

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

**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.**

PABLO DANIEL PAZ FONG

Guatemala, octubre de 2010

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

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.**

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

POR

PABLO DANIEL PAZ FONG

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2010

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

**RECTOR MAGNÍFICO
LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS**

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano
VOCAL CUARTO	P. Forestal Axel Esaú Cuma
VOCAL QUINTO	P. Contador Carlos Alberto Monterroso
SECRETARIO	Ing. Agr. MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, octubre de 2010

Guatemala, octubre de 2010.

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. **“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”**, 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”

Pablo Daniel Paz Fong

ACTO QUE DEDICO.

- A:
DIOS Por ser el Padre de la creación de todo lo que hay y somos en la Tierra y darme la oportunidad de lograr mi sueño.
- MIS PADRES Mirna Adelina Fong Cordón y Francisco Juventino Paz Carranza, por su amor incondicional, sabios consejos y mucho esfuerzo para poder proveerme de los recursos necesarios siempre para realizar esta meta.
- MIS HERMANOS Francisco José Paz Fong, María Del Rosario De León Fong, Gabriela María De León Fong, Marcela Arístides Fong y David Eduardo Paz Fong (Q.E.P.D.).
- MIS ABUELOS Froilan Fong Castellanos, Mirna Gabriela Cordón López, Augusto Paz (Q.E.P.D.) y Martha Carranza, gracias por todo su apoyo.
- MI NOVIA Por su gran amor y por su apoyo en todos mis sueños.
- MIS TÍOS Y TÍAS Froilan Enrique Fong Cordón gracias por tu apoyo para empezar a formarme como profesional, Julio Fernando Fong Cordón, Moira Regina Paz Carranza y especialmente a Jorge Luis Fong Cordón por su apoyo constante y consejos para lograr mis metas.

AGRADECIMIENTOS.

A:

MI CASA DE ESTUDIOS

La Universidad de San Carlos de Guatemala y a la Facultad de agronomía, por haberme formado como profesional.

MI SUPERVISOR

Ing. Agr. MSc. Ezequiel López Bautista, por su orientación y ayuda durante el transcurso del EPS y aportes al presente documento.

MI ASESOR

Ing. Agr. Rolando Lara Alecio, por su aporte de conocimientos y colaboración a ésta investigación.

INGENIO SANTA ANA

Por haberme permitido entrar a sus hogares y permitirme empezar la vida profesional.

MIS AMIGOS

Juan René Santizo, Aníbal Tzunux Sanic, Eduardo Pinto Navas, Edwin Archila, Gabriela Ortiz, Carlos Aguirre, Luis Pedro Utrera, Carlos Godoy, Rafael Sicajú, Víctor Jerónimo Tahuico, Enrique Acabal, Virgilio Martínez, Hugo Molina, Juan Carlos Pérez Trujillo, Mauricio Franco, Federico Bonilla, Jorge Pérez, Walberto Ramos, Jorge Sandoval, Jorge Mario Rosil, Hugo Sandoval, Carlos Franco, Mario Grijalva, Miguel Salazar, Oscar Oliva, Carlos Ávila, Ludwin Cabrera, Warren, Christopher Ardón, Julio Mora, Jack Herrarte, Henry Turcios, Manuel Sagastume, Walfred Herrera, Walter Bardales, Abner Martínez.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
CAPITULO I. DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE RIEGOS Y DRENAJES DEL INGENIO SANTA ANA, MUNICIPIO DE ESCUINTLA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA.	1
1.1 PRESENTACIÓN	2
1.2 MARCO REFERENCIAL	4
1.2.1 Información general del ingenio Santa Ana	4
1.2.1.1 Localización geográfica	4
1.2.1.2 Aspectos Climáticos	5
1.2.1.3 Extensión.....	5
1.2.1.4 La Empresa	5
1.2.1.5 La caña de azúcar dentro del ingenio.....	8
1.2.1.6 El cultivo de la caña de azúcar	8
1.2.1.7 Labores culturales	9
1.2.1.8 Productos Elaborados en el ingenio Santa Ana	10
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.4 METODOLOGÍA	14
1.4.1 Información primaria	14
1.4.1.1 Fase de gabinete	14
1.4.2 Información secundaria.....	14
1.4.2.1 Fase de Campo	14
1.4.3 Análisis de la información	15
1.4.4 Fase de Gabinete Final.....	15
1.5 RESULTADOS	16
1.5.1 Estructura organizacional	16
1.5.2 Situación actual.....	16
1.5.3 Matriz de priorización de problemas	17
1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	20
1.6.1 Conclusiones	20
1.6.2 Recomendaciones	21
1.7 BIBLIOGRAFÍA	22
CAPÍTULO II DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN LOS SISTEMAS DE RIEGO POR PIVOTES EN CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> <i>officinarum</i>) EN LA FINCA BOLIVIA DEL INGENO SANTA ANA, ESCUINTLA.	23
2.1 PRESENTACIÓN	24
2.2 MARCO TEÓRICO	25
2.2.1 Marco Conceptual.....	25
2.2.1.1 Riego	25
2.2.1.2 Importancia del riego en Caña de Azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>).....	25
2.2.1.3 Calidad del agua de riego.....	25
2.2.1.4 Relación agua-suelo-planta	26
2.2.1.5 Riego por aspersion	26
2.2.1.6 Ventajas e inconvenientes del riego por aspersion	27
2.2.1.7 Pivote central.....	29

2.2.1.8	Diseño y operación	36
2.2.1.9	Factores que afectan el coeficiente de uniformidad	36
2.2.1.10	Velocidad del viento en finca Bolivia	37
2.2.1.11	Coeficiente de uniformidad (CU)	37
2.2.1.12	Uniformidad de riego con equipos pivote.....	38
2.2.1.13	Eficiencias de riego.....	38
2.2.1.14	Cartas de aspersión.....	40
2.2.2	Marco Referencial.....	41
2.2.2.1	Características generales de la finca Bolivia	41
2.2.2.2	Mapa de ubicación donde se realizó el estudio	42
2.3	OBJETIVOS.....	44
2.3.1	Objetivo general.....	44
2.3.2	Objetivos específicos	44
2.4	METODOLOGÍA	45
2.4.1	Ubicación del área donde se realizó el estudio.....	45
2.4.2	Características Técnicas de los Pivotes de Riego	45
2.4.3	Metodología para determinar el coeficiente de uniformidad en el campo	45
2.4.4	Obtención de los parámetros de evaluación.....	48
2.4.5	Metodología para calcular el coeficiente de uniformidad	49
2.4.6	Cómo alcanzar los objetivos	49
2.4.7	Área de estudio.....	49
2.4.8	Cómo realizar los ajustes al sistema de riego.....	49
2.4.9	Diagrama de Flujo: Evaluación del Coeficiente de Uniformidad (CU) del riego por aspersión utilizando Máquinas de Pivote Central.	50
2.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
2.5.1	Cambios o Ajustes de los Sistemas de Riego (Pivotes)	81
2.5.2	Gráfica comparativa de coeficientes de uniformidad en pivotes:	82
2.5.3	Descripción técnica operativa de los sistemas de riego por pivote del ingenio Santa Ana:	82
2.5.4	Láminas aplicadas, consumos de agua y frecuencias de riego	86
2.6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
2.6.1	Conclusiones	87
2.6.2	Recomendaciones	88
2.7	BIBLIOGRAFÍA	89
2.8	ANEXOS.....	91
CAPÍTULO III. SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO SANTA ANA ESCUINTLA, GUATEMALA		107
3.1	PRESENTACIÓN	108
3.2	SERVICIO No. 1: Aforo de la red hídrica que entra a la finca Bolivia del ingenio Santa Ana.	109
3.2.1	Definición del problema	109
3.2.2	Objetivos.....	109
3.2.3	MARCO TEÓRICO	110
3.2.3.1	Aforo de corrientes naturales.....	110
3.2.3.2	Métodos de aforo de corrientes naturales de agua más utilizados	110
3.2.4	Metodología	116
3.2.4.1	Reconocimiento de campo	116
3.2.4.2	Aforo con el método del molinete	116
3.2.4.3	Cálculos de gabinete	117
3.2.5	Resultados.....	117

