencionó anteriormente se realizó un monitoreo periódico recopilando información referente a las distintas variables establecidas, en base a los datos obtenidos durante este monitoreo se delimitaron los días de duración de las etapas fenológicas, en relación al comportamiento de la gráfica generada a partir de los datos recopilados de estas variables.

1. Etapa de iniciación: Dio comienzo desde el momento de la siembra hasta el momento en que las macollas inician la generación de una mayor cantidad de tallos. (SAGARPA 2012)
2. Etapa de macollamiento: Dio inicio en el momento en que la macolla genera una mayor cantidad de tallos y finaliza al iniciar un crecimiento drástico en cada uno de los tallos. (Amaya et al 2015)

3. Etapa de elongación I: En esta etapa se marcó un crecimiento intenso en el tamaño de los tallos y además mantuvo una alta tasa de crecimiento, además de ello la densidad poblacional se vio disminuida hasta en un 50%. (SAGARPA 2012)
4. Etapa de elongación II: De igual forma que en la etapa mencionada anteriormente se dio un crecimiento bien marcado en la altura de los tallos, pero se ve disminuida la tasa de crecimiento en comparación a la elongación I tanto de forma gráfica como la tasa calculada mediante la fórmula, además de ello esta llega a estandarizarse. (SAGARPA 2012)
5. Etapa de maduración: Ocurre la síntesis de azúcar, con una rápida acumulación de azúcar y el crecimiento vegetativo se ve disminuido radicalmente (Amaya et al 2015).

2.6.3 Monitoreo de las condiciones climáticas que prevalecieron en el estrato bajo durante la investigación

1. Se mantuvo un control general y constante de las condiciones climáticas del área establecida utilizando para ello la estación meteorológica que está cercana a la finca.
2. Siendo extraídos de la misma datos como lo son la radiación solar, evapotranspiración, entre otras se crearon bases de datos para su posterior interpretación.
3. La precipitación se reportó diariamente en la finca ya que dentro de la misma se encuentra ubicado un pluviómetro, del cual se llevó un control bastante estricto.
4. De igual forma, se realizaron monitoreos constantes de la humedad del suelo mediante una sonda TDR-350 (figura 32).

A. Medición de humedad

1. Se realizaron entre 3 muestreos por parcela, una vez establecido los puntos de muestreo y la ruta a seguir, debió encenderse la sonda de humedad TDR-350 con el fin de que el GPS se conecte con la mayor cantidad de satélites posible y de esta forma las coordenadas de la medición sean más precisas.
2. Se procedió a ingresar a las parcelas para tomar las muestras convenientes.
3. Estando en el punto determinado, se verificó que la sonda estuviera conectada de forma correcta a un número aceptable de satélites, mediante la señal que se presentó en la pantalla y se procedió a tomar la muestra presionando la tecla "READ" ubicada en el panel de control, para ello se tuvo cuidado en realizar una sola medición en una fecha y hora específica, al momento de tomar el dato se completó una plantilla establecida que contenía la información del pante en el que se toma el dato, conteniendo dentro de la misma la finca, pante, división, hora y dato de humedad resultado en el punto que se realizó el muestreo.



FIGURA 32. SONDA DE HUMEDAD TDR-350

4. El programa fue capaz de generar un mapa en escala de colores en el enlace <http://192.168.45.46:8080/humedad/login.zul> dependiendo del estado de humedad en el que se encontró el lote monitoreado, estando categorizados en un color rojo como estado de humedad “Bajo”, color naranja significa “Medio”, verde es “Alto” y azul representa un estado de humedad “Óptimo”. El programa tiene la capacidad de categorizarlo debido a que cada pante se encuentra amarrado a los datos de características físicas del suelo, así como la etapa fenológica en que se encontraba la caña en ese lote.

5. Al observar ambos tipos de informes, el programa presentaba el dato del promedio de humedad de las muestras tomadas en ese lote, categorizándolo en un solo estado de humedad; además de ello presentó la lámina de agua que el lote necesita para

llegar a su punto óptimo, es decir capacidad de campo, la fecha del último muestreo, así como la etapa fenológica en que se encontraba la caña en el pante seleccionado.

B. Medición de aporte capilar

1. Se realizó la instalación de dos tubos piezómetros por cada pante en los que se encontraban establecidas las parcelas de investigación; estos tubos piezómetros estaban constituidos por un tubo PVC de 1" por 2 m de longitud, perforado helicoidalmente con un barreno eléctrico y una broca de 3/8".
2. El tubo perforado anteriormente se forró con geotextil para evitar el ingreso de partículas o sedimentos mediante las perforaciones realizadas y de esta forma ingresó únicamente el agua que se encontraba alrededor del tubo.
3. Una vez fabricados los piezómetros se procedió a determinar la ubicación en donde se realizó la instalación, ubicados en esta posición se realizó la perforación del agujero en el que se insertó el piezómetro, el mismo debió tener una profundidad de casi 2 m utilizando para ello un barreno de tipo Riverside.
4. Habiendo perforado las dimensiones adecuadas para la instalación del tubo, se procedió a insertar este dentro del agujero y se rellena los bordes externos al tubo con grava de canto rodado con el fin de lograr que el tubo quedara fijado dentro del agujero, además de funcionar como un tipo de filtro con los sedimentos.
5. Para el monitoreo del comportamiento del aporte capilar en estos pantes se realizó un muestreo periódico de dos semanas para ello se utiliza una sonda hidrosensible,

la cual brindaba la profundidad a la que se encontraba el agua con respecto a la superficie del suelo.

C. Balance Hídrico

Muestreo de suelos

1. Se identificó los puntos representativos del pante a muestrear, estableciendo dos puntos de muestreo en cada parcela, obteniendo un total de 8 puntos de muestreo o submuestras por cada uno de los pantes y un total de 24 submuestras en total por las parcelas de investigación.
2. Dentro de cada uno de los puntos de muestreo se procedió a tomar una submuestra de suelo a cada 20 cm de profundidad hasta profundizar a los 60 cm, utilizando para ello un barreno de suelo de tipo Riverside; habiendo extraído cada submuestra se deposita en una cubeta identificada con la profundidad a la cual fue tomada la muestra.
3. Obtenidas el número de submuestras predefinidas por cada uno de los pantes, se procedió a homogeneizar las mismas, conformando de esta forma una muestra por cada 20 cm de profundidad en cada uno de los pantes de las parcelas establecidas.
4. El análisis de suelo se realizó en los laboratorios de CENGICAÑA, de los cuales se determinó las características físicas de las 9 muestras.

2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta investigación se realizó con el fin de validar los momentos del cambio de etapa fenológica para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), se realizó el análisis de los datos obtenidos en cada una de las variables de estudio, llevándose a cabo en el estrato altitudinal bajo, teniendo en cuenta que los lotes evaluados pertenecieran al tercer tercio de cosecha, además de ser renovaciones es decir plantía, sembrados el día 04 de marzo del 2018. Los resultados se presentan a continuación en el cuadro 4.

CUADRO 4. FECHAS DE MUESTREO DURANTE LA INVESTIGACIÓN

DDS	Fecha	Etapa Fenologica
0	4/03/2018	Fecha de siembra
33	6/04/2018	Iniciación
40	13/04/2018	Macollamiento
47	20/04/2018	
53	26/04/2018	
68	11/05/2018	
85	28/05/2018	
96	8/06/2018	Elongación I
109	21/06/2018	
116	28/06/2018	
131	13/07/2018	
149	31/07/2018	
158	9/08/2018	
172	23/08/2018	
183	3/09/2018	Elongación II
200	20/09/2018	
214	4/10/2018	
228	18/10/2018	
243	2/11/2018	
250	9/11/2018	
263	22/11/2018	
276	5/12/2018	
292	21/12/2018	
318	16/01/2019	Maduración
332	30/01/2019	

2.7.1 Determinación de la duración de las etapas fenológicas

Al momento de realizar un análisis del comportamiento de las dos variables de mayor importancia medidas durante la investigación se observa la tendencia natural que posee el crecimiento de la caña de azúcar como se observa en la figura 33.

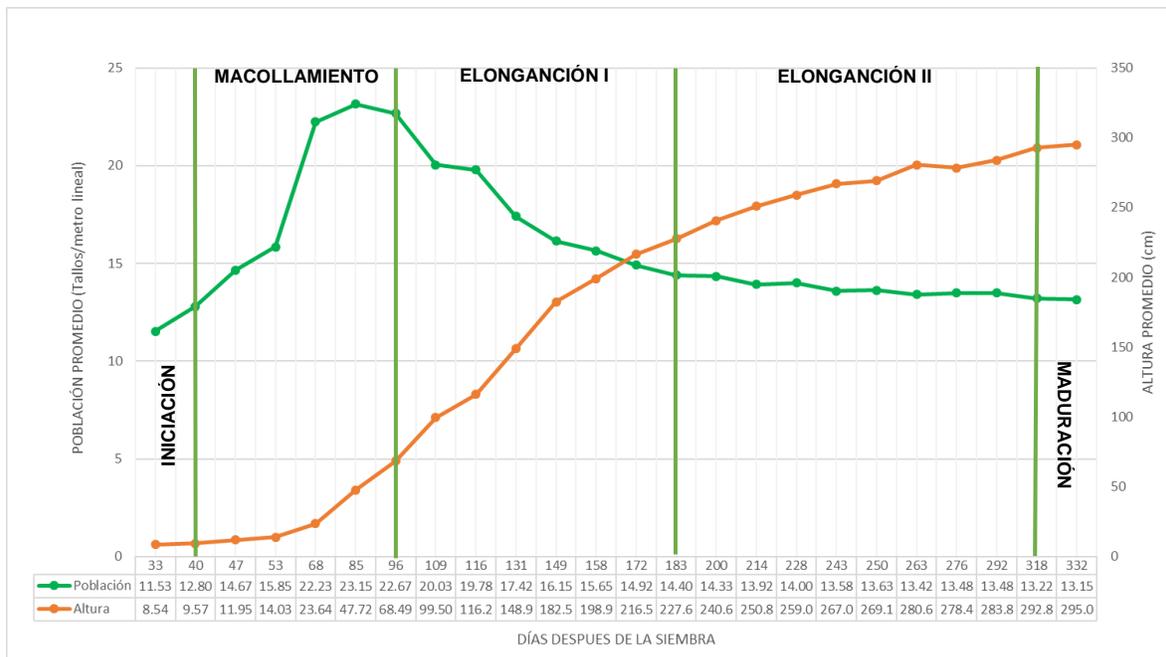


FIGURA 33. COMPORTAMIENTO DE LA ALTURA PROMEDIO RESPECTO A LA POBLACIÓN POR METRO LINEAL

Como indica Amaya et al, 2015 durante los primeros 90 días después de la siembra el comportamiento del cultivo de caña de azúcar se presenta de tal forma en la que el macollamiento es acelerado, mientras que el crecimiento o alargamiento de los tallos se da de una forma lenta. En la figura 33, puede observarse como la variable población promedio a los 40 días después de la siembra aumenta de forma considerable hasta llegar a los 85 días, en el que se presenta la máxima cantidad de tallos por metro lineal encontrada durante la investigación (24 tallos por metro lineal).

Por otra parte, a los 96 días se observa el comportamiento decreciente que toma esta variable, mientras tanto la variable altura, aumenta considerablemente reconociendo a esta etapa como elongación I.

En el momento en el que aumenta la biomasa del cultivo, se dificulta que la luz llegue a la parte basal del cultivo, consecuencia de ello, disminuye el macollamiento y muchos de los tallos formados en esta etapa fenológica mueren. Dando lugar a la etapa de elongación del cultivo (SAGARPA 2012). Como se observa en la figura 34, independientemente que la radiación presenta un aumento a partir de los 109 días, la población continúa disminuyendo, consecuencia de la competencia intraespecífica en el cultivo.

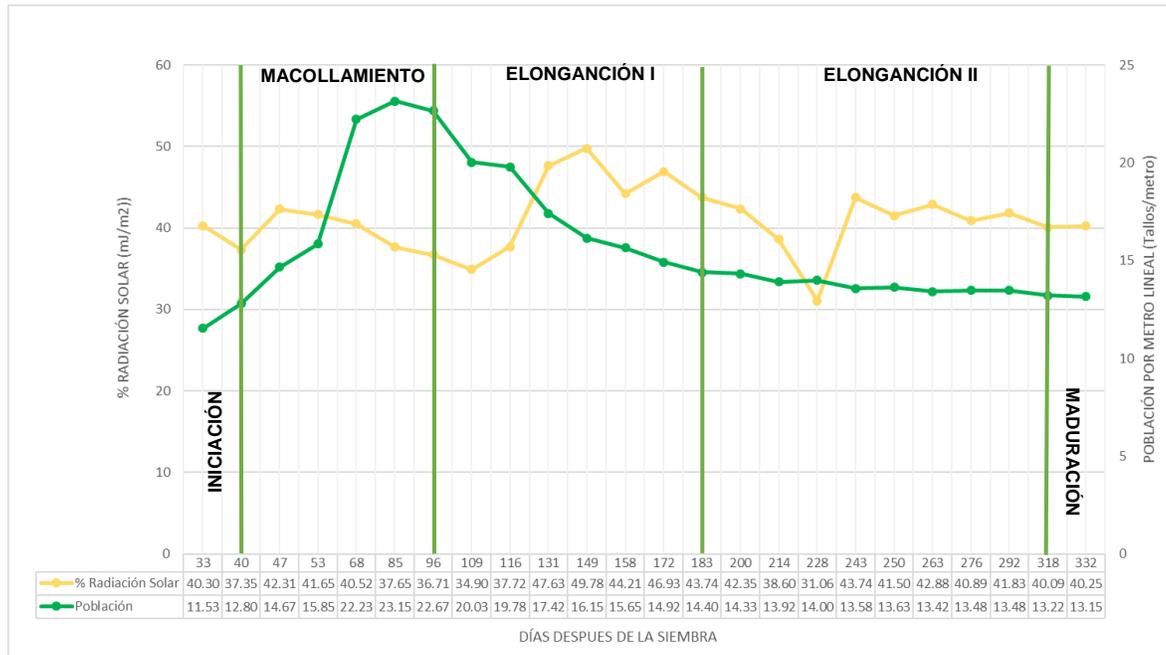


FIGURA 34. RELACIÓN ENTRE LA POBLACIÓN POR METRO LINEAL RESPECTO A LA RADIACIÓN SOLAR

Al iniciar la etapa de elongación I (día 96) se observa el incremento acelerado que se presenta en el cultivo ya que se da un aumento significativo del mismo, para la etapa de elongación II (día 183) como se observa en la figura 35, el comportamiento de la altura presenta un punto de inflexión ya que se presenta un descenso en cuanto a la tasa de crecimiento diaria, pudiéndose observar en como el comportamiento de la altura inicia a

estandarizarse a los 183 días, hasta llegar a la etapa de maduración (día 318) en la cual el aumento en la altura es poco significativo.