3.2.5.1 Cálculos de gabinete	117
3.2.6 Evaluación de resultados.....	118
3.3 SERVICIO No. 2: Implementación del cenirrometro como una herramienta para saber cuándo regar y cuanto regar.....	119
3.3.1 Definición de problema	119
3.3.2 Objetivos.....	119
3.3.3 MARCO TEÓRICO	120
3.3.3.1 Cenirrometros.....	120
3.3.3.2 Balance Hídrico	120
3.3.3.3 Seguridad y mantenimiento del cenirrometro	121
3.3.4 Metodología	122
3.3.4.1 Recopilación de la información para la implementación.....	122
3.3.4.2 Selección del lugar donde se colocarán los cenirrometros.....	122
3.3.4.3 Capacitación a los mayordomos de riego.....	122
3.3.5 Resultados.....	123
3.3.5.1 Selección del lugar donde se colocaron los cenirrometros.....	123
3.3.5.2 Capacitación a los mayordomos de riego.....	123
3.3.5.3 Cálculo de las lecturas obtenidas para saber cuándo regar y cuanto regar	123
3.3.6 Evaluación de resultados.....	125
3.4 BIBLIOGRAFÍA.....	126

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Descripción de los nombres de los equipos para riego y cantidad disponible.	17
Cuadro 1.2 Matriz de priorización de problemas.	18
Cuadro 1.3. Jerarquización de problemas por frecuencia y rango.	19
Cuadro 2.1 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN PORCENTAJE (Registro/Antes)	51
Cuadro 2.2 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 264-0002.	52
Cuadro 2.3 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 264-0003.	54
Cuadro 2.4 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0002.	56
Cuadro 2.5 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0004.	58
Cuadro 2.6 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0001.	60
Cuadro 2.7 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0003.	62
Cuadro 2.8 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0005.	64
Cuadro 2.9 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN PORCENTAJE (Registro/Después)	66
Cuadro 2.10 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 264-0002.	67
Cuadro 2.11 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 264-0003.	69
Cuadro 2.12 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0002.	71
Cuadro 2.13 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0004.	73
Cuadro 2.14 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0001.	75
Cuadro 2.15 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0003.	77
Cuadro 2.16 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0005.	79
Cuadro 2.17 Cuadro comparativo de coeficientes de uniformidad.	81
Cuadro 2.18 Descripción técnica de los sistemas de riego por pivote.	83
Cuadro 2.19 Láminas aplicadas, consumos de agua y frecuencia de riego.....	86
Cuadro 3.1 Resultados del aforo de entrada de agua a la finca Bolivia	117
Cuadro 3.2 Resultado de frecuencias de riego utilizando el cenirrometro.	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Localización Ingenio Santa Ana.	4
Fig. 1.2 Organigrama del ingenio Santa Ana constituido en divisiones.	6
Fig. 1.3 Organigrama del departamento de riegos y drenaje.	16
Fig. 2.1 Estructura central del pivote.	29
Fig. 2.2 Estructura de una torre de pivote.	30
Fig. 2.3 Caja eléctrica de la torre del pivote.	31
Fig. 2.4 Panel de control del pivote.	33
Fig. 2.5 Estructura de un pivote completo.	34
Fig. 2.6 Posiciones de trabajo de los pivotes ubicados por finca.	43
Fig. 2.7 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 264-0002.	53
Fig. 2.8 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 264-0003.	55
Fig. 2.9 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0002.	57
Fig. 2.10 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0004.	59
Fig. 2.11 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0001.	61
Fig. 2.12 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0003.	63
Fig. 2.13 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0005.	65
Fig. 2.14 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 264-0002.	68
Fig. 2.15 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 264-0003.	70
Fig. 2.16 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0002.	72
Fig. 2.17 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0004.	74
Fig. 2.18 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0001.	76
Fig. 2.19 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0003.	78
Fig. 2.20 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0005.	80
Fig. 2.21 Comportamiento del C.U. evaluados antes de realizar ajustes y después de realizarlos.	82
Fig. 2.22 Metodología de medición del coeficiente de uniformidad.	103
Fig. 2.23 Manómetro midiendo presión de entrada de agua al pivote.	104
Fig. 2.24 Lectura con probeta de una muestra de agua recolectada.	105
Fig. 2.25 Recolección de agua del pivote.	106
Fig. 3.1 Figura geométrica del canal aforado.	118
Fig. 3.2 Figura del balance hídrico.	121

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.

RESUMEN

El ingenio Santa Ana, es uno de los ingenios que mayores rendimientos obtienen en la industria azucarera, también así logrando unas eficiencias de operación las cuales los ha llevado al éxito de todo el manejo de una zafra; es decir la temporada en la cual se cosecha y se obtiene el azúcar mediante un proceso llevado a cabo dentro de la fábrica ubicada en las instalaciones del ingenio.

Entre los principales productos elaborados o vendidos por el ingenio son: azúcar, energía eléctrica, melaza y otros más, siendo estos las principales fuentes de ingresos para poder mantener una constante operación de todo el manejo del cultivo de la caña de azúcar.

El departamento de riegos y drenajes surge con la idea de poder mejorar dicha actividad ya que el riego es una labor muy importante para el cultivo de la caña ya que sin dicho líquido la producción se puede ver seriamente afectada, por lo cual el departamento de riegos y drenajes suple todo lo necesario y se encarga de velar por el buen funcionamiento de todos los equipos de riego y así poder lograr una buena zafra.

Los resultados del diagnóstico del departamento de riegos y drenajes del ingenio Santa Ana, Escuintla, muestran que en dicho departamento la problemática prioritaria es verificar y mejorar el coeficiente de uniformidad en los sistemas de riego llamado pivote. Es necesario disponer siempre de todos los recursos para poder realizar una buena operación de riego.

El presente estudio describe la principal problemática que afecta el coeficiente de uniformidad la cual consiste en no disponer de suficiente manguera de los bajantes de los aspersores, los cuales unos quedan más cortos o largos que otros lo cual baja la eficiencia de aplicación, en este estudio también se presenta una descripción técnica operativa de los pivotes y termina proponiendo un manejo adecuado para la aplicación de riego con pivotes en el campo para poder incrementar la producción de la caña de azúcar.

También se trabajaron para el ingenio los servicios de aforo de la red hídrica de la finca Bolivia y la implementación del cenirrometro como una herramienta para sabe cuándo y cuanto regar, dichos servicios se realizaron dividiéndolos en dos partes la fase de gabinete y la fase de campo siendo estos trabajos de mucha importancia para el ingenio Santa Ana.

**CAPITULO I. DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE RIEGOS Y DRENAJES
DEL INGENIO SANTA ANA, MUNICIPIO DE ESCUINTLA, DEPARTAMENTO DE
ESCUINTLA, GUATEMALA.**

1.1 PRESENTACIÓN

Actualmente en nuestro país la producción de caña de azúcar y por ende el azúcar mismo para el consumo es uno de los procesos más actualizados y tecnificados que existen, siendo también reconocidos a nivel mundial debido a que somos o tenemos el quinto lugar como país en la exportación de caña de azúcar.

La producción de caña de azúcar en Guatemala es tan importante debido todos los logros que han alcanzado los ingenios, como: niveles altos de producción por lo que están en el nivel antes mencionado; así a su vez también es de suma importancia ya que con los niveles de producción alcanzados el concepto de divisas por la caña de azúcar se ha incrementado en los últimos años generando al mismo tiempo mayor cantidad de empleos y así poder tener una mejor economía nacional. Actualmente el ingenio Santa Ana esta moliendo aproximadamente 2,500,000 toneladas de caña de azúcar.

La producción de la caña de azúcar en Guatemala depende de varios factores como el suelo, el clima, etc., los cuales son muy importantes para poder alcanzar un buen desarrollo tanto del cultivo como económico.

La agroindustria azucarera de Guatemala está constituida por varios Ingenios activos tales como: Santa Ana, Pantaleón-Concepción, San Diego-Trinidad, Madre Tierra, La Unión, Magdalena, Palo Gordo, Tulula. (CENGICAÑA)

En el presente documento se realizó un diagnóstico dirigido hacia la división agrícola y servicios del Ingenio Santa Ana, siendo más específico en el área de riegos y drenajes para lo cual el tema principal es la evaluación del sistema de riego llamado pivote utilizado para el riego de la caña de azúcar en las diferentes fincas que son propiedad del Ingenio Santa Ana.

Actualmente el ingenio cuenta con 142 equipos para la labor de riego de la caña donde se incluyen motobombas de aspersión, avances frontales, pivotes y travel; siendo los más utilizados los sistemas de aspersión con motobombas.

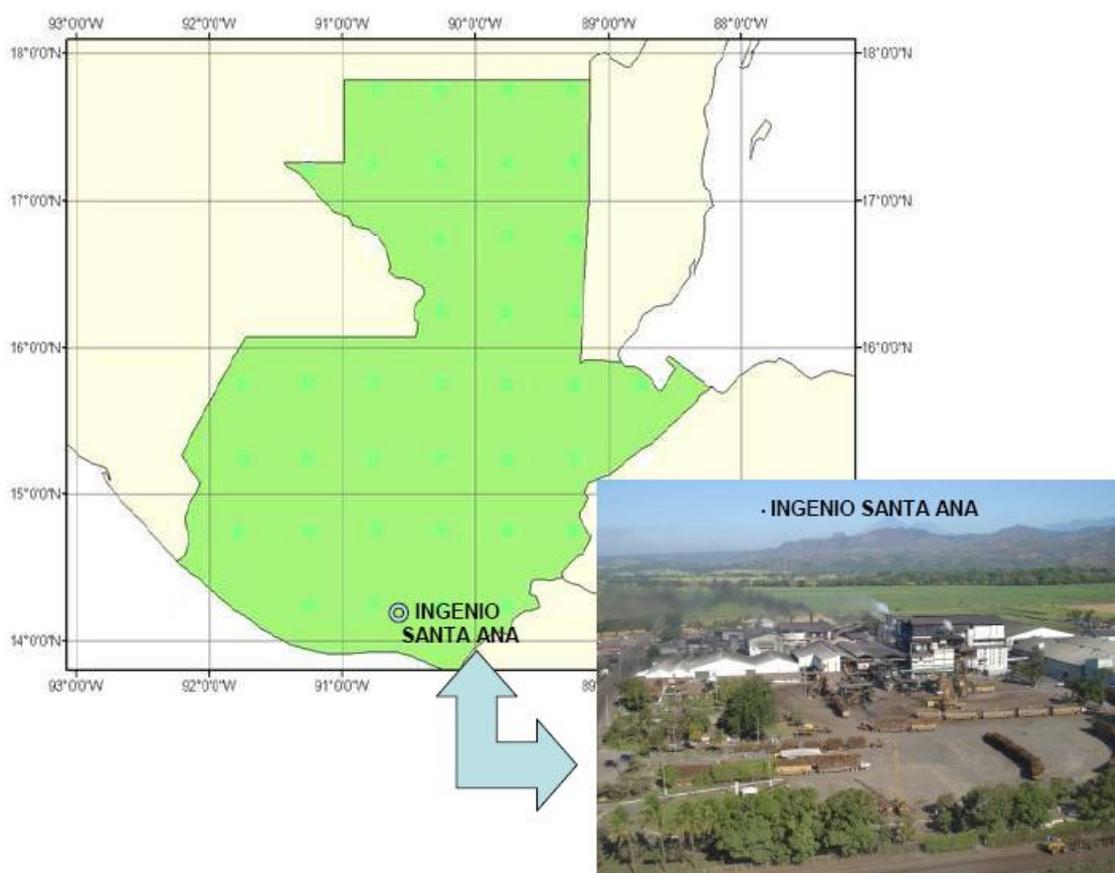
Luego de evaluar al departamento de riegos se llegó a la conclusión de que hace falta verificar los porcentajes de Coeficiente de Uniformidad en los pivotes para poder realizar una mejor labor de riego.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Información general del ingenio Santa Ana

1.2.1.1 Localización geográfica

El departamento de riegos y drenajes se encuentra ubicado en las oficinas de la división Agrícola y Servicios ubicadas en la finca "Cerritos" en el Km. 65 al sur de la ciudad de Guatemala, en el departamento de Escuintla, a 220 mt sobre el nivel del mar. Localizado en las coordenadas siguientes: 14°14'36.5" Latitud norte y 90°50'21.44" Longitud oeste.



Fuente: Departamento de Ingeniería Civil, Ingenio Santa Ana.

Fig. 1.1 Localización Ingenio Santa Ana.

1.2.1.2 Aspectos Climáticos

El clima de la finca cerritos es cálido, con una temperatura promedio que va de 27 a 28 °C, con una precipitación promedio anual de 2220 mm en la época lluviosa (de mayo a noviembre) (López, F. 2007).

1.2.1.3 Extensión

El ingenio Santa Ana cuenta con un área total de 21,000 ha sembradas con caña de azúcar, por lo cual con dicha extensión de tierra el período de zafra es de Noviembre a Abril.

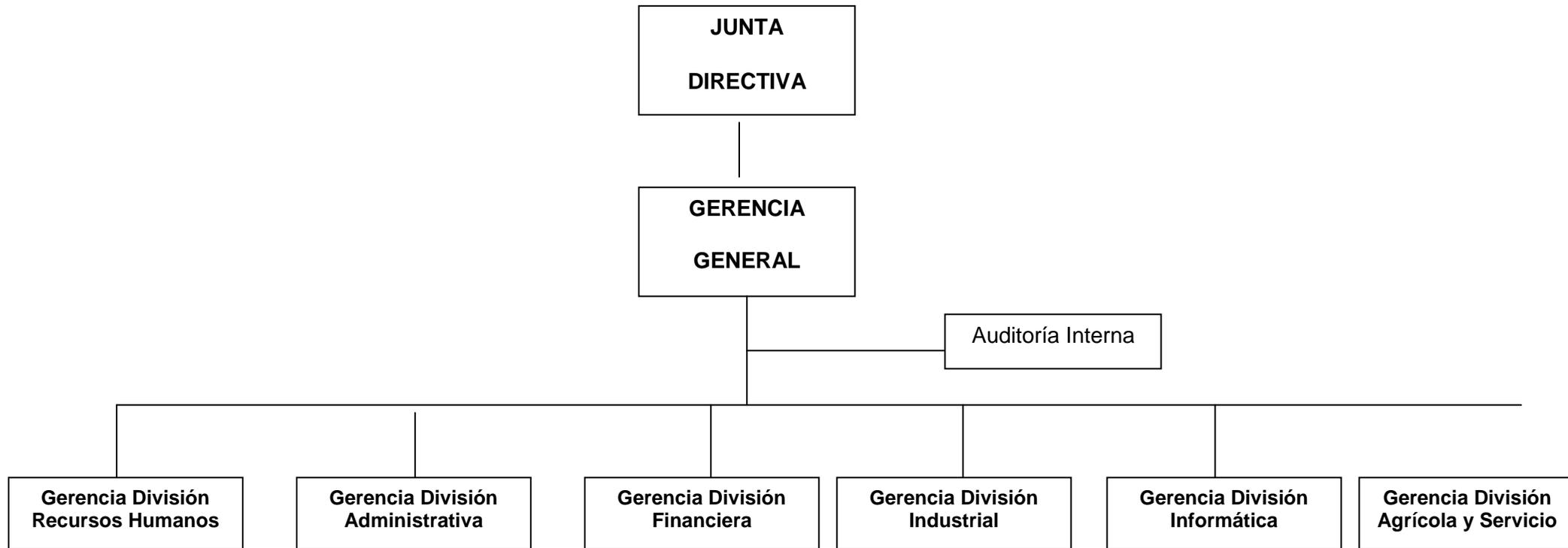
1.2.1.4 La Empresa

El ingenio Santa Ana es una empresa que produce y comercializa la caña de azúcar, y otros subproductos como: energía eléctrica, melaza, torta de cachaza, etc., con todas las normas de calidad para satisfacer con una parte de la demanda del mercado guatemalteco así también como el mercado de exportación.

Para cumplir con dicha demanda el ingenio se encuentra constituido por varias divisiones tales como: agrícola, recursos humanos, administrativa, industrial, informática y finanzas, para poder llevar a cabo todas las actividades de operación para la producción y comercialización de la caña de azúcar.

Para ver de una mejor forma las divisiones se presenta a continuación un organigrama de la empresa:

En el siguiente organigrama se detalla cómo se encuentra estructurada la empresa:



Fuente: Jefe de la División de Informática.

Fig. 1.2 Organigrama del ingenio Santa Ana constituido en divisiones.

Como empresa, Santa Ana está dirigida por una Junta Directiva y se estructura en siete divisiones y el Staff de la Gerencia General. Tanto el grupo corporativo como las distintas divisiones poseen una misión, las cuales se detallan a continuación: (3)

A. Grupo corporativo Santa Ana:

“Somos un grupo corporativo visionario, comprometido con el progreso y bienestar de Guatemala, dedicado a producir eficientemente bienes y servicios de óptima calidad derivados de la caña de azúcar, por medio del desarrollo de los recursos humanos y tecnológicos, para satisfacer las necesidades de nuestros clientes nacionales e internacionales”.

B. Recursos humanos:

“Nuestra misión es satisfacer en forma eficaz los requerimientos del recurso humano adecuado, mediante técnicas y procedimientos actualizados, propiciando las condiciones óptimas para su desarrollo personal y dentro de la empresa; con el propósito de lograr la mayor eficiencia del grupo corporativo”.