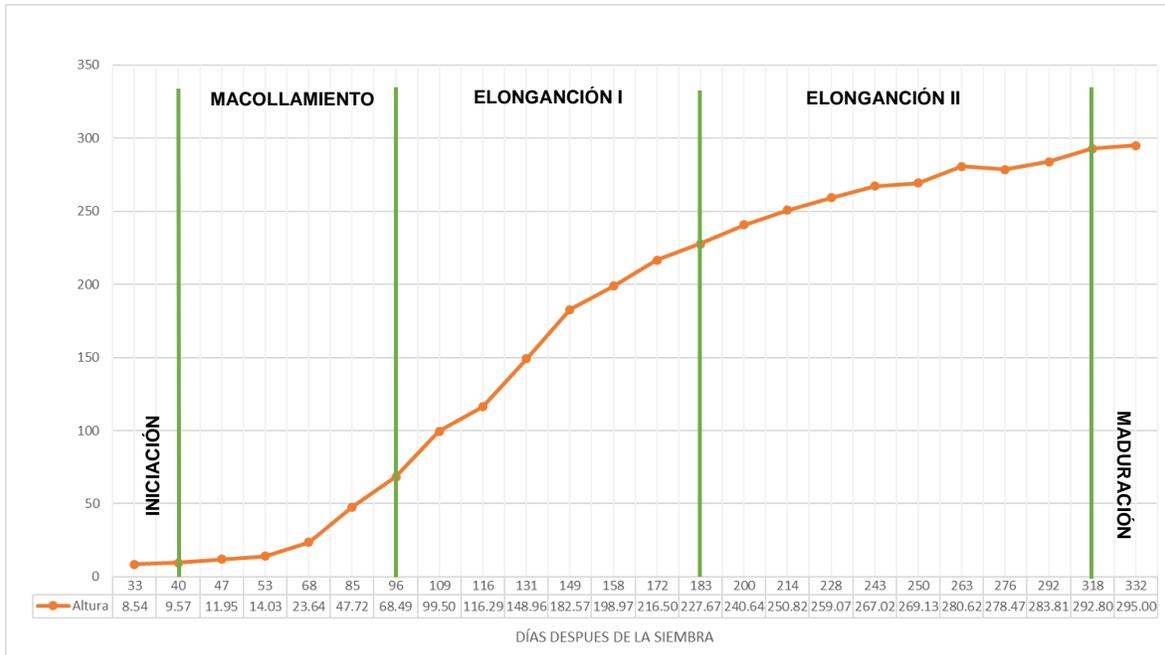
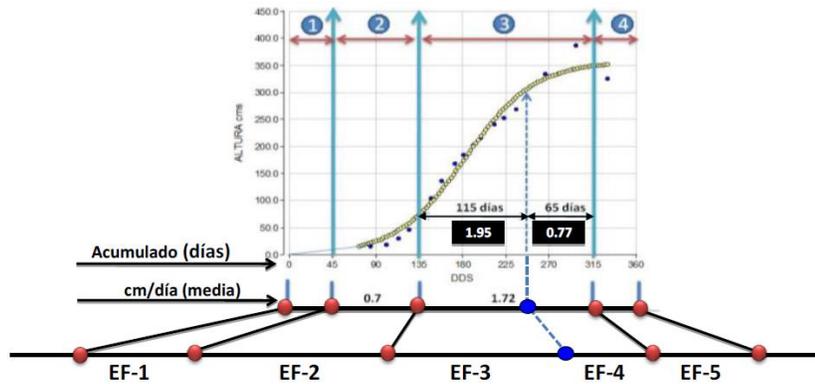


FIGURA 35. COMPORTAMIENTO DE LA ALTURA CON RESPECTO AL TIEMPO

Según los datos obtenidos por (CENGICAÑA 1997) el comportamiento natural de la altura con respecto al tiempo (figura 36) se asemeja a los datos obtenidos durante esta investigación (figura 35), la altura en la etapa inicial se mantiene en un comportamiento casi lineal, en la etapa de macollamiento la altura aumenta de una forma leve ya que en esta etapa predomina la formación de tallos más que el crecimiento de los mismos.



Fuente: CENGICAÑA 1997

FIGURA 36. ENSAYO EN UN ÁREA LISIMÉTRICA, ESTACIÓN EXPERIMENTAL

Como bien se mencionó anteriormente cada uno de los cambios de etapa fenológica se ve marcado por el comportamiento presentado por las variables de estudio, realizando un análisis de la relación existente entre la tasa de crecimiento y la población promedio (figura 37) se puede observar cómo en la etapa de macollamiento la tasa de crecimiento empieza a incrementar significativamente llegando hasta 1.4 cm/día, al entrar en una etapa de elongación I.

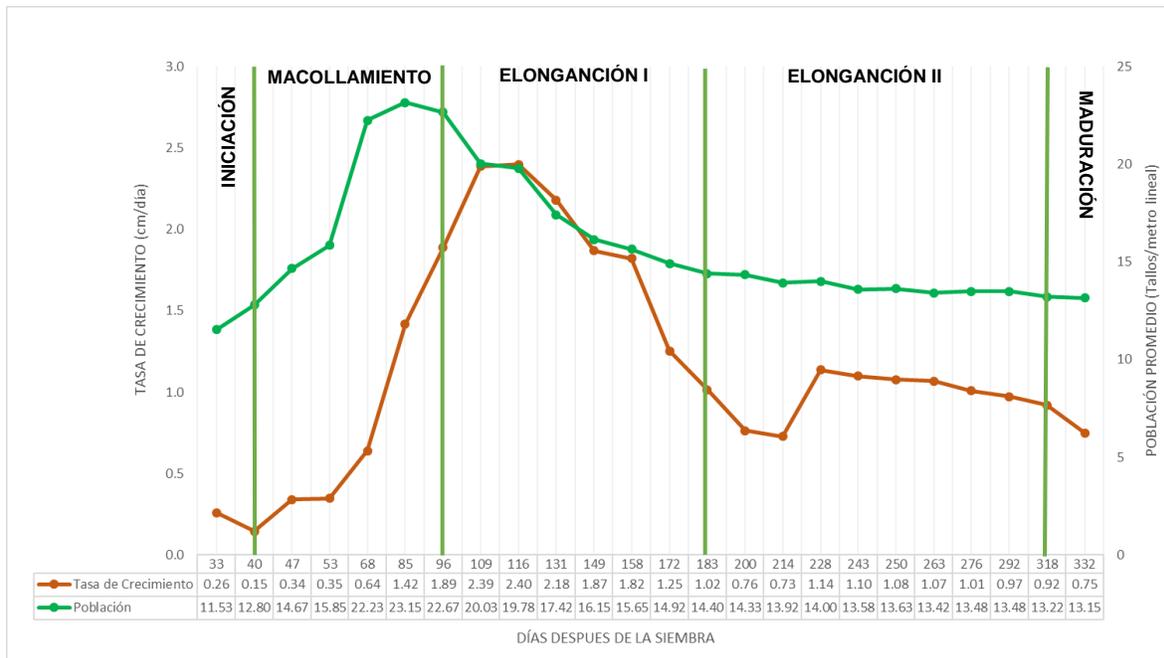


FIGURA 37. RELACIÓN TASA DE CRECIMIENTO RESPECTO A LA POBLACIÓN PROMEDIO

El crecimiento diario fue de 1.89 cm/día, llegando a un máximo crecimiento de 2.40 cm/día, comparándolo con el estudio realizado por Castro, 1997, quien dice que en promedio el crecimiento máximo diario es de 1.95 cm/día, sin embargo Amaya et al, 2015 indica que en condiciones adecuadas del entorno, el cultivo de caña de azúcar puede llegar a tener un crecimiento superior a los 2.3 cm/día relacionado con la tasa de crecimiento de 2.4 cm/día obtenido durante la investigación a los 116 días después de la siembra.

Respecto al paso del tiempo la tasa de crecimiento decae hasta llegar a un bajo valor de 1.02 cm/día la cual se da a los 183 días, además de que la población para ese momento se estabiliza por completo en 14 tallos promedio por metro lineal y la tasa de crecimiento se estandariza y disminuye en niveles más bajos (1.1 cm/día) dando lugar de este modo a determinar el inicio de la elongación II.

El comportamiento de la precipitación pluvial y la tasa de crecimiento (figura 38) no se encuentra ligado por completo, sin embargo, Castro, 2014 hace referencia a que, en la etapa de elongación I y II, considerada la etapa de estrés hídrico más crítica para la caña, tanto

de primer como de tercer tercio de cosecha, para el aumento en cuanto al crecimiento de los entrenudos y por consiguiente mejores resultados en cuanto a los rendimientos.

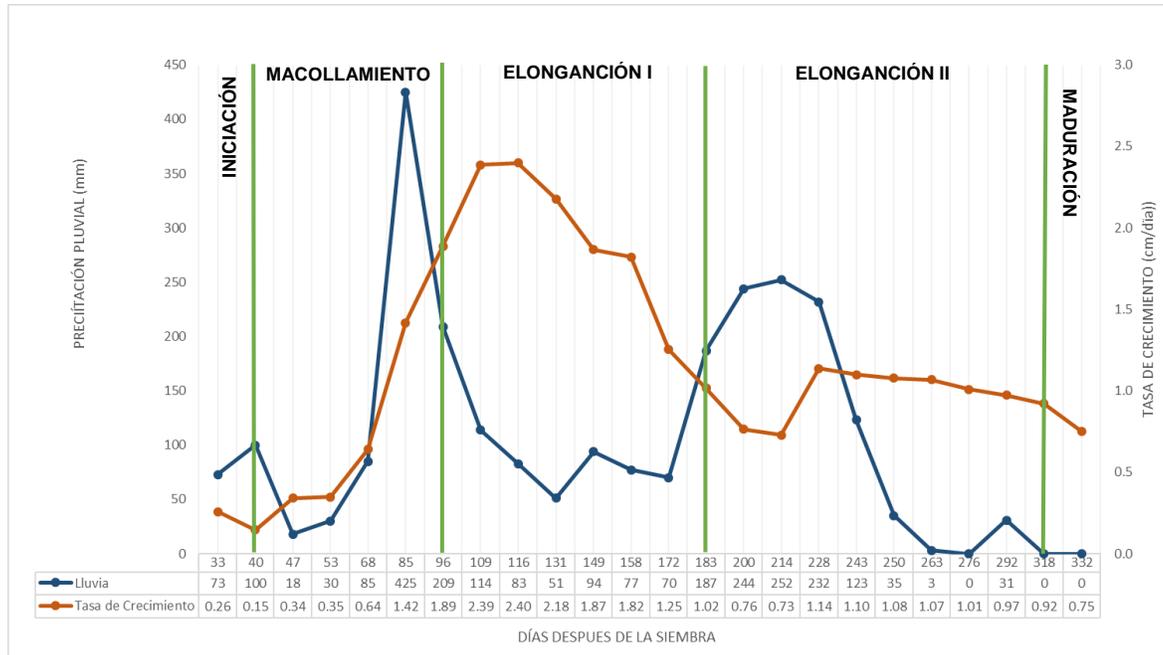
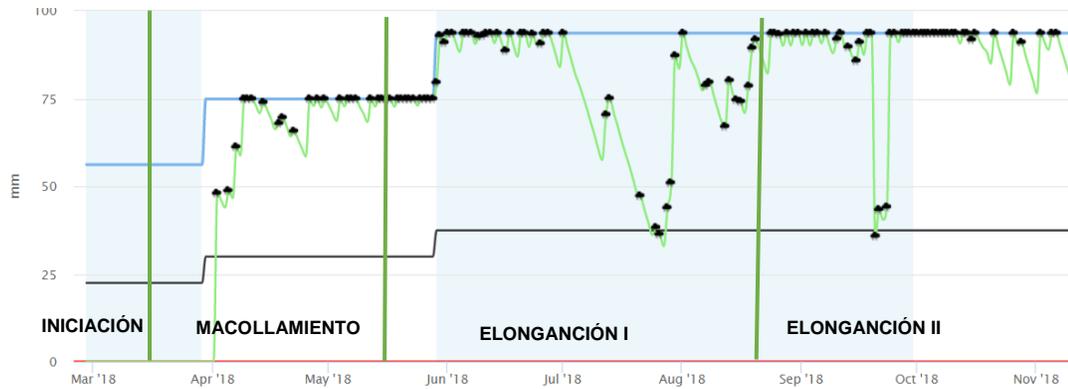


FIGURA 38. RELACIÓN ENTRE LA TASA DE CRECIMIENTO RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL

La relación existente entre la precipitación respecto a la tasa de crecimiento para la investigación realizada, no presentó mayor incidencia y como se observa en el balance hídrico (figura 39), el cultivo se mantuvo dentro de las condiciones óptimas de humedad, el balance hídrico realizado mediante la plataforma CENGIRIEGOS, demuestra que en gran parte del tiempo la caña se mantuvo en capacidad de campo o cercano a la misma.



Fuente: CENGIRIEGOS

FIGURA 39. BALANCE HÍDRICO DE LOTES ANALIZADOS

La incidencia que presenta la radiación solar con respecto a la tasa de crecimiento no es por demás significativa, sin embargo, se observa un leve declive tanto en la radiación como en la tasa de crecimiento en el mes de septiembre, variables que aumentan en el mes de octubre y se estandarizan a partir del mes de noviembre (Figura 40), observando que dicho comportamiento se observa en la etapa de elongación II y como indica SAGARPA, 2012 en esta fase fenológica el cultivo expresa la máxima respuesta ante los factores ambientales que se ven relacionados, en este caso la radiación solar.

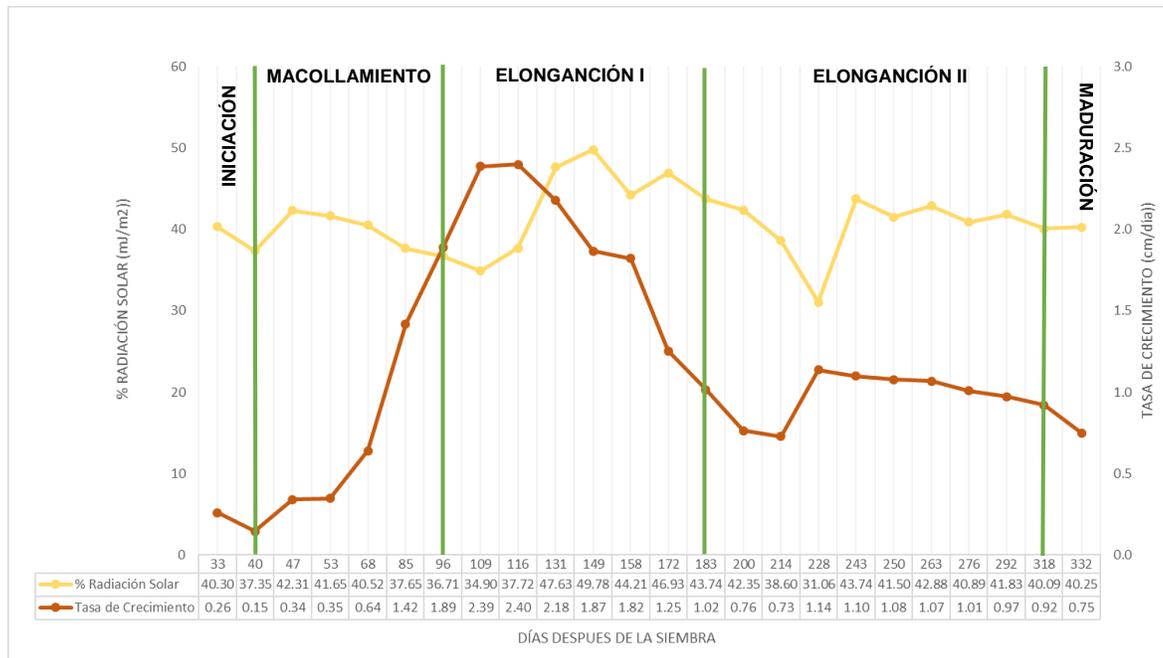


FIGURA 40. RELACIÓN TASA DE CRECIMIENTO RESPECTO A LA RADIACIÓN SOLAR

2.7.2 Comparación de los cambios de etapa fenológica con respecto a CENGICAÑA

Tomando de referencia los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación y realizando una comparación con la duración de cada etapa fenológica establecido por CENGICAÑA en el año de 1,997 mediante un ensayo en un área lisimétrica de la estación experimental, se puede determinar que la duración de las etapas fenológicas no coinciden de manera exacta, sin embargo existe una relación cercana en cuanto a la duración de la iniciación, elongación I y la maduración; los cuales no presentan diferencias por demás significativas en cuanto a los días (cuadro 5).