C. Agrícola y Servicios:

“Somos un equipo multidisciplinario, futurista y dinámico; cuyo compromiso fundamental es el aprovechamiento integral sostenible de los recursos naturales, para producir caña de azúcar, otros productos agrícolas, servicios de cosecha, taller y transporte de excelente calidad; para superar las expectativas de nuestros clientes, con la participación y desarrollo del recurso humano y la aplicación de la tecnología más avanzada”.

D. Administrativa:

“Somos una división de servicio, comprometida con todas las divisiones de la corporación a quienes asistimos en sus necesidades en forma eficiente y oportuna, a través de una organización adecuada, utilizando recurso humano capacitado y tecnología para satisfacer a nuestros clientes”.

E. Industrial:

“Transforma la caña de azúcar y otros insumos eficientemente en bienes y servicios de óptima calidad administrando los recursos humanos, físicos y tecnológicos para satisfacer las necesidades de los clientes nacionales e internacionales”.

F. Informática, planificación y control:

“Somos una organización estratégica que proporciona soluciones relacionadas con la planificación, procedimientos, tecnología de la información, comunicaciones, automatización industrial y control de procesos para optimizar la producción y administración; mejorando la competitividad de nuestros clientes, desarrollando la cultura de cambio permanente y los recursos humanos, utilizando eficaz y eficientemente, tecnología de vanguardia”.

G. Finanzas:

“La adecuada administración de los recursos financieros para ejecución del proceso productivo, de funcionamiento e inversión; generando información financiera confiable y oportuna, a través del desarrollo de recursos humanos, de procedimientos y tecnología actualizada para la adecuada toma de decisiones de la administración del grupo de empresas de Santa Ana”.

1.2.1.5 La caña de azúcar dentro del ingenio

Para la producción de la caña de azúcar se requiere de una serie de pasos que van desde la preparación del terreno hasta la cosecha, para lo cual se requieren labores diferentes en cada una de las etapas fenológicas de la caña de azúcar las cuales serán descritas de una forma breve a continuación. (3)

1.2.1.6 El cultivo de la caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta que pertenece a la familia de las gramíneas, de la cual se aprovecha todo el contenido de sus tallos. Es una planta perenne, que tiene la ventaja de ser la más eficiente en transformar la energía solar en azúcares y biomasa. También genera igual cantidad de oxígeno que cualquier bosque tropical, la caña cuando se planta;

produce de 4 a 7 cortes (retoños) a través del tiempo sin necesidad de plantarla cada año.
(3)

1.2.1.7 Labores culturales

Como todo cultivo, la caña de azúcar necesita de ciertos cuidados que incluyen: control de malezas (el cual se realiza: en forma manual, con la aplicación de herbicidas o por efecto de labores mecanizadas), control de plagas y enfermedades, aplicación de fertilización y aplicación de riego (ya sea por surcos o por aspersión). En resumen, las labores que se ejecutan para el desarrollo del cultivo son: (3)

A. Estudios Preliminares

Son planes que se ejecutan 90 días antes de empezar las labores culturales. Se realizan muestreos de suelos y se envían las muestras a laboratorios para que se les hagan los análisis físico-químicos. También, se analizan las propiedades químicas de aguas, muestreo de plagas del suelo y follaje e inventarios de malezas.

B. Adecuación de Tierras

Son labores de infraestructura, encaminadas a dejar los campos listos para la preparación mecánica de los mismos. Entre estas labores se ejecutan: el levantamiento topográfico, altimétrico y planimétrico; tala y ruma de árboles, piedras y otros; construcción de drenajes, canales de riegos y reservorios; construcción de caminos, puentes y pasos entubados; y finalmente nivelación de terrenos.

C. Preparación de Suelos

Acá se desarrollan aquellas labores tendientes a dejar una cama de germinación de la semilla, en buenas condiciones, entre las cuales se incluye: el subsolado (de preferencia con tractor de oruga), el volteo con arado de discos reversibles (para lograr una mayor penetración y mantener nivelado el campo), rastreo (de preferencia un paso) y finalmente el surqueado. Por otro lado, también incluye la fertilización, utilizándose para el efecto triple superfosfato.

D. Siembras

Se inicia con el corte de semilla en paquetes. Continúa con el alce y transporte. Sigue con el estaquillado que se realiza en base al número de yemas buenas que trae el paquete. La semilla es tapada mecánicamente con la incorporación del insecticida, el riego de germinación y finalmente se aplica herbicida pre-emergente.

E. Mantenimiento del Cañal

El desbasurado, constituye la primera labor que se realiza después del corte. Luego se escarifica, (labor que poda las raíces). El proceso continúa con las fertilizaciones aplicadas mecánicamente, utilizando dosis y productos de acuerdo al análisis químico del laboratorio. Entre los fertilizantes más utilizados tenemos: urea, nitrato de amonio y algunas formulas.

El riego, es aplicado por aspersión y gravedad. Los controles de malezas, son en forma manual o química. El control de plagas es manual, mecánico, químico, biológico y la combinación de estos (manejo integrado de plagas y enfermedades). Finalmente, se tiene la aplicación de madurante, lo cual se realiza con aplicaciones aéreas utilizando Roundup y Fusilade en diferentes dosis.

1.2.1.8 Productos Elaborados en el ingenio Santa Ana

En el ingenio Santa Ana se dedican al cultivo de la caña de azúcar y obteniendo así azúcar y otros derivados que a continuación se mencionan: (3)

A. Mercado de Exportación:

1.) Azúcar Refinada Tipo "A":

Es el azúcar de mayor calidad. Sus especificaciones técnicas son: Color 0-45 grados ICUMSA que refiere a una escala internacional que se mide en grados con un rango de pureza establecido (constituye el factor más importante para este tipo de azúcar), Pol (constituye el factor para determinar la pureza de los sólidos del azúcar 99.85 por ciento mínima y humedad 0.04 por ciento).

2.) Azúcar Cruda:

Constituye el azúcar con una Pol mínima de 97.9 por ciento.

B. Mercado Interno:

1.) Azúcar Blanca Standard (o Sulfitada):

Es el azúcar de mayor venta para consumo local. Sus características son Pol 99.4 – 99.6 por ciento, Color 180 – 400 ICUMSA, Humedad 0.20 por ciento. Contiene vitamina A en una concentración de 12 a 20 ppm. En Santa Ana, este tipo de azúcar se envasa bajo la marca “Caña Real”.

2.) Azúcar Refinada Local:

Es un azúcar con 0 – 80 grados ICUMSA, Pol 99.6 – 99.8 por ciento, Humedad 0.04 por ciento. Este tipo de azúcar es igual que la anterior, también esta vitaminada. En Santa Ana se empaca bajo la marca “Nevada”.

3.) Azúcar Superior:

Es un azúcar con 99.6 – 99.79 por ciento de Pol, Humedad 0.10 por ciento, Color 80 – 200 ICUMSA.

4.) Azúcar Morena:

Es un azúcar con 98 – 99.4 Pol, 0.40 por ciento Humedad y Color 400 – 800.

5.) Melaza:

Se le denomina así a la miel fina que se obtiene en el último agotamiento en el ciclo de masas. Sus especificaciones técnicas son: Brix⁵ 85 por ciento y pureza entre 30 y 35. Constituye la materia prima para hacer alcohol y rones; además se usa para alimento de ganado. Este producto, se distribuye tanto para mercado nacional como para el mercado internacional.

6.) Torta de Cachaza:

Constituye la materia semisólida filtrada y lavada, producido por la precipitación en el proceso de clarificación de jugo mezclado. Sirve como fuente primaria para abonos orgánicos en la producción Agrícola.

7.) Energía Eléctrica:

Las especificaciones de este servicio es que la empresa cumpla con la cantidad de MW que se proyecte generar o cogenerar. Dicha generación se efectúa a 69,000 voltios, 60 Hz, trifásica y un factor de potencia de 0.85. Actualmente se generan 40 MW y se venden 32 MW a la Empresa Eléctrica de Guatemala.

1.3 OBJETIVOS

General.

Realizar un diagnóstico del departamento de riegos y drenajes y describir las labores desarrolladas en dicho departamento del ingenio Santa Ana e identificar y priorizar los principales problemas que afectan a la empresa.

Específicos.

- 1). Identificar los problemas principales del departamento de riegos y drenajes y así poder dar soluciones aplicables para la mejora de actividades.

- 2). Conocer la situación actual de la empresa durante la producción de caña de azúcar *Saccharum officinarum* en el departamento de riegos y drenajes.

- 3). Describir los sistemas de riego y su forma de operación utilizados por el departamento de riegos y drenajes del ingenio Santa Ana.

1.4 METODOLOGÍA

La metodología ejecutada para la realización del diagnóstico consta de cuatro fases: Recolección de información primaria (fase 1), Recolección de información secundaria (fase 2), Análisis de la información (fase 3) y Fase de gabinete final (fase 4). Las cuales se describen a continuación:

1.4.1 Información primaria

1.4.1.1 Fase de gabinete

En dicha fase se procedió a buscar información a partir de diferentes fuentes bibliográficas como (libros, folletos, revistas, internet, mapas, etc.) se recopiló información dentro del ingenio en diferentes divisiones por medio de folletos, también en la biblioteca del Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

1.4.2 Información secundaria

1.4.2.1 Fase de Campo

Para identificar de una buena manera los sistemas de riego llamados pivote que son utilizados en el ingenio Santa Ana se realizaron entrevistas buscando apoyo de los técnicos que están laborando en las fincas. Así también a su vez se busco la manera de realizar giras por las fincas en donde se encuentran implementados los sistemas de riego para poder hablar con el personal de dicha finca y así que nos proporcionaran información acerca del manejo y de los principales problemas encontrados; haciendo algunas preguntas como:

- Cuáles son los principales problemas que se dan en las actividades realizadas con los pivotes.
- Cuáles han sido sus experiencias en cuanto al riego por aspersion con pivotes.
- Cuántos de estos equipos existen actualmente.

1.4.3 Análisis de la información

Para analizar la información existente en el departamento de riegos y drenaje y por ende de los pivotes después de haber relacionado toda la información primaria y secundaria recopilada; conjuntamente con la información de campo se realizara una matriz de priorización de problemas seguido de una matriz de jerarquización de problemas para poder así dar prioridad a los problemas más importantes.

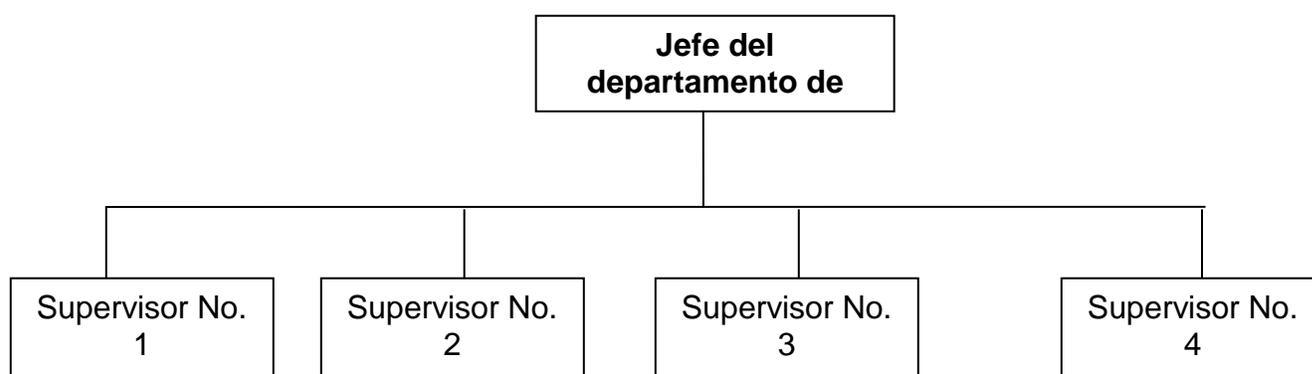
1.4.4 Fase de Gabinete Final

Con la información recabada y el análisis de la misma se presentó un listado de los componentes de los sistemas de riego utilizados en el ingenio Santa Ana, relacionándolo con el árbol de problemas y así poder determinar la tabla de jerarquía de problemas; y de la cual se derivaron un plan de investigación y un proyecto de servicios para el ingenio Santa Ana.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Estructura organizacional

El departamento de riego y drenaje del ingenio Santa Ana se encuentra conformado por el jefe del departamento de riego y drenaje y de los supervisores de riego, el jefe del departamento es el que se encarga de planificar y de coordinar todas las labores en cuanto a riego se refieren; y los supervisores de riego son los que deben de ir a supervisar al campo y ver de que todas las actividades desarrolladas se hayan cumplido como deben de ser. A continuación se presenta el organigrama del departamento de riego y drenaje.



Fuente: Jefe del departamento de riego y drenaje.

Fig. 1.3 Organigrama del departamento de riego y drenaje.

1.5.2 Situación actual

En dicho departamento se realizan nuevos proyectos todos los años para poder trabajar de una manera más eficiente haciendo un buen uso de los equipos de riego. También el ingenio tiene proyectos nuevos como lo son el de las nivelaciones de terrenos con maquinaria especial para dicho trabajo ya sea para riego como para drenaje. (López, F. 2007).

Actualmente el departamento de riego y drenaje cuenta con una gran gama de equipos para poder realizar la aplicación de la lámina de riego, utilizando sistemas como: gravedad, bombeo-gravedad y aspersión. (López, F. 2007).

A continuación se presenta una tabla de los equipos disponibles:

Cuadro 1.1. Descripción de los nombres de los equipos para riego y cantidad disponible.

Nombre del equipo	Cantidad de equipo disponible
Motobombas de 400 GPM	18
Motobombas de 800 GPM	67
Motobombas de 1200 GPM	31
Avances Frontales	10
Pivotes	8
Travel	8

Fuente: Jefe del departamento de riegos y drenaje.

1.5.3 Matriz de priorización de problemas

Esta matriz nos sirvió para poder ordenar los problemas encontrados y así poder corresponder a los problemas más importantes para encontrar una forma de solucionarlos.

Con la información primaria y secundaria que fue recopilada en un principio se elaboro una matriz de priorización con los problemas principales reconocidos en las labores de riego coordinadas por dicho departamento del ingenio Santa Ana.

A continuación se presentan la matriz de priorización y jerarquización de problemas:

Cuadro 1.2 Matriz de priorización de problemas.

PROBLEMA	Determinación del coeficiente de uniformidad en sistema de riego llamado pivote.	Aforo de la red hídrica de la finca Bolivia.	Implementación del cenirrometro como una herramienta para saber cuándo y cuanto regar.
Determinación del coeficiente de uniformidad en sistema de riego llamado pivote.	-----	Determinación del coeficiente de uniformidad en sistemas de riego llamado pivote.	Determinación del coeficiente de uniformidad en sistemas de riego llamado pivote.
Aforo de la red hídrica de la finca Bolivia.	-----	-----	Aforo de la red hídrica de la finca Bolivia.
Implementación del cenirrometro como una herramienta para saber cuándo y cuanto regar.	-----	-----	-----

Cuadro 1.3. Jerarquización de problemas por frecuencia y rango.

PROBLEMAS	FRECUENCIA	RANGO
Determinación del coeficiente de uniformidad en pivotes.	4	1
Aforo de la red hídrica en la finca Bolivia.	3	2
Implementación del cenirrometro como una herramienta para saber cuándo y cuanto regar.	2	3

1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.6.1 Conclusiones

- Se realizó un diagnóstico en el cual se determinaron las principales actividades que realiza el departamento de riego y drenaje, dentro de las cuales podemos mencionar: riego por gravedad (bombeo-gravedad, mangas multicompuertas), riego por aspersión (travel, pivotes, avance frontal y motobombas). También cuenta con otras actividades como la nivelación de suelos para la implementación ya sea de riego o de cosecha mecanizada.
- En cuanto a la situación actual del departamento de riego y drenaje nos dice de que el sistema de riego más utilizado para regar es el de aspersión, pero con motobombas de 800 GPM (Galones por minuto) y de 400 GPM (Galones por minuto); siendo en esta labor donde hay más inversión de dinero o sea mayores costos. En segundo lugar se encuentran los pivotes y avances frontales los cuales son eficientes por mm de agua aplicada, por último tenemos el sistema por gravedad que es el que se usa en una menor escala.
- Dentro de los principales problemas que se encuentran es la determinación del coeficiente de uniformidad debido a que no se ha medido en todas las fincas que cuentan con este sistema de riego (Pivotes), y en las que ya se evaluó dicho coeficiente es muy bajo (hasta un 62%). El aforo de la red hídrica de la finca Bolivia es necesario para saber con qué cantidad de agua se dispone para la temporada seca y así poder hacer una planificación de riego para la finca, y por último podemos mencionar la necesidad de la instalación del cenirrometro ya que como se dijo nos dice cuando y cuanto regar; siendo esta información muy útil para poder fijar las frecuencias de riego.