CUADRO 5. COMPARACIÓN DE LA DURACIÓN DE ETAPAS FENOLÓGICAS

ETAPA	Investigación		CENGICAÑA	
	DDS	DURACIÓN	DDS	DURACIÓN
Iniciación	40	40	45	45
Macollamiento	96	56	135	90
Elongación I	183	87	250	115
Elongación II	318	135	315	65
Maduración	360	42	360	45

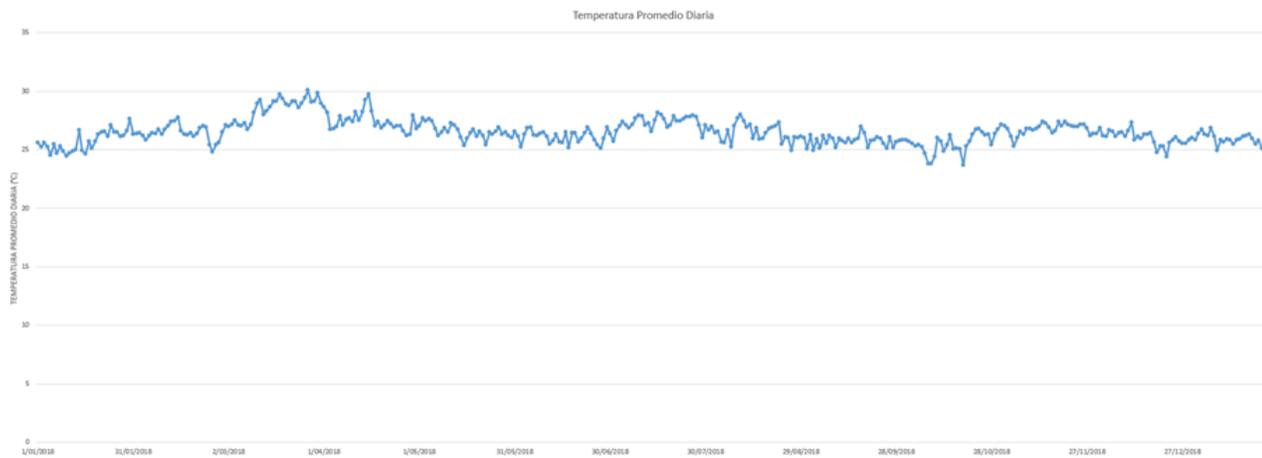
En el ensayo realizado por CENGICAÑA se determinó que la elongación I es la etapa fenológica con una mayor duración (115 días), realizando la comparación con la investigación realizada se determinó que bajo las condiciones evaluadas la elongación I dura 87 días, es decir 28 días menos. Por otra parte, en lo que respecta a la elongación II, en ésta investigación presenta una duración de 135 días, 70 días más de lo que dicta el ensayo de CENGICAÑA. Por otra parte, el macollamiento presentó una duración de 34 días menos de duración en esta investigación.

Y es que, como indica Castro, 2014 la duración de las etapas fenológicas es variable en función a la variedad, número de cortes y estrato altitudinal; las dos primeras condiciones de evaluación fueron similares en ambas investigaciones, (variedad CP72-2086 y estado plantía), no así el estrato altitudinal evaluado en el año 1997 fue el estrato alto, versus el estrato bajo donde se llevó a cabo esta investigación. Además, se evaluó con caña de tercer tercio de cosecha mientras CENGICAÑA lo realizó con caña del primer tercio, poseyendo condiciones climáticas muy diferentes en ambas evaluaciones.

2.7.3 Condiciones climáticas prevaecientes durante la evaluación

A. Temperatura promedio diaria

Según los datos obtenidos de la estación meteorológica del ICC ubicada en la finca Costa Brava, la cual posee influencia sobre la finca en la que fue ubicada la investigación, la temperatura mínima para el año 2018 fue de 17.7 °C por la noche en el mes de diciembre, la máxima temperatura fue de 37.1 °C al medio día en el mes de enero (figura 41). Según SAGARPA, 2012 la temperatura óptima para el proceso de fotosíntesis se encuentra alrededor de 34 °C.



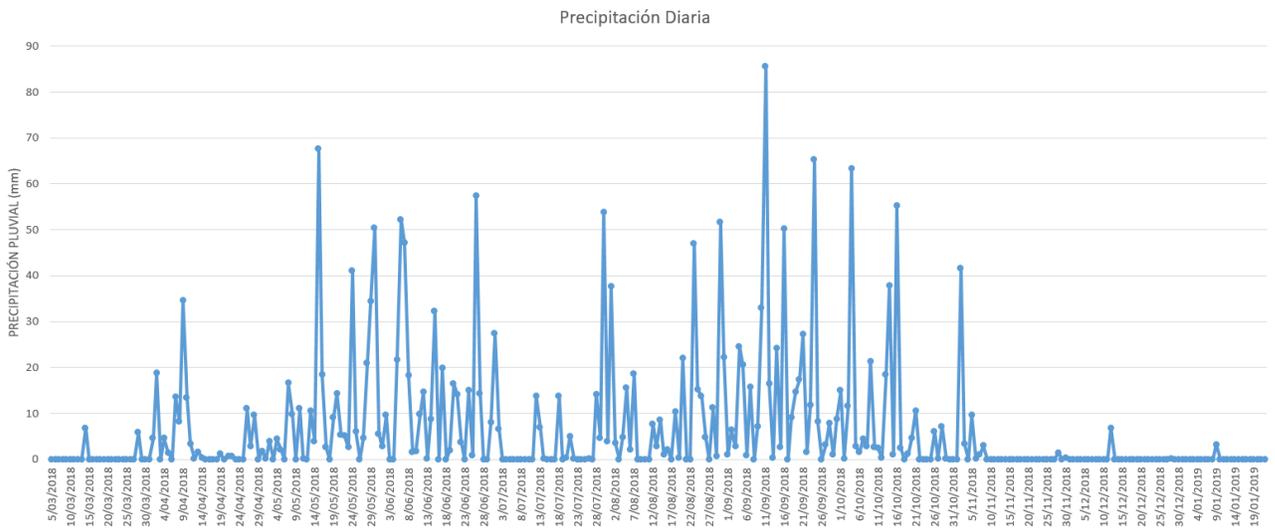
Fuente: ICC 2019

FIGURA 41. TEMPERATURA PROMEDIO DIARIA PARA EL AÑO 2018

Para el 60 % del tiempo de horas luz (variable relacionada con el momento de realización de la fotosíntesis) que duró la investigación en la estación Costa Brava registró temperaturas superiores a 30 °C por lo que existieron las condiciones para un óptimo proceso fotosintético.

B. Precipitación

Como se observa el comportamiento de la precipitación en la figura 42, durante el tiempo de evaluación se dio una época muy lluviosa de 2700 mm de precipitación acumulada anual para el área de influencia de la estación meteorológica del ICC ubicada en Costa Brava, además de eso se demuestra el periodo de canícula que se presentó para este ciclo el cual se dio entre los meses de julio y agosto, en los cuales se presentaron muy poca o nada de precipitación en algunos días.



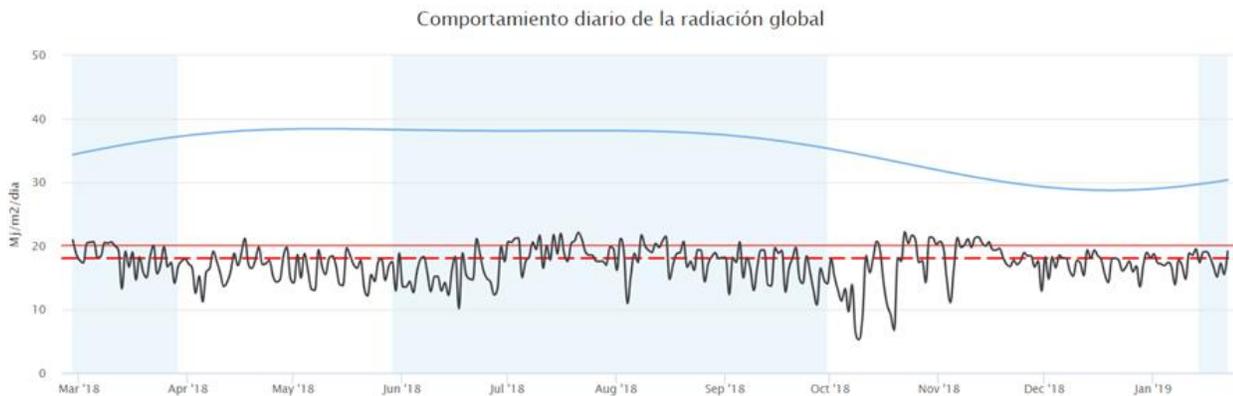
Fuente: ICC 2019

FIGURA 42. PRECIPITACIÓN DIARIA PARA EL PERIODO DE EVALUACIÓN

Vale la pena mencionar que, debido a la situación financiera en cuanto a la comercialización del azúcar, la administración correspondiente a la finca en que se estableció la investigación decidió no aplicar riego durante la canícula; sin embargo, en la figura 39, se observa que este factor no fue determinante para el comportamiento de la variable tasa de crecimiento.

C. Radiación global

El comportamiento de la radiación se denota con la línea de tendencia azul, como se observa en la figura 43, esta variable se redujo en el mes de octubre por el movimiento de traslación (CENGICAÑA 2019), por otra parte el comportamiento de la radiación solar, la cual se presenta con la línea negra de tendencia, la cual fue tomada con un pirómetro, instrumento que posee la función de capturar los datos de radiación variable que como se explica en la figura 40, pudo ser causante de la disminución en la tasa de crecimiento. Determinando en la figura 33 el fundamento de la disminución en la radiación solar, esto debido a la relación directa existente con la radiación extraterrestre.



Fuente: CENGIRIEGOS 2019.

FIGURA 43. COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN GLOBAL PARA EL PERIODO DEL CULTIVO

D. Monitoreo de humedad

Durante la implementación del método de monitoreo de humedad en el ingenio con la sonda TDR-350 se realizaron constantemente monitoreos periódicos para determinar el correcto estado hídrico del cultivo en esos lotes; determinando que en los momentos que fueron realizados estos sondeos efectivamente cada uno de estos lotes contenía una humedad cercana a la capacidad de campo (figura 44), encontrándose los resultados del muestreo de suelos realizado durante la investigación en la página 55 (Cuadro 3).



FIGURA 44. SEGUIMIENTO DE HUMEDAD EN LOS LOTES DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de este sistema fue de suma importancia el muestreo de suelos, de esta forma se obtuvieron datos más precisos, aunque vale la pena resaltar que el uso de la sonda es para obtener datos de referencia, no necesariamente este dato determina o hace tomar decisiones con respecto al riego.

E. Aporte capilar

Uno de los factores de mayor importancia que se mantuvo en constante monitoreo en los lotes que se estableció la investigación es el aporte capilar o aporte de humedad por la existencia de manto freático cercano a la superficie, como se observa en la figura 45. Es de suma importancia resaltar que los datos contenidos en esta figura corresponden a la profundidad a la que se llegó a encontrar el agua en los tubos piezométricos instalados durante la investigación. Pudiéndose observar en las áreas más cercanas al río Achiguate son las que poseen una mayor cantidad de aporte de humedad.

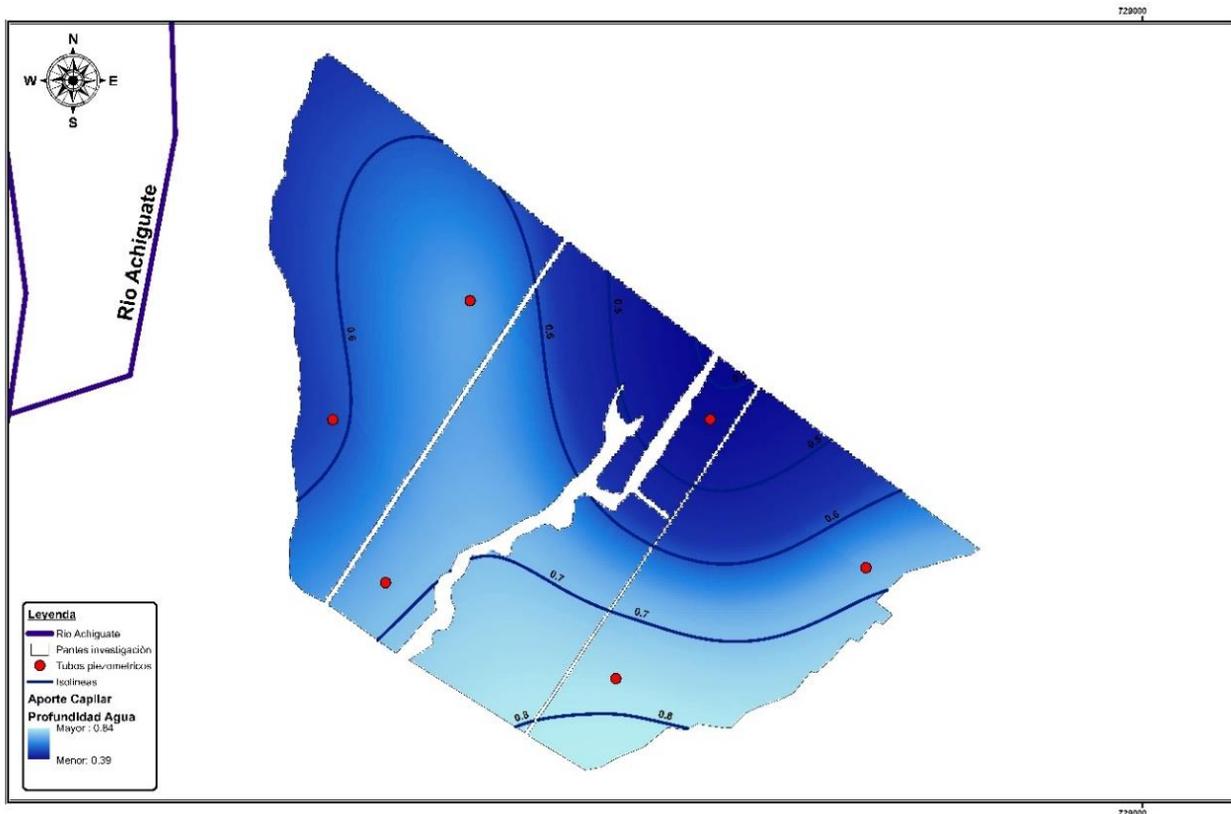


FIGURA 45. APORTE CAPILAR EN LOTES DE INVESTIGACIÓN

Como menciona (Illescas 2014) los suelos arcillosos por el poco espacio poroso que poseen, la tensión de este tipo de textura favorece o facilita de algún modo el aporte capilar del recurso hídrico debido a las fuerzas de adhesión que se une a la propia fuerza de cohesión que posee el suelo naturalmente, rompiendo de esta forma la fuerza gravitacional.

De esta forma en la parte Norte se observa una mayor influencia del aporte capilar que corresponde al tubo piezométrico instalado, esto debido a la textura arenosa correspondiente a este lote (cuadro 3), contrariamente a lo determinado por Illescas en los tubos piezómetros instalados en las parcelas de investigación el aporte capilar es prácticamente nulo, ya que estos suelos son de estructura granular muy suelta o carentes de estructura, por lo que pocas partículas se adhieren entre sí (Castro 2014), dificultando de este modo el aporte de humedad por capilaridad.