1.6.2 Recomendaciones

- Determinar los coeficientes de uniformidad en los pivotes para poder mejorar el riego.
- Aforar la red hídrica de la finca Bolivia para poder verificar si es suficiente el agua para poder operar con los sistemas de riego (Aspersión).
- Implementar los cenirrometros para poder determinar una frecuencia de riego y saber cuánto regar.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar, GT). 2005. Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2004-2005. Guatemala. 185 p.
2. García Casillas, I. 1997. Sistemas de riego por aspersión y goteo. México, Trillas. 263 p.
3. Grupo Corporativo Santa Ana, GT. 2007. Manuales de la empresa (en línea). Escuintla, Guatemala. Consultado 5 oct 2007. Disponible en <http://www.santaana.com.gt/espanol.htm>
4. López, F. 2007. Conociendo el departamento de riegos y drenajes del ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana.

**CAPÍTULO II DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN LOS
SISTEMAS DE RIEGO POR PIVOTES EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum
officinarum*) EN LA FINCA BOLIVIA DEL INGENO SANTA ANA, ESCUINTLA.**

**DETERMINATION OF THE UNIFORMITY COEFFICIENT IN CENTER PIVOTS
IRRIGATION SYSTEMS IN SUGAR CANE (*Saccharum officinarum*) IN FINCA
BOLIVIA, INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA.**

2.1 PRESENTACIÓN

Un recurso natural como el agua es un factor que no debe de ser limitante para la producción de cultivos agrícolas y menos cuándo se trata de zonas áridas y semiáridas. En el ámbito de la agroindustria azucarera hay preocupación debido a que el uso del agua no está siendo medido o controlado y por lo tanto se hace necesario mejorar el diseño y manejo de los sistemas de riego.

El área donde se realizó la investigación se abastece de varias fuentes de agua como lo son pocetas, pozos y también en sus alrededores se encuentra el río Naranjo; de esta manera realizando un buen manejo de los sistemas de riego, el ingenio Santa Ana podrá hacer mayor uso de sus recursos hídricos disponibles en las fincas.

En los sistemas de riego por aspersión con pivotes o avances frontales se determinó la uniformidad de riego mediante coeficientes tales como el Coeficiente de Uniformidad (CU) de Christiansen (1942), obteniendo como resultado los coeficientes en pivotes expresados en porcentaje los cuales son: 84.7%, 78.6%, 77.1%, 80.5%, 77.2%, 89.9% y 77.1%. Siendo así solamente uno de los pivotes obtuvo un buen coeficiente de uniformidad (89.9%) ya que este es bueno al encontrarse en un 85% hacia arriba de uniformidad.

Luego de realizar ajustes en la operación de los equipos de riego, se realizaron nuevamente las evaluaciones y se obtuvieron coeficientes mayores a los ya calculados siendo estos: 84.7%, 85.8%, 85.1%, 87.5%, 87.2%, 89.9% y 86.1%. La determinación del coeficiente de uniformidad se llevo a cabo durante un período que comprende desde Diciembre de 2007 hasta Abril de 2008, tiempo en el cual fueron evaluados los 7 pivotes.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Marco Conceptual

2.2.1.1 Riego

Gundersen (9), define al riego como la aplicación artificial de la humedad que necesita el suelo agrícola para producir cosechas en forma sostenida, continua, intensiva y económica.

El riego se puede definir como la aplicación necesaria de agua a aplicar en un sistema de cultivo para crearles mejores condiciones de desarrollo y así obtener mayores rendimientos.

2.2.1.2 Importancia del riego en Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*)

Flores (6) indica que el consumo diario de agua de la caña de azúcar varía de 2 milímetros por día en los meses fríos y nebulosos hasta 8 milímetros diarios durante los meses calientes y secos.

Así mismo indica que los rendimientos más altos en caña y azúcar por unidad de superficie se obtienen en las fincas que disponen de agua para riego durante todo el ciclo vegetativo de las plantas.

Según Kuyper (1952) citado por Doorembos y Kassam (3), los períodos de desarrollo de la caña de azúcar son: de establecimiento, vegetativo, formación de la cosecha y maduración.

En la fase de establecimiento se recomienda que las aplicaciones de riego sean con una mayor frecuencia para garantizar el buen desarrollo de la plántula. Es muy importante contar con una humedad adecuada durante todo el periodo vegetativo para obtener rendimientos máximos, porque el crecimiento de la caña, es directamente proporcional al agua transpirada. Dependiendo del clima, las necesidades de agua (Etp) de la caña de azúcar son de 1,500 a 2,500 mm distribuidos de manera uniforme durante la temporada de desarrollo.

2.2.1.3 Calidad del agua de riego

Fuentes (5) indica que es importante conocer la calidad del agua que será utilizada para el riego, provenientes de los ríos y del subsuelo, ya que si la cantidad de sales

incorporadas al suelo es mayor que la cantidad eliminada se incrementa el nivel de salinidad, pudiendo llegar a límites peligrosos para el cultivo.

Sandoval (10) menciona que para evitar la acumulación de sal, los riegos deben eliminar sal en la misma proporción en que es adicionada al terreno.

2.2.1.4 Relación agua-suelo-planta

Thompson (12) señala que estudios recientes han indicado que el aprovechamiento de agua del suelo depende del balance entre la capacidad del suelo de suplir agua y el agua demandada por la atmósfera. La producción potencial de una plantación de caña de azúcar depende, después de todo, de factores climáticos y del suelo tanto como de la variedad de caña bajo cultivo.

Las raíces del cultivo y sus características y las propiedades físicas y químicas del suelo son los mayores factores del suelo y la planta que controlan la distribución potencial del agua del suelo.

Se ha reconocido que el crecimiento de la planta está relacionado con el balance de agua en los tejidos de la planta. Cuando la proporción de absorción es menor a la proporción de transpiración, el potencial de agua en la planta se hace menor y ocurre una carencia interna del agua. Al ocurrir un déficit de agua en los tejidos de la planta, los procesos fisiológicos se interfieren por lo tanto el crecimiento y desarrollo se ven afectados en la producción de la caña de azúcar.

2.2.1.5 Riego por aspersión

Según Daza (2) el riego por aspersión simula la aplicación de agua al suelo de la misma manera en que actúa la precipitación o lluvia. Hidráulicamente, consiste en la transformación de la energía de presión en energía de velocidad a través de un orificio o boquilla, generando un chorro de alta velocidad que al friccionar con el aire se descompone dando lugar a la formación de gotas que caen sobre la superficie del suelo.

Con una combinación adecuada de presión y diámetro de boquilla se pueden obtener diferentes descargas y dependiendo de la velocidad de infiltración de un determinado suelo podemos evitar que se formen escorrentías.

García (7) menciona que el principio de operación en los sistemas de riego por aspersión se basa en convertir la energía de presión en energía de velocidad a la salida de la boquilla del aspersor en forma de chorro. A medida que dicho chorro de agua pasa sobre el terreno del campo, éste queda esparcido en forma de gotas de agua, las cuales al reunirse con la resistencia del aire caen a la superficie del suelo.

Según Thompson (12) la irrigación por aspersión puede ser preferida a la irrigación de superficie donde el agua es costosa y escasa, donde los suelos son variables o tienen un alto grado de absorción y donde la topografía no permite hacer largos surcos. La eficiencia de la irrigación por aspersión es normalmente considerada de ser del 75% al 80%.

2.2.1.6 Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión

En la página **el riego.com** (4) mencionan algunas ventajas e inconvenientes al emplear un sistema de riego por aspersión:

Las ventajas del riego por aspersión se derivan fundamentalmente de dos aspectos fundamentales:

- * El control del riego sólo está limitado por las condiciones atmosféricas (pérdidas por evaporación o arrastre y efecto del viento sobre la uniformidad del reparto).
- * La uniformidad de aplicación es independiente de las características hidrofísicas del suelo.

Ventajas:

- Puesto que la dosis de riego es sólo función del tiempo de cada riego, puede adaptarse tanto a dosis grandes como pequeñas.
- Al poder modificarse fácilmente la pluviometría, es capaz de adaptarse a terrenos muy permeables (más de 30mm/h) o muy impermeables, e incluso a terrenos con características heterogéneas.
- No necesita nivelaciones, adaptándose a topografías onduladas, lo que permite conservar la fertilidad natural del suelo.

- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos de socorro. En el primer caso siempre que se dimensione para el cultivo más exigente. Dada la eventualidad de los riegos de socorro los sistemas que mejor se adaptan los móviles o semifijos (sobre todo aquellos con gran radio de acción como los cañones de riego).
- Pueden conseguirse altos grados de automatización, con el consiguiente ahorro de mano de obra a costa normalmente de una mayor inversión.
- En algunas modalidades permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios.
- Los sistemas móviles o semifijos requieren menos inversión, pero no pueden adaptarse al riego en bloques que consiguen mayor uniformidad y eficiencia de riego, ni a los riegos de alta frecuencia.
- En lugares donde se necesite y con sistemas móviles, se adapta a regar un año en un sitio y otro año en otro.
- Necesita mucha menos cantidad de agua que los riegos por pié debido a su mayor eficiencia. Además aunque requiere más técnica al montarlo, el manejo puede hacerlo cualquiera.

Inconvenientes:

- El posible efecto de la aspersion sobre plagas y enfermedades.
- Interferencias sobre los tratamientos, por el lavado de los productos fitosanitarios que protegen la parte aérea del cultivo. Es preciso establecer la programación de riegos adecuada para evitar estas interferencias.
- Puede originar problemas de sanidad en la parte aérea del cultivo cuando se utilicen aguas salinas o residuales para regar, ya que al evaporarse aumenta la concentración de sales o las impurezas de la misma.
- Mala uniformidad en el reparto o uniformidad por la acción de los vientos.
- Los principales problemas suelen ser de carácter económico por las altas inversiones iniciales y los elevados costes de mantenimiento y funcionamiento (energía). También hay que hacer reparaciones todos los años.

2.2.1.7 Pivote central

En el manual del ingenio Santa Ana (8) se describe que, el pivote central ha sido calificado, en ocasiones, como el instrumento más significativo que ha cambiado la concepción de la agricultura desde la invención del tractor.

El pivote central recibió este nombre por su forma circular alrededor de un punto central que recibe el nombre pivote. Es hoy uno de los métodos más eficientes en el riego por aspersión. Las partes básicas que conforma el pivote central se mencionan a continuación:

a) Pivote

Es la estructura central de la cual gira todo el sistema, normalmente tiene cuatro patas que están fijadas a unos cimientos de cemento. El punto de entrada de agua se encuentra en la base del pivote al principio de la tubería de elevación. El agua fluye a través de esta tubería y el codo. Este último gira dentro del tubo de elevación.

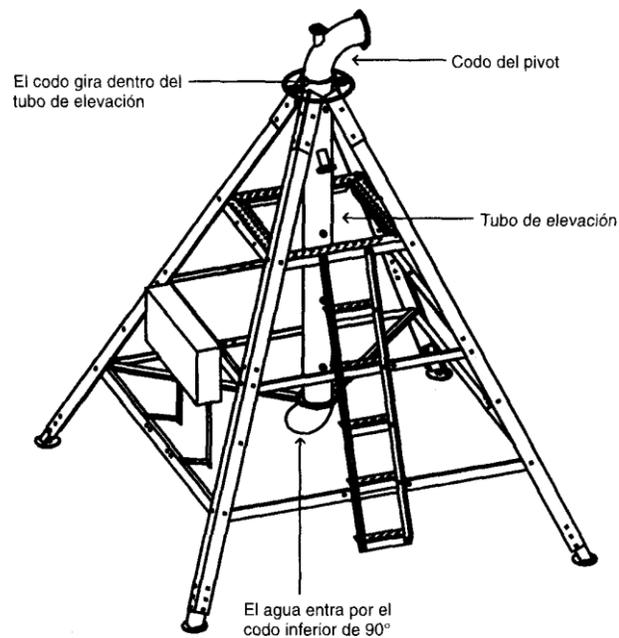


Fig. 2.1 Estructura central del pivote.

Fuente: Valmont Irrigation.

b) Tramos y torres de conducción

El agua que sale del codo es transportada a través del campo por un acueducto. Este acueducto está hecho de una serie de tramos conectados. Cada tramo tiene una “unidad de conducción” que mueve el acueducto alrededor del campo. Un tramo es un acueducto de 6, 6 5/8, 8 5/8 ó 10 pulgadas de diámetro. El acueducto, que tiene forma de arco, está sujetado por una “cuerda de arco” que va unida al acueducto por una serie de estructuras en forma de “V”, que pueden llegar a ser hasta ocho entre cada unidad de conducción. Los tubos del acueducto entre tramos se conectan mediante una manguera corta que se llama “bota flexible”, la cual está unida en sus extremos con unos empalmes de aluminio.

TRAMO: En la figura No. 2 podemos observar la estructura de una de las torres de un pivote las cuales van sujetadas a unas bases con dos llantas de alta flotación.

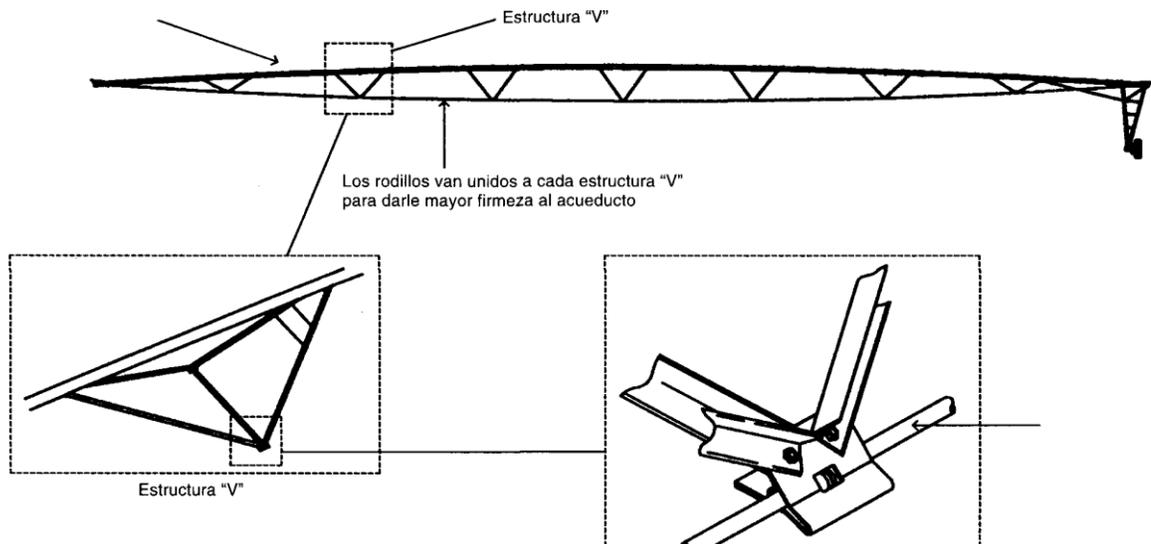


Fig. 2.2 Estructura de una torre de pivote.

Fuente: Valmont Irrigation.

c) Aspersores múltiples

La característica más importante del Pivote Central es su capacidad para aplicar el agua uniformemente. Esto se consigue por medio de unos aspersores que están soldados al acueducto. Los tamaños de las boquillas de los aspersores varían en diámetro de acuerdo con la distancia que hay al centro del sistema. Los aspersores más alejados del centro tienen mayor diámetro ya que deben regar una superficie superior.

d) Caja de la torre y cable del tramo

Una caja de control se encuentra en cada torre de conducción, unos cables de código de color entran y salen de cada caja. Por lo tanto, el cable recorre toda la longitud del sistema. El cable lleva dos tipos de carga eléctrica. 120 voltios para un sistema de control, y 480 voltios para mover los motores de la torres de conducción.

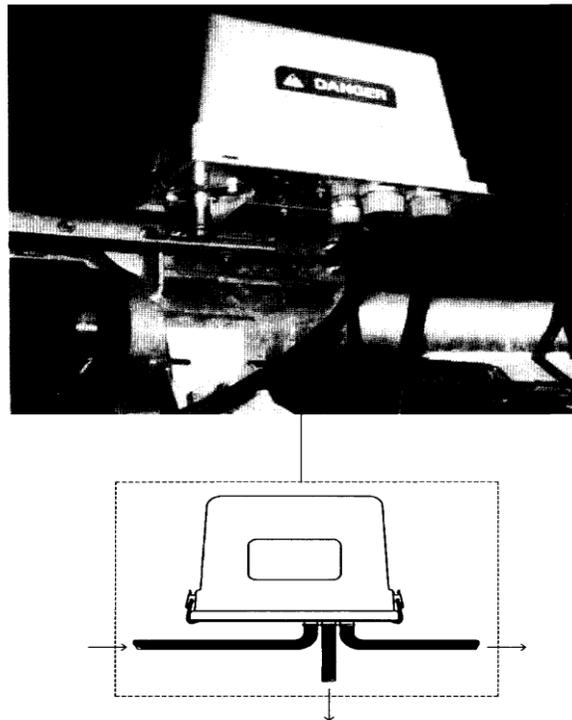


Fig. 2.3 Caja eléctrica de la torre del pivote.