Esto da lugar entonces a determinar que el aporte de humedad que existió en los lotes de producción en que se realizó la evaluación no corresponde a un aporte capilar sino más bien a un aporte de humedad por la existencia de la capa freática muy cercana a la superficie, como se demuestra en la figura 45, el cauce del río Achíguate se encuentra en cercanías de los lotes evaluados.

Teniendo en cuenta la incidencia que tiene la alta capacidad de infiltración de los suelos encontrados dentro de los mismos, además de la red de quíneles de riego y drenaje que existe a inmediaciones de estos lotes; lo cual demuestra la importancia que se debe asignar a tan importante variable como lo es el aporte de humedad, para planificar adecuadamente la aplicación de riegos haciendo óptimo el uso del recurso hídrico y económico, además de los análisis previos que ello conlleva, como lo son los análisis de suelo.

2.8 CONCLUSIONES

1. Para la variedad CP72-2086 bajo las condiciones evaluadas se determinó que la etapa de iniciación dura 40 días, 56 días después se da el cambio de etapa fenológica es decir el macollamiento finaliza a los 96 días después de la siembra. La elongación tiene una duración total de 222 días, en los que 87 días es la duración de la elongación I y 135 días dura la elongación II, para finalizar con la etapa de maduración la cual inicia 318 días después de la siembra y finaliza al realizar la cosecha en el cultivo, la cual se realiza generalmente 360 días después de la siembra.
2. Las etapas de iniciación, elongación I y maduración se encuentran levemente relacionadas en ambas investigaciones, la etapa de macollamiento duró en esta investigación 34 días menos que la encontrada por CENGICAÑA y la elongación II en la investigación duró 70 días más, recordando que las condiciones en las que se realizaron ambas evaluaciones fueron diferentes en cuanto al tercio de cosecha y el estrato altitudinal.
3. El comportamiento de las variables climáticas que están relacionadas con el óptimo desarrollo del cultivo de caña de azúcar fue favorable para obtener resultados acordes al potencial de la caña de azúcar de tercer tercio de cosecha, la temperatura se mantuvo en los rangos óptimos para una eficiente fotosíntesis y además de que la precipitación acumulada anual fue bastante elevada, siendo beneficiado de esta forma el cultivo.

2.9 RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento a la validación de los momentos de cambio de etapa fenológica en el cultivo de caña de azúcar de la variedad CP72-2086 en las distintas socas de producción correspondiente a la agroindustria azucarera.
2. Realizar evaluaciones de esta misma clase, en otras variedades de importancia para los ingenios azucareros.
3. Desarrollar investigaciones similares en otros estratos altitudinales y distintos tercios de cosecha.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

1. Amaya, A; Cock, J; Hernández, A; Irvine, J. 2015. Biología y morfología del cultivo de caña de azúcar. Weslaco, Texas, EE.UU., Universidad de Texas, Centro de Investigación Agrícola. 33 p.
2. Castro, O. 2014. El riego en el cultivo de caña de azúcar. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, CENGICANÁ. 25 p.
3. CENGICANÁ (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación del a Caña de Azúcar, Guatemala). 2014. El cultivo de caña de azúcar en Guatemala. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, Artemis Edinter. 526 p.
4. CENGIRIEGOS (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación del a Caña de Azúcar, Área de Riegos, Guatemala). 2019. Balance hídrico de la finca Agropecuaria Centroamericana. Guatemala. Disponible en <https://riegos.cengicana.org/login>
5. Comparini Aguirre, SD. 2006. Trabajo de graduación: Evaluación de variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el ingenio La Unión, Santa Lucía Cotzumalguapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 150 p.
6. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala). 2019. Estaciones meteorológicas: Estación Costa Brava; Datos climáticos de la red agrometeorológica. Disponible en <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/07/Resumen-Meteorol%C3%B3gico-2017.pdf>

7. Illescas Ovalle, RE. 2014. Cuantificación del aporte de agua capilar para la programación del riego en el cultivo de caña de azúcar, en la cuenca del río Acomé. Tesis Ing. Agr. Escuintla, Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Sede Regional de Escuintla, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 65 p. Disponible en <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/17/Illescas-Roberto.pdf>
8. Lemus Ramírez, CR. 2012. Trabajo de graduación: Experiencias en la optimización de la cosecha mecanizada de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en el ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala, Centroamérica. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 117 p.
9. Machic Ocampo, OA. 2013. Trabajo de graduación: Comparación de eficiencia de motores diésel contra motores a gas licuado de petróleo utilizados para riego por aspersión cañón, diagnóstico y servicios realizados en la finca Verapaz, Tiquisate, Escuintla, Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 101 p.
10. Paz Fong, PD. 2010. Trabajo de graduación: 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. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 139 p.
11. Pec Hernández, MM. 2015. Trabajo de graduación: Preferencia de parasitismo de *Cotensia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae), sobre diferentes instares de *Diatraea crambidoides* Grote (Lepidoptera: Crambidae). Diagnóstico y servicios realizados en ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala, C.A. Tesis Ing.

Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 112 p.

12. Pinto Grotewold, JS. 2011. Trabajo de graduación: Diseño del sistema de riego por miniaspersión para caña de azúcar (*Saccharum spp.*), diagnóstico y servicios en la finca San Nicolás, del ingenio Magdalena, en el parcelamiento La Máquina, Cuyotenango, Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 140 p.
13. Rivera Peralta, CA. 2014. Trabajo de graduación: Caracterización de suelos considerando la determinación de la velocidad de infiltración con fines de operación, de los sistemas de riego aspersión y mini aspersión, diagnóstico de departamento de ingeniería agrícola y servicio en el ingenio Magdalena, S.A, La Democracia, Escuintla, Guatemala C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 243 p.
14. SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México). 2012. Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar. México, SAGARPA, Comité Nacional para el Desarrollo Sostenible del Cultivo de Caña de Azúcar. 19 p.
15. Santos Pérez, JJ. 2014. Trabajo de graduación: Balance hídrico en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en época lluviosa en la región litoral centro, diagnóstico y servicios en la zona de producción seis (6), ingenio Madre Tierra, Guatemala, C. A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 166 p.
16. SIB (Superintendencia de Bancos, Guatemala). 2016. Sector azucarero. Guatemala, SIB, Departamento de Análisis Macroprudencial y Estándares de Supervisión. 19 p.

2.11 ANEXOS



**FIGURA 46A. ESTADO DE LOS LOTES EVALUADOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN
318 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA**



FIGURA 47A. SISTEMA DE RIEGO POR AVANCE FRONTAL APLICADO EN LOS LOTES EVALUADOS



FIGURA 48A. MUESTREO DE SUELOS REALIZADO EN LAS PARCELAS DE INVESTIGACIÓN



FIGURA 49A. TOMA DE DATOS BIOMÉTRICOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN



CAPÍTULO III

SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCTIVIDAD DE RIEGOS DEL GRUPO CORPORATIVO SANTA ANA.

3.1 PRESENTACIÓN

Como parte del proyecto de mejoras en cuanto a la eficiencia de aplicación de riego fueron realizadas inversiones por parte de la actual administración del ingenio, enfocándose en la perforación de pozos mecánicos con el fin de reducir el consumo de agua proveniente de las derivas de río, además en los últimos años han sido comprados varios equipos de riego mecanizado, es decir pivotes centrales y avances frontales.

Tomando lo anterior como punto de partida, es importante para el departamento de planificación y control de riegos tener conocimiento del comportamiento del nivel freático de los pozos mecánicos perforados y usados para riego que posee el ingenio, teniendo en cuenta el descenso en cuanto al nivel dinámico al momento de la operación de los sistemas de riegos a los que abastecen, así como el potencial de recarga que el manto freático en el que se encuentre puede proporcionarle. Por otra parte, es indispensable que la profundidad a la que el nivel freático del agua llega a descender no sobrepase la profundidad a la que se encuentre instalada la turbina, para evitar que la misma sufra daños.

En lo que respecta a los equipos de riego mecanizado, es decir para los pivotes centrales y avances frontales en operación por cada una de las regiones del ingenio es importante el desarrollar un diseño de riego, así como una programación de la velocidad de operación ideal a la que el equipo debe trabajar para aplicar la lámina de riego requerida por el cultivo según cada una de sus etapas fenológicas y sobretodo realizar la aplicación de una lámina de agua que el suelo tenga la capacidad de infiltrar, evitando de esta forma las pérdidas de agua, además del recurso económico y las pérdidas de suelo por erosión hídrica, provocado por la esorrentía; siendo las pruebas de infiltración una de las actividades prioritarias para el desarrollo de este proyecto.

3.2 ÁREA DE INFLUENCIA

El área de influencia, en la que fueron realizados los servicios presentados se definió tanto por la cercanía a las oficinas operativas del ingenio como por ser la ubicación en la que se encuentran los pozos mecánicos monitoreados y los equipos de riego mecanizado (pivote central y avance frontal) en los que se priorizó la operación bajo fundamentos técnicos; estos se encuentran entre los municipios de Masagua, Escuintla y La Democracia. En el cuadro 6 se presenta la ubicación geográfica de los equipos que fueron priorizados durante estas actividades, de la misma forma esta información se representa gráficamente en la figura 50.

CUADRO 6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE EQUIPOS EN LOS QUE SE ENFOCARON LOS SERVICIOS PRESTADOS

Región	ID Equipo	ID Pozo	Latitud	Longitud	Estrato
2	La Niña	420-0091	14.17240	-90.87180	Bajo
2	Santa María (Pozo Norte)	420-0083	14.18978	-90.83048	Medio
3	Amazonas	420-0094	14.06570	-90.76550	Litoral
3	La Aurora (300)	420-0096	14.04690	-90.79460	Litoral
3	La Aurora (200)	307-0015	14.04836	-90.81116	Litoral
3	La Aurora (100)	307-0016	14.04833	-90.82509	Litoral
3	Orinoco	420-0095	14.03670	-90.78260	Litoral
3	Paso Antonio 100 (2) PIV	307-0012	14.07644	-90.74128	Litoral
3	Paso Antonio 100 (3)	307-0014	14.07806	-90.73419	Litoral
3	Paso Antonio 300 (1)	307-0013	14.06862	-90.73988	Litoral
3	Rio Plata	420-0017	14.04230	-90.73990	Litoral
3	Rio Plata	420-0093	14.04230	-90.73990	Litoral
6	Agrícola del Sur (Pozo Norte)	420-0090	14.24182	-90.83472	Medio
6	Agrícola del Sur (Pozo Sur)	420-0092	14.25465	-90.82675	Litoral
6	Cun Cun	420-0097	14.22027	-90.89604	Medio

3.4 SERVICIOS PRESTADOS

3.4.1 Servicio 1: Monitoreo del nivel freático del agua en pozos mecánicos.

A. Planteamiento del problema

Hasta el presente año dentro de la administración del Ingenio Santa Ana no se había llevado a cabo el monitoreo del nivel freático del agua que alimenta los pozos mecánicos que actualmente se encuentran en funcionamiento, por lo cual se desconoce el comportamiento del nivel estático y dinámico de cada uno de estos pozos.

Se desconoce si los pozos han rendido en su potencial máximo en cuanto a la capacidad de descarga que el mismo pueda brindar o bien que estos hayan sido sobreexplotados, llegando al extremo de quedarse sin abastecer al equipo de riego, poniendo en riesgo la operación de la turbina al bajar el nivel del agua más allá de la profundidad de bombeo.

B. Objetivos específicos

1. Determinar la cuenca a la que pertenece cada uno de los pozos monitoreados.
2. Determinar el comportamiento del nivel freático de pozos mecánicos.
3. Realizar un análisis químico del agua para los pozos de mayor importancia.

C. Metodología

i. Determinación de la cuenca a la que pertenece cada uno de los pozos monitoreados

Se utilizó el software de ArcMap para realizar el montaje de la ubicación de cada uno de los pozos mecanizados que han sido perforados hasta el presente periodo de operación, realizando la intersección con el shape de influencia de las cuencas pertenecientes a los ríos encontrados en cercanías a las áreas de producción del ingenio, determinando de esta forma teóricamente a que cuenca pertenece cada uno de estos pozos (Quiñonez s. f.).

ii. Monitoreo del nivel freático del agua en los pozos mecánicos

1. Se ubicaron los pozos mecánicos que poseían instalado tubo piezómetro, en los cuales podía ser ingresada la sonda hidrosensible de humedad, una vez determinados se recopila la información básica de los mismos como las coordenadas en los que se encuentra instalado, sistema de riego en el que se utiliza, codificación del mismo, etc.
2. Se realizaron monitoreos semanales del nivel estático o dinámico de cada uno de los pozos, según la condición que el mismo mantenga, teniendo en cuenta que el nivel estático corresponde a la diferencia vertical existente entre la superficie del suelo con respecto al nivel en que se encuentra el agua dentro del pozo mientras el mismo no se encuentre en uso, es decir se define como la capacidad máxima de recarga para ese momento. Por otra parte, el nivel dinámico también se refiere a la misma distancia vertical, pero a diferencia que en este caso se da mientras el bombeo se encuentra en operación (Rodas 2015).

3. El proceso consistía básicamente en introducir la cinta métrica de la sonda de humedad (figura 51), la cual en la parte inicial contiene un electrodo hidrosensible que hace sonar la alarma de la sonda al tocar el agua, con esto prácticamente se determina la profundidad en metros a la que el agua se encontraba disponible.



FIGURA 51. SONDA HIDROSENSIBLE PARA EL MONITOREO DEL NIVEL FREÁTICO DEL AGUA

4. Si el pozo se encontraba en funcionamiento se procedía a tomar distintos parámetros de operación, como lo es la presión y aceleración a la que se encontraba trabajando la motobomba, tiempo en que el equipo se encontraba operando hasta la toma de datos, además del caudal que el equipo brindaba.
5. Una vez tomados los datos y tabulados los mismos se generó un informe del comportamiento histórico que tuvo cada uno de los pozos mediante gráficas, dando

la pauta a que la operación de los mismos se realizara de una forma más eficiente, este informe se envía a los jefes de cada una de las regiones involucradas, así como al jefe de departamento.

iii. Monitoreo de calidad de agua subterránea

1. Se realizó un muestreo de agua subterránea antes de la época de riego, recolectando 1 litro de agua por muestra; la misma fue almacenada en un recipiente de vidrio, plástico polietileno o policarbonato según la disponibilidad en ese momento. Este fue identificado con el código del pozo, la fecha y hora de recolección, así como la persona responsable del mismo.

2. Parámetros evaluados durante el análisis

- pH, conductividad eléctrica, salinidad, color, olor, apariencia y turbiedad.
- Cloro residual, hierro total, manganeso, sulfatos, nitritos, nitratos, fosfatos, flúor, sodio (cloruro de sodio), sílice (SiO_2), calcio, magnesio, cloruros, dióxido de potasio y potasio.
- Dureza total (CaCO_3), dureza de calcio y dureza de magnesio.
- Alcalinidad total, alcalinidad por carbonatos, alcalinidad por hidróxidos, alcalinidad por bicarbonatos, total de sólidos disueltos y taninos.

D. Resultados y discusión

- i. Determinación de la cuenca a la que pertenece cada uno de los pozos monitoreados

De los 17 pozos monitoreados durante el periodo de zafra 2018-19 (cuadro 7), 4 de ellos se encuentran bajo la influencia de la cuenca del río Achíguate, los 13 pozos restantes se encuentran en áreas de influencia de la cuenca del río María Linda (figura 52), siendo esta la cuenca más importante para los intereses de explotación del recurso hídrico mediante pozos mecánicos por parte del ingenio Santa Ana.

CUADRO 7. CUENCA A LA QUE PERTENECEN LOS POZOS MONITOREADOS

Región	ID Equipo	ID Pozo	CUENCA
2	La Niña	420-0091	RÍO ACHIGUATE
2	Santa María (Pozo Norte)	420-0083	RÍO MARIA LINDA
3	Amazonas	420-0094	RÍO MARIA LINDA
3	La Aurora (300)	420-0096	RÍO MARIA LINDA
3	La Aurora (200)	307-0015	RÍO MARIA LINDA
3	La Aurora (100)	307-0016	RÍO MARIA LINDA
3	Orinoco	420-0095	RÍO MARIA LINDA
3	Paso Antonio 100 (2) PIV	307-0012	RÍO MARIA LINDA
3	Paso Antonio 100 (3)	307-0014	RÍO MARIA LINDA
3	Paso Antonio 300 (1)	307-0013	RÍO MARIA LINDA
3	Rio Plata	420-0017	RÍO MARIA LINDA
3	Rio Plata	420-0093	RÍO MARIA LINDA
3	Palo Pinta (Norte)	420-0018	RÍO MARIA LINDA
3	Palo Pinta (Sur)	420-0019	RÍO MARIA LINDA
6	Agrícola del Sur (Pozo Norte)	420-0090	RÍO ACHIGUATE
6	Agrícola del Sur (Pozo Sur)	420-0092	RÍO ACHIGUATE
6	Cun Cun	420-0097	RÍO ACHIGUATE

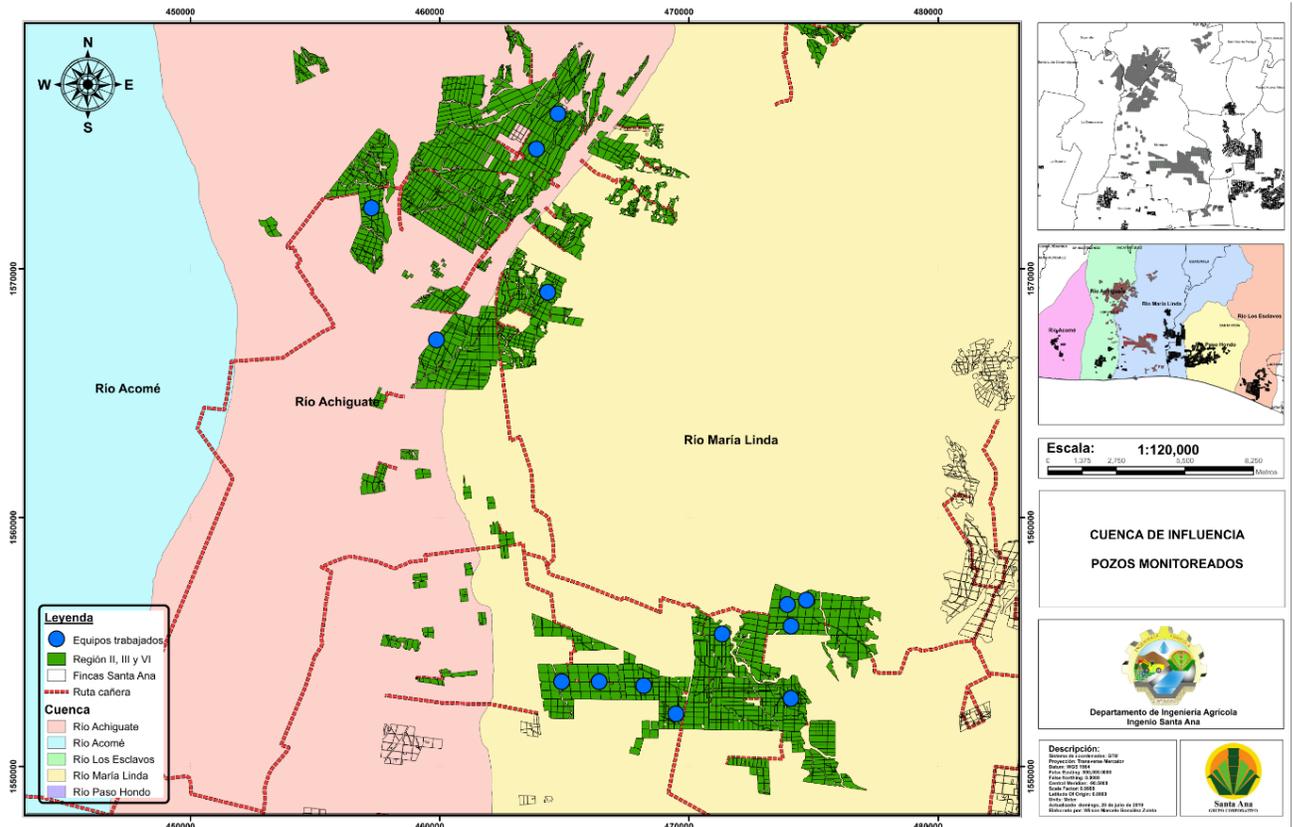


FIGURA 52. INFLUENCIA DE CUENCA A LA QUE PERTENECEN LOS POZOS INSTALADOS

ii. Monitoreo del nivel freático del agua en los pozos mecánicos

Según (Rodas 2015) el principio del uso de la sonda hidrosensible se basa en la función que ejercen los dos electrodos de plomo separados y aislados solo con las puntas descubiertas, estas al entrar en contacto con el agua generan un puente de continuidad de la corriente eléctrica permitiendo de este modo emitir alguna señal de alerta al equipo de monitoreo, reflejándose en la emisión de algún sonido peculiar o bien alguna luz específica.

Al realizar el monitoreo del nivel freático en uno de los pozos instalados en la finca Amazonas, se pudo determinar que el manto freático se encuentra a muy poca profundidad

de la superficie del suelo (20 pies), este equipo de riego estuvo en operación durante los meses de enero hasta mayo, llegando a una profundidad de 70 pies, muy por encima de los 120 pies a los que se encuentra instalada la turbina como se presenta en la figura 53.

Además de ello, se observa como a partir del mes de mayo la recuperación de este pozo se dio de manera considerable, llegando a encontrarse el agua a solo 20 pies de profundidad para el mes de noviembre, poco tiempo antes de su inicio de operación, demostrando de esta forma que el abatimiento es decir el descenso que presenta el nivel del agua cuando se realiza el proceso de bombeo (López 2011) en este pozo, no se manifiesta rápidamente ya que la finca en la que se encuentra instalado este pozo se encuentra a 32 msnm (Quiñonez s. f.).

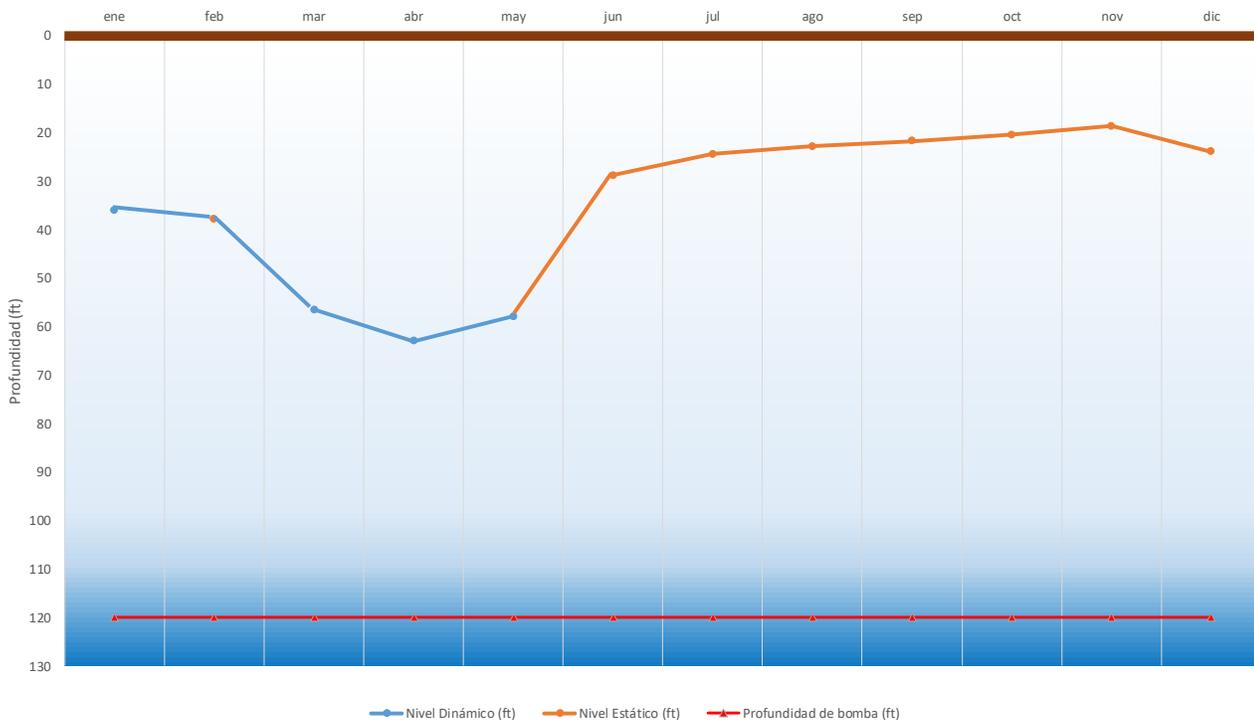


FIGURA 53. COMPORTAMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO DEL POZO UBICADO EN LA FINCA AMAZONAS

En cuanto al pozo monitoreado en la finca La Niña (figura 54), presentó un comportamiento de nivel freático peculiar, ya que existe una diferencia significativa entre el nivel estático y dinámico del mismo. El abatimiento en este pozo es sumamente rápido, descendiendo hasta 120 pies en el momento de operación del equipo, debido a que el mismo se encuentra abasteciendo a un pivote central que posee una demanda de caudal de 2,000 galones de agua por minuto, además el pozo se encuentra situado a 85 msnm por lo que su recarga hídrica es inferior a la demanda que el mismo posee.

Parte importante a tener en cuenta con este tipo de comportamiento es que el nivel freático no descienda hasta los niveles críticos de operación, es decir que el nivel del agua no se acerque a más de 25 pies de profundidad por sobre la bomba, evitando así daños en la operación de la turbina.

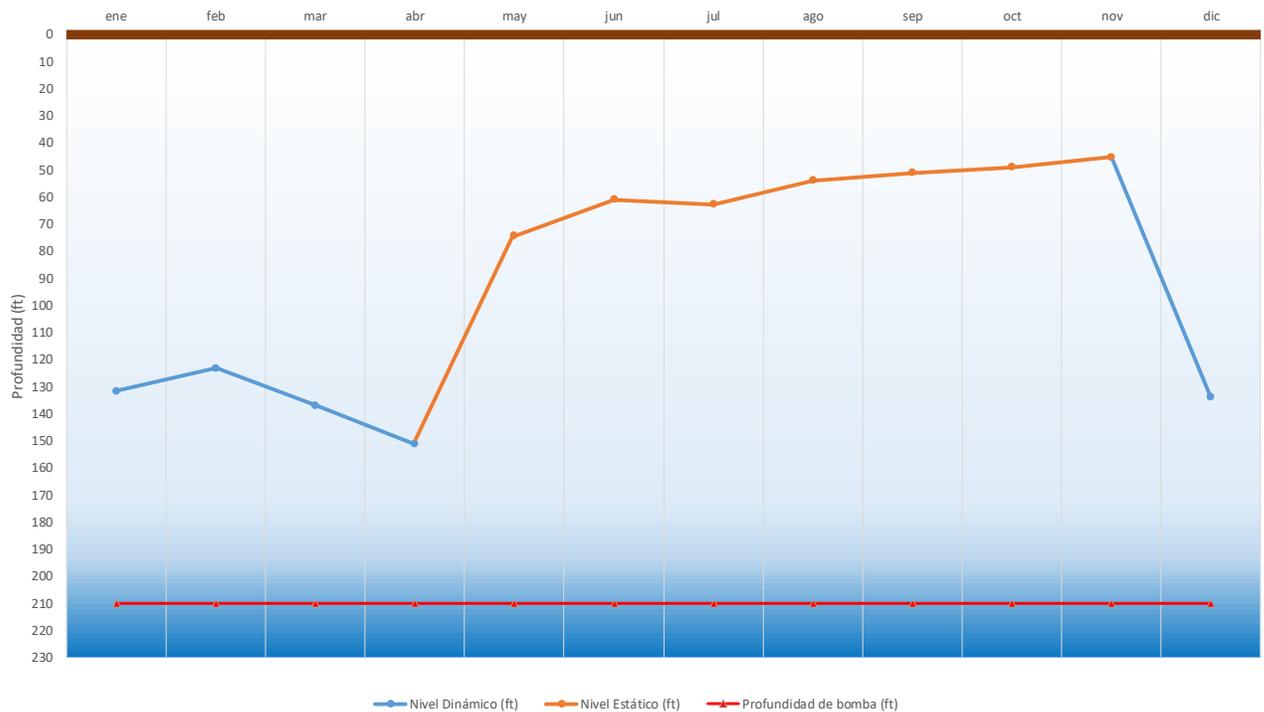


FIGURA 54. COMPORTAMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO DEL POZO UBICADO EN LA FINCA LA NIÑA

Por otra parte, otro de los pozos monitoreados se ubica en la finca Río Plata, la cual se encuentra a 14 msnm, como se observa en la figura 55 los niveles dinámicos a los que se encontró el pozo durante la operación no superan los 70 pies de profundidad a pesar de abastecer a un pivote central que posee un consumo de 2500 galones de agua por minuto, la recarga hídrica del pozo es permanente, esto debido a que los mantos freáticos a esta altitud se encuentran a muy poca profundidad.

Los niveles estáticos de este pozo llegaron a encontrarse a 5 pies de profundidad, de esta forma no se corre el riesgo de quedarse sin la capacidad de abastecer al equipo de riego que se encuentra relacionado a este pozo y por consiguiente la operación de la turbina se da de manera eficiente.

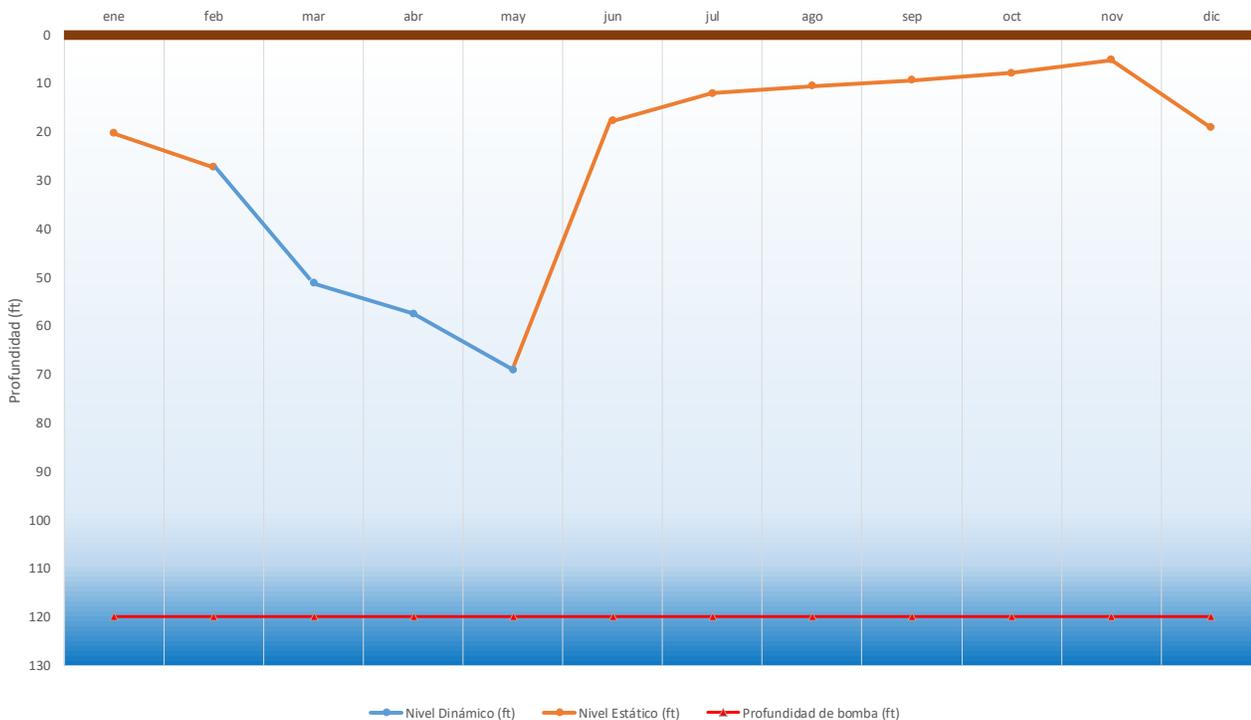


FIGURA 55. COMPORTAMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO DEL POZO UBICADO EN LA FINCA RÍO PLATA

iii. Monitoreo de calidad de agua subterránea

Antes del inicio del periodo de operación de riego para la zafra 2018-19 se realizaron diversos análisis de calidad de agua para riego en los pozos que se realizaron mantenimientos preventivos, este tipo de análisis es uno de los factores más importantes durante el mantenimiento de los pozos mecánicos, ya que la calidad de agua afecta tanto los rendimientos de las áreas productivas en las que se aplique esta agua, las condiciones físicas del suelo así como las condiciones de los equipos de riego utilizados para ello (Rodas 2015), en el cuadro 8 se resumen los resultados obtenidos de estos análisis.

CUADRO 8. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA

Finca	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	FE (mg/l)	Mn (mg/l)	CE (μS/cm)	pH	Total sólidos disueltos TSD (mg/l)
Rango usual	0-40	0-20	0-15	0-0.2	0-30	0-20	0-100			0-300	6-8.5	0-100
LA NIÑA	15.9	17.2	9.0	5.1	25.0	9.0	126.0	0.3	0.2	292	8.1	152
VICTORIAS-MASAGUA	114.1	36.8	8.0	18.5	180.0	67.0	86.0	0.3	0.2	849	7.9	441
SANTA MARIA SUR (2)	12.7	31.2	11.9	5.8	20.0	10.0	131.0	0.5	0.1	350	7.4	182
SAN RAFAEL	15.9	16.8	12.9	6.4	25.0	10.0	131.0	0.1	0.1	351	8.4	182
SANTA MARIA NORTE (1)	22.2	22.8	8.5	5.6	35.0	7.0	122.0	0.3	0.2	333	7.5	173
AMAZONAS	38.0	32.8	18.8	2.5	60.0	5.0	167.0	0.6	0.3	450	7.5	234
LA AURORA (300)	50.7	36.0	12.4	8.2	80.0	9.0	147.0	0.2	0.2	500	7.2	260
CUN CUN		12.4	9.2	2.3	15.0	1.0	87.0	0.2	0.1	215	7.9	112
AGRICOLA DEL SUR NORTE (1)	9.5	24.8	14.3	5.1	15.0	9.0	139.0	0.3	0.1	336	7.9	175
AGRICOLA DEL SUR SUR (2)	22.2	21.6	7.0	9.5	35.0	12.0	137.0	0.2	0.2	404	7.8	210

Según los rangos usuales establecidos (Baccaro 2006), algunos iones como el sodio, magnesio, cloro y sulfatos provenientes del agua para riego o de las propiedades del suelo se pueden acumular y llegar a concentraciones que afectan los cultivos dependiendo de la tolerancia que afectan a los mismo según las condiciones. Como se puede observar en los pozos de Victorias-Masagua y La Aurora (300), la concentración de sodio es superior a los rangos usuales, pudiendo afectar tanto las condiciones del cultivo, como las propiedades físico-químico del suelo en que se aplica, debido a la salinidad que el mismo produce (García 2012).

En lo que respecta al calcio, cuando existen concentraciones bajas del mismo; el contenido de sodio y magnesio reducen la velocidad de infiltración de estos suelos debido a que se

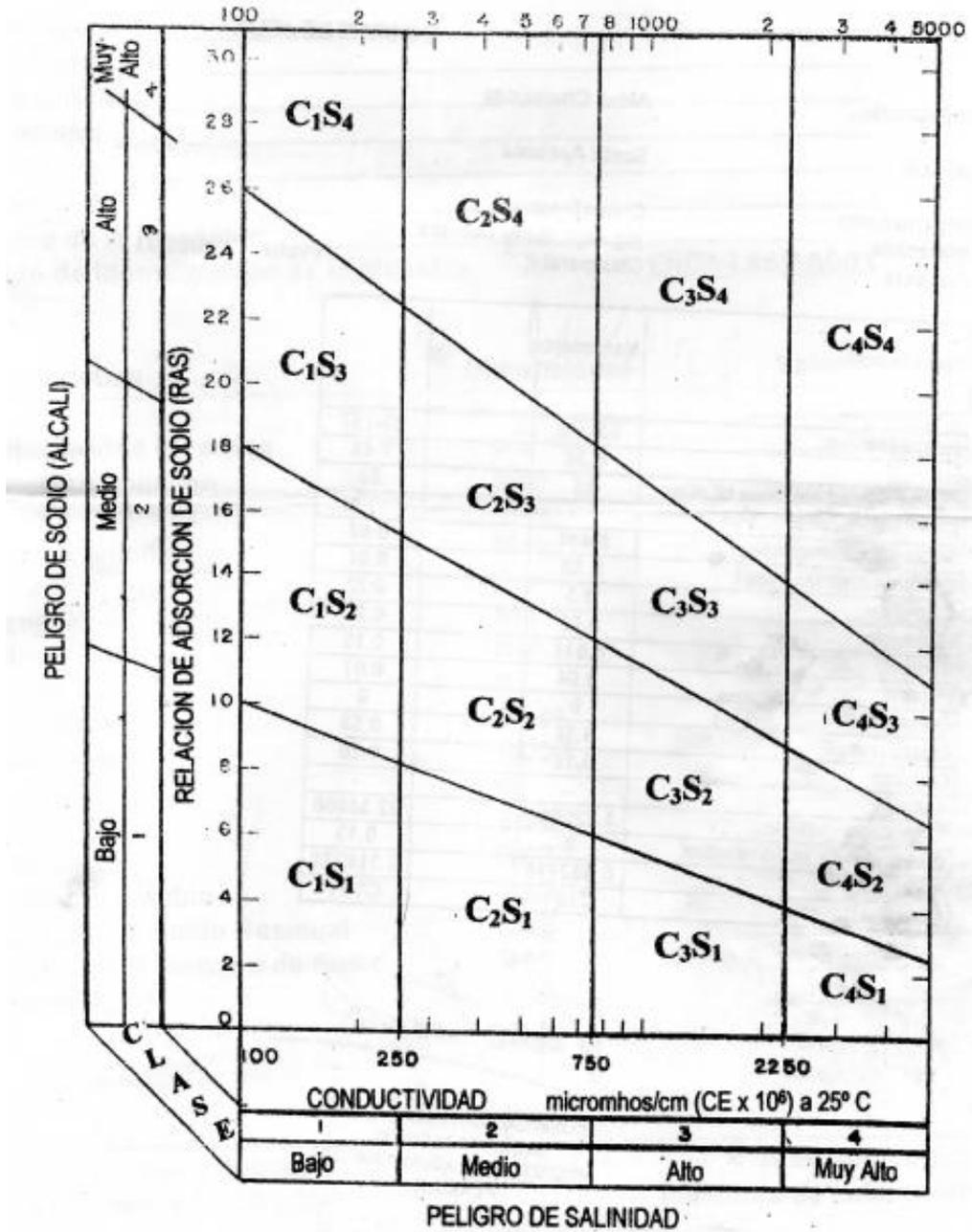
causa una dispersión de las partículas finas de arcilla, parte importante de los macro y micro poros, esto tiene como consecuencia un bajo suministro de agua al cultivo por parte del suelo (García 2012). Los pozos de La Niña, San Rafael y Cun Cun podrían verse afectados por este principio, siendo los que poseen las más bajas concentraciones de calcio, sin embargo, es de tener en cuenta que las concentraciones de sodio y magnesio se encuentran dentro de los rangos usuales del agua para riego.

El agua pura es mal conductor de electricidad, sin embargo, al contener sales disueltas puede conducirla de manera directamente proporcional a la cantidad de sales que la misma posea. Este concepto es utilizado para determinar la salinidad en el agua; uno de los factores que afecta de manera considerable las propiedades del suelo, debido a la alta concentración de sales más solubles que carbonato de calcio y yeso lo cual afecta de manera radical el desarrollo del cultivo, ya que disminuye la asimilación de nutrientes para las plantas y la actividad microbiana es prácticamente nula (Baccaro 2006).

Únicamente los pozos de La Niña y Cun Cun poseen una conductividad eléctrica dentro de los parámetros ideales de calidad de agua para riego, en los otros pozos que se realizó los análisis de agua correspondiente poseen problemas de salinidad, corriendo el riesgo de que se incremente en exceso el contenido de sales en el suelo y la planta se vea afectada, disminuyendo los rendimientos en el cultivo o en casos extremos la muerte de las mismas.

El pH de las muestras analizadas se encuentra dentro de los rangos permisibles de calidad de agua para riego, en lo que respecta a este parámetro se puede determinar el agua de cada uno de los pozos como ideal para riego (Baccaro 2006). Finalmente, en lo que respecta al total de sólidos disueltos la concentración de este parámetro en la mayoría de las aguas para riego es menor a 100 mg/L, sin embargo, al observar los resultados obtenidos ninguna de las muestras se encuentra dentro de los rangos medios, esto debido a que las aguas subterráneas generalmente presentan valores superiores a los rangos establecidos (García 2012).

Se realizó la clasificación de la calidad de agua para riego utilizando para ello el diagrama de clasificación del U.S. Laboratory Salinity (USLS) (figura 56), la cual determina la calidad del agua en base a la relación de adsorción de sodio (RAS) con la conductividad eléctrica que la muestra de agua posea.



Fuente: (Baccaro 2006)

FIGURA 56. DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE AGUA PARA RIEGO

En base al diagrama de clasificación de agua para suelo se determinó la clase de agua correspondiente a cada una de las muestras analizadas, detallando los resultados en el cuadro 9.

CUADRO 9. RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN DE AGUA PARA RIEGO

Región	Finca Rango usual	RAS (cmol/L)	CE (μ S/cm)	Clasificación de agua
		0-15	0-300	
2	LA NIÑA	4.4	292	C2S1
2	VICTORIAS-MASAGUA	24.1	849	C3S3
2	SANTA MARIA SUR (2)	2.7	350	C2S1
2	SAN RAFAEL	4.1	351	C2S1
2	SANTA MARIA NORTE (1)	5.6	333	C2S1
3	AMAZONAS	7.5	450	C2S1
3	LA AURORA (300)	10.3	500	C2S2
6	CUN CUN	0.0	215	C1S1
6	AGRICOLA DEL SUR NORTE (1)	2.1	336	C2S1
6	AGRICOLA DEL SUR SUR (2)	5.9	404	C2S1

Como se puede observar únicamente la muestra del pozo de Cun Cun fue determinada de la clase C1S1, la misma es un agua de baja salinidad, apta para riego en todos los casos, el agua de esta clase puede presentar problemas únicamente en los suelos con baja permeabilidad; además de ello el contenido de sodio es bajo, sin embargo, también puede provocar problemas en cultivos muy sensibles al sodio, esta clase es definida como la más adecuada o de mayor calidad para riego (Baccaro 2006).

En lo que respecta al agua de los pozos de La Niña, Santa María Sur (2), San Rafael, Santa María Norte (1), Amazonas, Agrícola Del Sur Norte (1) y Agrícola Del Sur (2) se clasifican como C2S1, la misma se clasifica como apta para riego (Baccaro 2006). Se tiene que tener la consideración que el sistema USDA evalúa solo dos características del agua y únicamente indica la consecuencia de incrementar las condiciones de sodio en las aguas, por lo cual puede ser considerada como una clasificación incompleta.

El pozo de La Aurora (300) se determina como agua de clase C2S2, la cual posee una salinidad media, en algunos casos es indispensable el emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad para realizar un lavado en estos suelos. En lo que respecta al sodio, existe cierto peligro de acumulación de este en el suelo, especialmente en suelos muy pesados y de baja permeabilidad, debiendo vigilar las condiciones físicas del suelo, siendo determinada como agua utilizable para riego, pero teniendo las precauciones correspondientes (García 2012).

Por último, el pozo de Victorias-Masagua fue determinado como una clase C3S3, la calidad de esta puede ser utilizada para riego sin embargo los cuidados y precauciones necesarias son más estrictos, debido a la alta salinidad y contenido de sodio que la misma posee siendo la única muestra que sobrepasó los rangos usuales de RAS. Existe gran peligro de acumulación de sodio en el suelo, por lo cual se aconseja el aporte de materia orgánica y aplicación de yeso para corregir posibles problemas, también es necesario un buen drenaje y aplicación de altos volúmenes de agua en cada evento de riego para lavar el suelo (García 2012).

E. Evaluación

1. Se logró determinar el comportamiento del nivel freático de 17 de los pozos instalados en las áreas productivas del ingenio, determinando la tendencia de recarga hídrica que poseía cada uno de ellos, además del abatimiento que se presentaba en el momento de operación del equipo de riego correspondiente, se previó que el nivel freático del agua disminuyera a una profundidad mayor a la que se encontraba la turbina y de esta forma mantener en óptimas condiciones al equipo de bombeo.
2. Se realizaron análisis de agua en 10 de los pozos utilizados para riego, determinando que la calidad del agua proporcionada por los mismos es adecuada para el riego; evitando de esta forma que se afecten las condiciones de los equipos de riego, las condiciones del suelo y además obtener un rendimiento óptimo del cultivo.
3. De los 17 pozos monitoreados, 13 de ellos se encuentran bajo la influencia de la cuenca del río María Linda, convirtiéndose de esta forma en la cuenca más importante en cuanto a la extracción del vital recurso hídrico ya que la mayoría de las áreas productivas del ingenio se encuentran bajo esta influencia, por otra parte 4 de estos pozos son encontrados en la cuenca del río Achiguate convirtiéndose de este modo en la segunda cuenca de mayor importancia para los intereses de la empresa.

F. Constancias

Se realizó el monitoreo del nivel freático del agua en 17 pozos, determinando el comportamiento de la recarga y abatimiento durante la operación de cada uno de ellos, con el fin de aprovechar eficientemente el uso de dichos pozos, además se realizó un análisis químico de agua a los 10 pozos que se les realizó mantenimiento durante el periodo de reparación, además de ello se determinó que de los 17 pozos evaluados; 13 de ellos poseen influencia de la cuenca del río María Linda, por otra parte los 4 pozos restantes se encuentran en un área de influencia correspondiente a la cuenca del río Achígate.



Monitoreo de Pozos

Departamento de Ingeniería Agrícola
Ingenio Santa Ana



Fecha: _____

No.	ID Pozo	Finca	Nivel Estático (m)	Tiempo Detenida (horas)	Nivel Dinámico (m)	Tiempo Operando (horas)	RPM	Presión de Operación (PSI)	Caudal Op.	Observaciones
1	420-0091	La Niña								
2	420-0083	Santa María (Pozo Norte)								
3	420-0094	Amazonas								
4	420-0096	La Aurora (300)								
5	307-0016	La Aurora (200)								
6	307-0015	La Aurora (100)								
7	420-0095	Orinoco								
8	307-0012	Paso Antonio 100 (2) PIV								
9	307-0014	Paso Antonio 100 (3)								
10	307-0013	Paso Antonio 300 (1)								
11	420-0017	Río Plata								
12	420-0093	Río Plata								
13	420-0090	Agrícola del Sur (Pozo Norte)								
14	420-0092	Agrícola del Sur (Pozo Sur)								
15	420-0097	Cun Cun								

Inscripción de Equipo Nuevo por Monitorear									
No.	Región	Código Finca	Nombre Finca	ID Pozo	Motobomba	Sistema de Riego	Latitud	Longitud	Altitud
1									
2									
3									

FIGURA 57. FORMATO DE CAMPO UTILIZADO PARA EL MONITOREO DE NIVEL FREÁTICO DEL AGUA

Informe de Análisis Físicoquímico de Agua

Empresa / Cliente:	DAHO POZOS DE CENTROAMÉRICA, S.A.	PER	2822	Registro Hidroaqua:	93916-AFQ
Dirección:	Calzada La Paz 4-30 zona 6			Tipo de Muestra:	Agua de Pozo
Procedencia:	2822	Captación - Fecha y Hora:	11/12/16	04:00:00 p.m.	
Muestreo por:	Cliente	Punto de Muestreo:	Pozo	Recepción - Fecha y Hora:	14/12/16 11:50:00 a.m.
Volumen Muestra:	1 litro	Tipo de Envase:	Plástico	Inicio del Análisis:	14/12/16
Contacto:	Alex Sicay			Fecha Informe:	20/12/16

Parámetro	Unidad de Medida	Resultados	Norma Guatemalteca COGUANOR 29 001 para Agua Potable		Método de Análisis
			Límite Máximo Aceptable	Límite Máximo Permissible	
pH	Unidades de pH	7.26	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5	SMEWW 4500-H ¹
Conductividad Eléctrica	µSiemens/cm	400	750	1500	Electroquímico
Salinidad	g/L	0.19	---	---	HWAH 10073 ²
Temperatura	°C	No Registrada	15 - 25°C	34°C	SMEWW 2550-B
Color	Unidades Pt-Co	0	5	35	HWAH 8025
Olor	Sensorial	No Rechazable	No Rechazable	No Rechazable	Organoléptico
Apariencia	Visual	Cristalina	---	---	SMEWW 2010
Turbiedad	UNT	1.27	5	15	HWAH 8237
Cloro Residual	mg/L	0.0	0.5	1	HWAH 10069
Hierro Total	mg/L	0.20	0.3	---	SMEWW 3500 Fe D
Manganeso	mg/L	0.176	0.1	0.4	HWAH 8034
Nitritos	mg/L	0.014	-	3.0	HWAH 8507
Sulfatos	mg/L	0	100	250	HWAH 8051
Nitratos	mg/L	3.4	---	50.0	HWAH 8039
Fosfatos	mg/L	0.78	---	---	HWAH 8048
Flúor	mg/L	0.19	---	1.7	HWAH 8029
Sodio (como Cloruro de Sodio)	mg/L	9.51	---	---	HWAH 8206-1
Sílice (SiO ₂)	mg/L	85	---	---	HWAH 8185
Dureza Total como CaCO ₃	mg/L	71	100	500	SMEWW 2340 C
Dureza de Calcio como CaCO ₃	mg/L	45	---	---	SMEWW 3500 Ca D
Calcio (Ca)	mg/L	18.02	75	150	SMEWW 3500 Ca D
Dureza de Magnesio como CaCO ₃	mg/L	26	---	---	SMEWW 3500 Mg E
Magnesio (Mg)	mg/L	6.31	50	100	SMEWW 3500 Mg E
Cloruros	mg/L	15	100	250	HWAH 8206
Dióxido de Carbono	mg/L	22	---	---	HWAH 8205
Potasio	mg/L	9.7	---	---	HWAH 8049
Alcalinidad Total	mg/L	177	---	---	HWAH 8204
Alcalinidad por Carbonatos	mg/L	0	---	---	HWAH 8204
Alcalinidad por Hidróxidos	mg/L	0	---	---	HWAH 8204
Alcalinidad por Bicarbonatos	mg/L	177	---	---	HWAH 8204
Total Sólidos Disueltos (TDS)	mg/L	208	500	1000	Electroquímico
Taninos	mg/L	0.3	---	---	HWAH 8193

1 : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition, 2012, USA

CaCO₃ = Carbonato de Calcio

°C = Grados Centígrados

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

µSiemens/cm = Micro Siemens por Centímetro

Pt-Co = Platino Cobalto

2 : Hach Water Analysis Handbook

g/L = Gramos por Litro

--- : No especificado en la Norma

mg/L = miligramos por Litro = partes por millón (ppm)



José García



Marta Gisela Castiella de Cruz
Química Farmacéutica
Colegiado 702

FIGURA 58. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA REALIZADO EN POZO DE FINCA LA AURORA

Informe de Análisis Físicoquímico de Agua

Empresa / Cliente:	DAHO POZOS DE CENTROAMÉRICA, S.A.	PER	2813	Registro Hidroaqua:	83116-AFG
Dirección:	Calzada La Paz 4-30 zona 5			Tipo de Muestra:	Agua de Pozo
Procedencia:	PER 2813		Captación - Fecha y Hora:	04/11/16	07:00:00 a.m.
Muestreo por:	Cliente	Punto de Muestreo:	Pozo	Recepción - Fecha y Hora:	04/11/16 10:45:00 a.m.
Volumen Muestra:	1 litro	Tipo de Envase:	Plástico	Inicio del Análisis:	04/11/16
Contacto:	Alex Stacy		Fecha Informe:	11/11/16	

Parámetro	Unidad de Medida	Resultados	Norma Guatemalteca COGUANOR 29 001 para Agua Potable		Método de Análisis
			Límite Máximo Aceptable	Límite Máximo Permisible	
pH	Unidades de pH	7.89	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5	SMEWW 4500-H ¹
Conductividad Eléctrica	µSiemens/cm	336	750	1500	Electroquímico
Salinidad	g/L	0.16	—	—	HWAH 10073 ²
Temperatura	°C	No Registrada	15 - 25°C	34°C	SMEWW 2550-B
Color	Unidades Pt-Co	15	5	35	HWAH 8025
Olor	Sensorial	No Rechazable	No Rechazable	No Rechazable	Organoléptico
Apariencia	Visual	Clara	—	—	SMEWW 2010
Turbiedad	UNT	1.34	5	15	HWAH 8237
Cloro Residual	mg/L	0.0	0.5	1	HWAH 10069
Hierro Total	mg/L	0.25	0.3	—	SMEWW 3500 Fe D
Manganeso	mg/L	0.107	0.1	0.4	HWAH 8034
Nitritos	mg/L	0.276	-	3.0	HWAH 8507
Sulfatos	mg/L	9	100	250	HWAH 8051
Nitratos	mg/L	4.7	—	50.0	HWAH 8039
Fosfatos	mg/L	0.57	—	—	HWAH 8048
Flúor	mg/L	0.25	—	1.7	HWAH 8029
Sodio (como Cloruro de Sodio)	mg/L	9.51	—	—	HWAH 8206-1
Silice (SiO ₂)	mg/L	76	—	—	HWAH 8185
Dureza Total como CaCO ₃	mg/L	121	100	500	SMEWW 2340 C
Dureza de Calcio como CaCO ₃	mg/L	62	—	—	SMEWW 3500 Ca D
Calcio (Ca)	mg/L	24.82	75	150	SMEWW 3500 Ca D
Dureza de Magnesio como CaCO ₃	mg/L	59	—	—	SMEWW 3500 Mg E
Magnesio (Mg)	mg/L	14.32	50	100	SMEWW 3500 Mg E
Cloruros	mg/L	15	100	250	HWAH 8206
Dióxido de Carbono	mg/L	16	—	—	HWAH 8205
Potasio	mg/L	5.1	—	—	HWAH 8049
Alcalinidad Total	mg/L	139	—	—	HWAH 8204
Alcalinidad por Carbonatos	mg/L	0	—	—	HWAH 8204
Alcalinidad por Hidróxidos	mg/L	0	—	—	HWAH 8204
Alcalinidad por Bicarbonatos	mg/L	139	—	—	HWAH 8204
Total Sólidos Disueltos (TDS)	mg/L	175	500	1000	Electroquímico
Taninos	mg/L	0.0	—	—	HWAH 8193

1 : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition, 2012, USA

CaCO₃ = Carbonato de Calcio

°C = Grados Centígrados

UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

µSiemens/cm = Micro Siemens por Centímetro

Pt-Co = Platino Cobalto

2 : Hoch Water Analysis Handbook

g/L = Gramos por Litro

— : No especificado en la Norma

mg/L = miligramos por Litro = partes por millón (ppm)

José García

Marta Guisela Cardona de Crespo
Químico Farmacéutico
Colegiado 702

FIGURA 59. ANÁLISIS DE AGUA REALIZADO EN POZO DE FINCA LA NIÑA

3.4.2 Servicio 2: Determinación de la capacidad de infiltración que poseen las áreas regadas con equipos de pivote central y avance frontal en las áreas productivas del ingenio.

A. Planteamiento del problema

Durante muchos años se han estado aplicando láminas de riego en los equipos de pivote central o avance frontal en una forma de receta, generalmente las administraciones buscan que sus equipos de riego mecanizado no se mantengan detenidos en campo, por lo cual buscan la forma de programar estos equipos con el fin de que los mismos terminen de regar el área que cada uno de ellos tiene asignado en una frecuencia de riego de 10 días.

Consecuencia de ello en algún momento estos equipos de riego no aplican la lámina de agua requerida por el cultivo en cada una de sus distintas etapas fenológicas o como contraparte, siendo lo que sucede frecuentemente aplican láminas de riego que el suelo no es capaz de infiltrar, provocando de esta forma una gran cantidad de pérdidas de agua por escorrentía; vale la pena resaltar que no es únicamente agua lo que se pierde, sino que esto implica costos adicionales, deficiente uso del recurso hídrico además de la degradación del suelo por un mal manejo del mismo.

B. Objetivos específicos

1. Determinar la velocidad de infiltración para las primeras horas.
2. Determinar la infiltración básica.

C. Metodología

- i. Determinación de la velocidad de infiltración para las primeras horas

Ubicación de punto a evaluar

1. Se debió encontrar una ubicación idónea y representativa del suelo a estudiar, esta localización debió encontrarse sobre el surco (figura 60), es decir evitando ubicar los anillos en zonas compactadas por vehículos o personas debido a que presentan una infiltración menor.
2. En suelos muy arcillosos se debió evitar instalar los anillos sobre grietas de expansión-contracción debido a que el agua se fugaría dentro de las mismas y la prueba realizada finalizaría sin éxito alguno.



FIGURA 60. UBICACIÓN DE LOS CILINDROS INFILTROMETROS

Colocación, llenado de agua y toma de medidas

1. Fue de suma importancia realizar estas tres labores sin alterar las condiciones del suelo, es decir su porosidad natural, ya que los factores determinantes de la capacidad de absorción están estrechamente ligados con este factor.
2. Al momento de colocar los anillos en la ubicación elegida anteriormente fue necesario limpiar superficialmente la zona, además se debió ser cuidadoso que no se encontraran piedras ni raíces bajo el filo de ninguno de los anillos ya que estos se deforman con facilidad.
3. Se debió asegurar que el anillo interior quedara centrado respecto del exterior y además que al clavar los anillos al suelo utilizando para ello el mazo y el trozo de madera, ambos quedaron a igual profundidad en todo su perímetro, siendo importante llegar al menos a 20 cm de profundidad y que este proceso se realizara al mismo tiempo (figura 61); de esta forma se redujo el riesgo de sufrir fugas de agua.



FIGURA 61. FORMA CORRECTA DE COLOCAR LOS CILINDROS INFILTROMETROS

4. Una vez clavados los anillos se cubrió el fondo del anillo interior con el nilón para evitar el impacto directo del agua sobre el suelo desnudo y que este provocara la desagregación de partículas, luego se iniciaba llenando completamente y de forma cuidadosa el anillo exterior; el mismo proceso de llenado se realizaba en el anillo interior.
5. Terminado el paso anterior se procedía a verificar que no existieran fugas de agua provocadas por la presencia de piedras o raicillas y luego a se cortaba el nilón y extraía del anillo interior, siendo muy importante iniciar el cronometro al momento de extraer el mismo y de esta forma iniciaba la prueba.
6. La toma de datos y anotación en el formato de campo de la altura que habia descendido el agua pudo observarse en la regla graduada que se encuentra colocada en el anillo interior, al iniciar la prueba la toma de datos fue a cada minuto, conforme el tiempo transcurría estos datos eran tomados a cada tres, cinco, diez, veinte y treinta minutos; los cambios se realizaron de forma gradual, respecto a los cambios de altura que se presentaba, dando la pauta un cambio de altura menor a 0.5 cm o ya sea por una gran cantidad de datos tomados en cada intervalo de tiempo.
7. Era necesario tener en cuenta que el nivel del agua en ambos cilindros se mantuviera lo más similar posible, la prueba estaba por finalizar una vez alcanzada la tasa de infiltración constante; era aconsejable continuar la toma de datos hasta tener la absoluta certeza de que el agua está circulando por un mismo horizonte (figura 62).



FIGURA 62. NIVEL DE AGUA EN LOS CILINDROS DE INFILTRACIÓN

Determinación de la infiltración básica

La infiltración básica hace referencia a cuando la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante en el tiempo. La ecuación que permite determinar la Infiltración básica está dada por Kostiakov (1932) y mejorada por Philips (1957) se determinó mediante la siguiente ecuación.

$$d=K.tm$$

donde:

d = infiltración acumulada en el tiempo t (mm)

K = Constante que depende de la estructura inicial del suelo (en seco). Es la lámina que se infiltra en el primer instante mayor que cero (mm)

m = Constante que depende de la estabilidad de la estructura del suelo frente al agua, $0 < m < 1$

K en suelos arenosos o francos con grietas presentan valores entre 10 a 30

Suelos con estructuras estables frente al agua muestran valores de **m** mayores a 0,6

Para obtener los valores **K** y **m** se hace lo siguiente:

$\text{Log } d = \log K + m \cdot \log t$ ecuación que responde a la línea recta $y = b + a \cdot x$, donde

$\text{Log } d = y$ = variable dependiente

$\text{Log } K = b$ = ordenada en el origen (constante del suelo)

$m = a$ = pendiente de la recta (constante del suelo=

$\text{Log } t = x$ = Variable independiente

D. Resultados y discusión

Durante el periodo de zafra 2018-19 se logró realizar 12 pruebas de infiltración, distribuidas en 3 de las regiones de áreas productivas comprendidas por el ingenio Santa Ana; siendo utilizados los resultados obtenidos en estas pruebas para lograr realizar el diseño y programación de 4 equipos de riego mecanizado. Siendo un total de 1 equipo de avance frontal y 3 equipos con sistema de riego por pivote central, los resultados obtenidos durante estas evaluaciones se presentan a continuación.

i. Determinación de la velocidad de infiltración para las primeras horas

En el cuadro 10 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de infiltración realizada, con fines de riego, se interesa el conocer la capacidad de velocidad de infiltración por horas, el tiempo de duración de la prueba se determinó hasta alcanzar la infiltración básica, es decir cuando la velocidad de infiltración tiende a hacerse constante en el tiempo (Lima 2003).

CUADRO 10. RESULTADO DE PRUEBAS DE INFILTRACIÓN REALIZADAS

REGIÓN	NOMBRE DE FINCA	PANTE	SISTEMA DE RIEGO	DURACIÓN DE LA PRUEBA (horas)	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN REGISTRADAS EN LAS DISTINTAS HORAS (mm/hora)								Textura de suelo en punto de muestreo	
					1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H		
2	La Pinta	22	Pivote Central	4	36	27	26							FRANCO
2	La Pinta	52	Pivote Central	8	24	18	15	15	12	12	12	12		FRANCO
2	La Pinta	35	Pivote Central	7	33	36	34	31	30	36				FRANCO
2	La Pinta	50	Pivote Central	6	228	235	236	164	195					FRANCO
3	Paso Antonio	107	Pivote Central	5	96	66	58.5	43.5	30					ARCILLOSO
3	Paso Antonio	108	Pivote Central	6	180	160.5	159	148	130					ARCILLOSO
3	Paso Antonio	108	Pivote Central	6	3	1.6	1.4	1.2	1	1.2				ARCILLOSO
5	California	210	Pivote Central	7	156	120	165	135	144	104	108			ARCILLOSO
5	California	208	Pivote Central	7	30	30	24	24	30	28	26			ARCILLOSO
5	California	307	Pivote Central	7	59	44	45	40	38	40	41			ARCILLOSO
6	Piedras Coloradas	1212	Avance Frontal	7	30	21	18	18	18	16				FRANCO ARENOSO
6	Piedras Coloradas	1209	Avance Frontal	7	46	32	38	33	30	32				FRANCO ARENOSO

La velocidad de infiltración promedio obtenida en las primeras dos horas serán utilizadas para realizar la programación de velocidad de operación de los equipos de riego por avance frontal y pivote central, esto debido a que con el diseño de riego para estos equipos se

buscará la aplicación de una lámina adecuada a los requerimientos hídricos del cultivo en cada una de sus etapas fenológicas, además de evitar la aplicación del recurso hídrico sin que el suelo tenga la capacidad de infiltrarlo, disminuyendo el alto consumo de agua para riego, gastos económicos innecesarios y disminuyendo la erosión de suelo por escorrentía (Hidroambiente 2018).

Para la programación eficiente de estos equipos de riego se tomará en cuenta únicamente los resultados de velocidad de infiltración encontrados con un 15 % de desviación estándar con respecto a la media (Sanchez 2010), esto debido a que en algunas de las pruebas realizadas en las áreas cubiertas por un mismo equipo de riego se obtuvieron resultados atípicos consecuencia de distintos parámetros de manejo o densidad poblacional de plagas en el suelo.

ii. Determinación de la infiltración básica

Cada prueba de infiltración realizada fue llevada hasta la infiltración básica, es decir que para el proyecto se necesitaba la determinación de dos factores importantes de capacidad de infiltración de agua en el suelo, la velocidad de infiltración por hora y la infiltración básica en cada uno de los puntos de muestreo, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 11, haciendo un análisis de la relación existente entre la infiltración básica obtenida en comparación con la textura de suelo determinada por la persona responsable del muestreo en cada uno de los eventos realizados.

CUADRO 11. INFILTRACIÓN BÁSICA DETERMINADA EN LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

REGIÓN	NOMBRE DE FINCA	PANTE	SISTEMA DE RIEGO	Textura de suelo en punto de muestreo	INFILTRACIÓN BÁSICA (mm/hora)
2	La Pinta	22	Pivote Central	FRANCO	8.81
2	La Pinta	52	Pivote Central	FRANCO	6.79
2	La Pinta	35	Pivote Central	FRANCO	15.11
2	La Pinta	50	Pivote Central	FRANCO	144.59
3	Paso Antonio	107	Pivote Central	ARCILLOSO	21.55
3	Paso Antonio	108	Pivote Central	ARCILLOSO	96.41
3	Paso Antonio	108	Pivote Central	ARCILLOSO	0.48
5	California	210	Pivote Central	ARCILLOSO	68.72
5	California	208	Pivote Central	ARCILLOSO	15.92
5	California	307	Pivote Central	ARCILLOSO	18.76
6	Piedras Coloradas	1212	Avance Frontal	FRANCO ARENOSO	8.50
6	Piedras Coloradas	1209	Avance Frontal	FRANCO ARENOSO	10.75

De las pruebas realizadas no fueron tomadas en cuenta la realizada en el lote 50 de la finca La Pinta, la prueba uno realizada en Paso Antonio pante 108 y la realizada en el pante 210 de California debido a que los datos obtenidos de la infiltración básica presentada se encontraba fuera de los rangos permisibles establecidos (Rosales 2016); este problema fue causado por distintos factores como lo son la alta densidad poblacional de taltuzas dentro de los lotes en los que se realizaron las pruebas, teniendo en cuenta la red de túneles que estos generalmente cavan, además del rastreo de los lotes y del aporque de los mismos, coincidentemente los tres lotes presentaban dos o más de estas condiciones en común.

Por otra parte, realizando una validación de los valores de infiltración básica obtenidos durante las pruebas realizadas (cuadro 11) y los valores teóricos de infiltración básica que posee cada una de las texturas de suelo evaluadas (cuadro 12) se puede notar que algunas de ellas se encuentran muy alejados de los rangos de variación establecidos (Rosales 2016).

CUADRO 12. VALORES DE INFILTRACIÓN BÁSICA DE LOS SUELOS

Textura del Suelo	Infiltración Básica Rango de Variación (mm/hora)	Infiltración Básica Promedio (mm/hora)
Arena	25 – 50	50
Franco Arenoso	13 – 75	25
Franco	7.5 – 20	12.5
Franco Limoso	2 – 15	7.5
Arcillo Limoso	0.2 – 5	2.6
Arcilla	0.1 – 1	0.5

Fuente: Rosales 2016.

La variación radica en que la textura de suelo en el punto de muestreo se registra en base al criterio que posee la persona encargada de realizar la prueba de infiltración, es decir se posee un gran error en la determinación de textura, la forma de mejorar de manera considerable este problema es la realización de muestreo de suelos en estas áreas, para tener una comparativa de mayor validez (Sanchez 2010).

El proyecto de la determinación de las propiedades físicas en áreas regadas por equipos de pivotes centrales o avances frontales es uno de los de mayor importancia a futuro, con el fin de tener todas las características físicas y de capacidad de suelo para realizar el diseño y programación de velocidad de operación más eficiente para estos equipos de riego mecanizado con todos los criterios técnicos necesarios para la realización del mismo.

E. Evaluación

1. Fueron realizadas 12 pruebas con el fin de determinar la velocidad de infiltración que los suelos pertenecientes a las áreas productivas que son regadas mediante equipos de pivote central o avances frontales para de esta forma poder diseñar y realizar una programación de operación eficiente según las capacidades de infiltración del suelo y los requerimientos hídricos del cultivo para cada una de sus etapas fenológicas, el comportamiento de esta variable se presentó como una disminución exponencial de la capacidad de infiltración con el paso del tiempo.
2. Se determinó la infiltración básica para cada una de las pruebas realizadas, obteniendo la información necesaria para 4 equipos de riego mecanizado en 4 de las regiones productivas del ingenio, descartando tres de estas pruebas debido a la influencia de factores externos que afectaron la veracidad de los resultados obtenidos siendo las plagas del suelo y manejo del cultivo.

F. Constancias

Se realizaron 12 pruebas durante la ejecución del proyecto de determinación de capacidad de infiltración de las áreas que son regadas con sistemas de riego por equipo mecanizado, es decir los sistemas de riego por pivote central y avance frontal; se logró realizar la programación de 3 de estos equipos, aprovechando y haciendo eficiente la aplicación del riego según la capacidad de infiltración que cada uno de ellos posea.

Con este proyecto se logró utilizar de manera eficiente tanto el recurso hídrico, económico como de suelo; ya que en los bloques que se logró realizar la programación eficiente ya no se dan pérdidas de agua por escorrentía como sucedía antes de implementar las pruebas de infiltración.

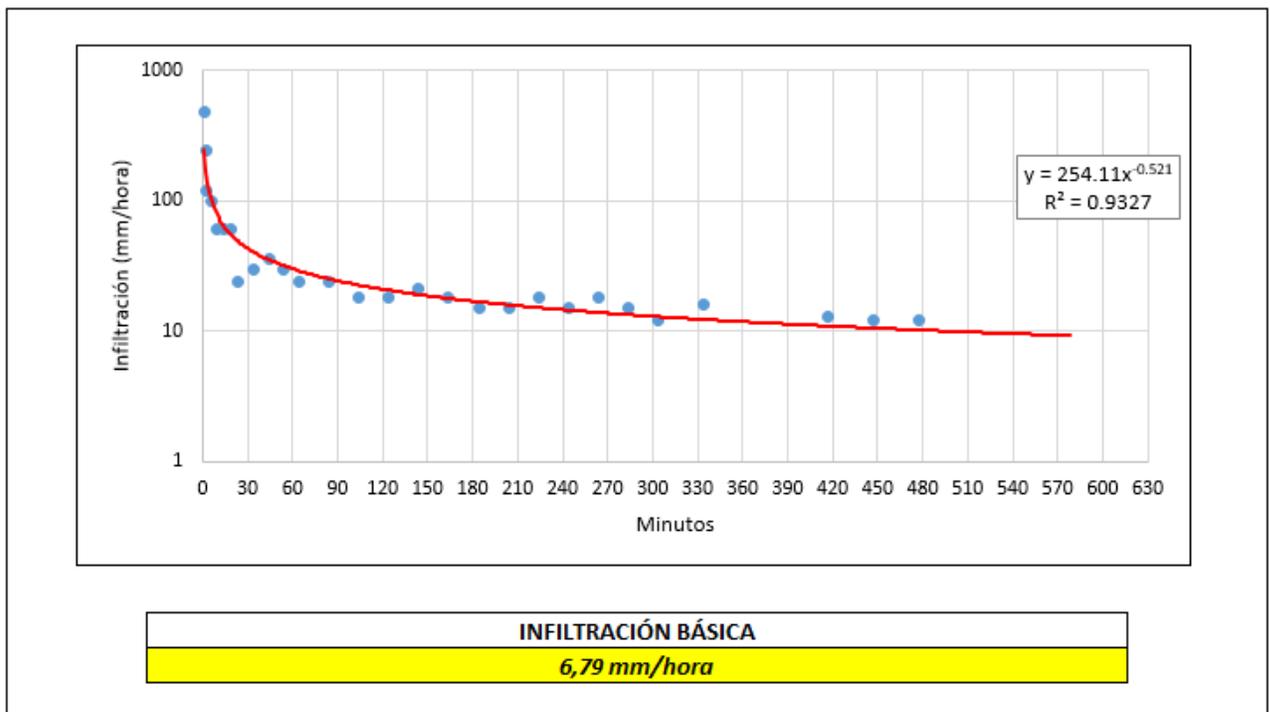


FIGURA 63. RESULTADOS DE INFILTRACIÓN BÁSICA EN PRUEBA REALIZADA EN FINCA LA PINTA



INFILTRACIÓN BÁSICA

Departamento de Ingeniería Agrícola
Ingenio Santa Ana



INFORMACION GENERAL

Fecha: 15/02/2018
Textura: Franca
Latitud: 14.1743700

Finca: La Pinta
Pante: 52
Longitud: -90.85961

No	Hora de lectura	Δ Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Llenado (cm)	Altura (cm)	Δ altura (cm)	Velocidad de infiltración		Observaciones
							cm/min	mm/hor	
1	8.43	0	0		0				
2	8.44	1	1		0.8	0.8	0.80	480	
3	8.45	1	2		1.2	0.4	0.40	240	
4	8.46	1	3		1.4	0.2	0.20	120	
5	8.49	3	6		1.9	0.5	0.17	100	
6	8.52	3	9		2.2	0.3	0.10	60	
7	8.57	5	14		2.7	0.5	0.10	60	
8	9.02	5	19		3.2	0.5	0.10	60	
9	9.07	5	24		3.4	0.2	0.04	24	
10	9.17	10	34		3.9	0.5	0.05	30	
11	9.27	10	44		4.5	0.6	0.06	36	
12	9.37	10	54		5	0.5	0.05	30	
13	9.47	10	64		5.4	0.4	0.04	24	
14	10.07	20	84		6.2	0.8	0.04	24	
15	10.27	20	104		6.8	0.6	0.03	18	
16	10.47	20	124		7.4	0.6	0.03	18	
17	11.07	20	144		8.1	0.7	0.04	21	
18	11.27	20	164		8.7	0.6	0.03	18	
19	11.47	20	184		9.2	0.5	0.03	15	
20	12.07	20	204		9.7	0.5	0.03	15	
21	12.27	20	224		10.3	0.6	0.03	18	
22	12.47	20	244		10.8	0.5	0.03	15	
23	13.07	20	264		11.4	0.6	0.03	18	
24	13.27	20	284		11.9	0.5	0.03	15	
25	13.47	20	304		12.3	0.4	0.02	12	
26	14.17	30	334		13.1	0.8	0.03	16	
27	15.40	83	417		14.9	1.8	0.02	13.012	
28	16.10	30	447		15.5	0.6	0.02	12	
29	16.40	30	477		16.1	0.6	0.02	12	

FIGURA 64. RESULTADOS DE PRUEBA DE INFILTRACIÓN REALIZADA EN FINCA LA PINTA

3.5 BIBLIOGRAFÍA

1. Baccaro, K. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar de la Plata. *RIA, Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35(3), 95-110. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86435307>
2. García O., A. (2012). *Criterios modernos para evaluación de calidad del agua para riego; (segunda parte)*. IAH, no. 7, 26-34. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-laahp.nsf/0/6E4999FFE5F6B8F005257A920059B3B6/\\$FILE/Art%205.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-laahp.nsf/0/6E4999FFE5F6B8F005257A920059B3B6/$FILE/Art%205.pdf)
3. Hidro Ambiente, Costa Rica. (2018). *¿Qué es una prueba de infiltración?* Recuperado de: <https://www.hidroambientecr.com/notas/que-es-una-prueba-de-infiltracion>
4. Lima, L. (2003). *Especificaciones técnicas del diseño de pruebas de infiltración*. Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
5. Montero, J. (2000). *Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario*. La Mancha, España: Universidad de Castilla.
6. Paz Fong, PD. 2010. Trabajo de graduación: 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. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 139 p.

7. Pec Hernández, MM. 2015. Trabajo de graduación: Preferencia de parasitismo de *Cotensia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae), sobre diferentes instares de *Diatraea crambidoides* Grote (Lepidoptera: Crambidae). Diagnóstico y servicios realizados en ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 112 p.
8. Quiñonez, ME. (s.f.). *Trabajo de graduación: Evaluación semi comercial del efecto de dos programaciones de riego por aspersión tipo cañón, sobre el rendimiento de la caña de azúcar (Saccharum spp.) en plantía, en tres localidades; Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala, C.A.* (informe de tesis Ing. Agr.). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala. p. 133 (sin publicar).
9. Rodas, H. 2015. *Trabajo de graduación: Análisis de los niveles estáticos e hidroquímica en pozos mecánicos, parte baja de la subcuenca Coloiate, cuenca Acomé, diagnóstico y servicios realizados en el departamento de Ingeniería Agrícola, Ingenio Magdalena, Guatemala. C.A.* (Tesis Ing. Agr.). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía: Guatemala. 133 p.
10. Román-López, A., Inzunza-Ibarra, M. A., Villa-Castorena, M., & Catalán-Valencia, E. A. (2011). Modelación del abatimiento de pozos profundos. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 1-10. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57319955001.pdf>
11. Rosales, E. (2016). *¿Cómo hacer pruebas de infiltración?* Costa Rica: Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO – ITCR).

12. Sánchez, I., Zapata, N., & Faci, J. M. (2010). Combined effect of technical, meteorological and agronomical factors on solid-set sprinkler irrigation. II. Modifications of the wind velocity and of the water interception plane by the crop canopy. *Agric. Water Manage*, 97(10), 1591–1601.