Fuente: Valmont Irrigation.

e) Anillo colector y tubo “J”

El cable del tramo debe poder girar en el pivote ya que de otro modo se enrollaría alrededor del mismo. El aparato que sirve para que no se quede enrollado se llama “anillo colector”. El anillo colector está compuesto de unos anillos de latón apilados y aislados unos de otros. Estos están fijos, unas brochas giran alrededor manteniendo un flujo constante de electricidad, sin forzar el cable mientras el sistema está dando vueltas alrededor del campo.

El cable colector se alimenta desde el anillo colector a través de una tubería en forma de J saliendo de la tubería de elevación cerca de la parte superior. El cable de control sale hacia abajo por la pata del pivote hasta el panel de control.

f) Panel de control

El panel de control permite controlar el sistema. En la mayoría de los casos, el panel de control se encuentra en el pivote. Algunas de las funciones que se pueden controlar son:

Arranque / parada.

Adelante / atrás.

Velocidad del sistema que controla la cantidad de agua aplicada.

El panel de control se alimenta con una corriente de 480 voltios AC. Este voltaje puede venir desde las líneas públicas, generadores mecánicos o convertidores de fase. Un transformador de voltaje 480-120 provee la corriente de 120 voltios necesaria para el funcionamiento del circuito de control. La corriente de 480 voltios va, por medio del cable de control, desde el panel de control hasta cada uno de los contactos de los motores de conducción. Cuando se enciende el contacto en la torre de conducción, la corriente pasa al motor y el sistema se mueve.

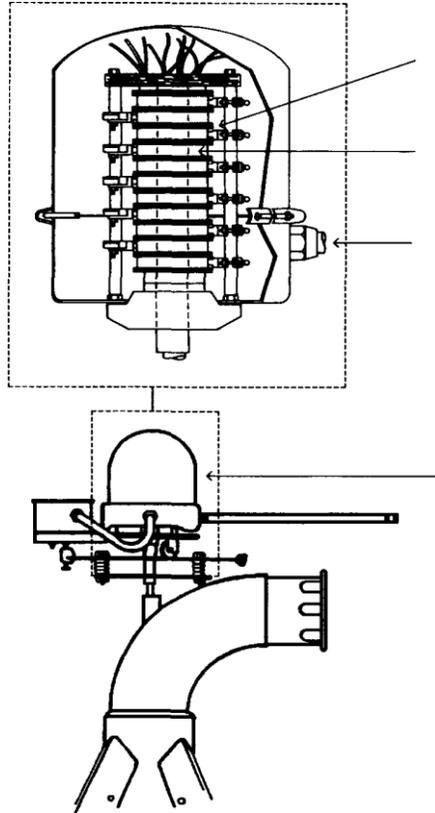


Fig. 2.4 Panel de control del pivote.

Fuente: Valmont Irrigation.

g) Temporizador

El panel de control también le permite cambiar la velocidad del sistema mediante un aparato llamado Temporizador o Porcentaje de velocidad. Si el porcentaje de velocidad está al 100 por ciento, la última torre de conducción estará en continuo movimiento (el 100% del tiempo). A este porcentaje, el sistema está a su máxima velocidad y aplicando la menor cantidad de agua. Para incrementar el riego, el sistema debe disminuir su velocidad. Por ejemplo, si el porcentaje de velocidad está a 50%, entonces la última torre estará en funcionamiento durante 30 segundos por cada minuto que pase (es decir, el 50% del tiempo). En este caso se dobla la cantidad de agua aplicada.

h) Foto completa de un pivote

Como se puede observar en la figura 5 encontramos un pivote de la marca Valley al cual se le evaluó el coeficiente de uniformidad.



Fig. 2.5 Estructura de un pivote completo.

i) Unidades motrices

Es importante controlar la velocidad de la última torre, ya que controla las otras: las demás se mueven para mantenerse “en línea”.

Como la velocidad de cada motor de conducción es constante, cada motor deberá ir a una velocidad proporcionalmente inferior para poder mantener el alineamiento entre las

distintas torres. En cada una de las torres intermedias, se encuentra una barra de control ligada a la base de la caja de control de la torre y al tramo siguiente. Al moverse tanto la última torre como su tramo, la barra de control de la penúltima unidad de conducción va girando. La barra de control está ligada a un eje en la parte inferior de la caja de control. El eje va unido a una placa. Al girar la barra de control, gira la placa que a su vez controla la clavija de ejecución. Al encender y apagar la micro clavija de ejecución, envía una corriente de 480 voltios AC al motor de la torre haciendo que se mueva hasta que esté “en línea” con la siguiente torre.

j) Sistemas de la máquina

Controles Básicos:

Incluye los controles para arrancar y parar, cambiar la dirección, aplicar o no aplicar agua, y ajustar el porcentaje de velocidad.

Diseño Modular:

Los controles Valley pueden mejorarse del Estándar al Valley Select o al Valley Pro. Sólo deberá cambiar el módulo de control sin necesidad de cambiar la totalidad del panel.

Medidor de Horas:

Mantiene un registro de la totalidad de horas durante las cuales ha estado funcionando el sistema (con y sin riego).

Indicador de la Dirección de Movimiento:

Indica en qué dirección se está moviendo el sistema. Adelante (en el sentido de las agujas del reloj), hacia atrás (en sentido contrario al de las agujas del reloj).

Diagnóstico del Sistema de Seguridad:

El circuito de seguridad da una vuelta desde el panel de control, pasando por las micro clavijas de las torres hasta volver al panel de control. El diagnóstico del sistema de seguridad indica si hay un fallo en este circuito.

Revisar aceite de motor y bomba:

La importancia de elegir el aceite adecuado para la lubricación apropiada y lograr el mejor desempeño del equipo.

2.2.1.8 Diseño y operación

García (7) describe que el agua entra al sistema a través del extremo fijo. La línea lateral es soportada por torres metálicas, las cuales son desplazadas por unidades motrices equipadas con propulsión individual, montada sobre grandes ruedas. Estas torres están separadas unas de otras de 25 a 75 m y la longitud de la línea lateral varía frecuentemente de 50 a 800 metros.

García (7) menciona que, para el diseño y operación de estos sistemas existen tres elementos que deben ser ajustados entre sí para lograr un resultado satisfactorio. Estos tres elementos son:

- Características de infiltración del suelo bajo condiciones de aspersión.
- Los requerimientos de humedad del cultivo.
- Las características propiamente del sistema.

Según el Manual de operación Valley (13) la lámina de riego que aplica el sistema por revolución depende una vez que la tasa de precipitación de aspersión queda establecida, únicamente de la velocidad de avance del sistema. Tal que la tasa de precipitación es fija, la lámina de riego depende del tiempo que sobre cualquier punto en el campo se mantenga sobre éste el patrón de precipitación de aspersión. Así, se afirma que mientras más despacio se desplaza el sistema sobre el campo, más tarda en dar una revolución completa aplicando a su vez una mayor lámina de riego.

2.2.1.9 Factores que afectan el coeficiente de uniformidad

Los factores que pueden afectar dicho coeficiente son:

- Distancia entre aspersores
- Altura de la manguera
- Presión del regulador
- Tipo de boquilla
- Velocidad del viento

2.2.1.10 Velocidad del viento en finca Bolivia

Dicha base de datos nos sirvió para poder tomar decisiones y dar las recomendaciones adecuadas al caso, dichos datos se pueden encontrar en la parte de los anexos.

2.2.1.11 Coeficiente de uniformidad (CU)

La uniformidad de riego se refiere al reparto más o menos uniforme del agua infiltrada, y se expresa mediante un valor porcentual. Cuando este valor es 100 significa que en toda la superficie de riego se infiltra la misma cantidad de agua, cosa que nunca ocurre en la práctica. (7)

La falta de uniformidad en la distribución del agua origina un aumento de la cantidad del agua aplicada, con el fin de que las plantas que reciban menos cantidad tengan lo suficiente para cubrir sus necesidades, con lo cual habrá otras plantas que reciban con exceso. (7)

En el riego por superficie se suele utilizar el siguiente coeficiente de uniformidad de distribución (UD):

$$UD = \frac{\text{Lámina media infiltrada en el 25\% del área menos regada}}{\text{Lámina media infiltrada en toda la parcela}}$$

La lámina media infiltrada en el 25% del área menos regada se calcula como la media del 25% menos de los valores más bajos de la lámina de agua infiltrada, teniendo en cuenta que cada valor corresponde a una superficie. (7)

En riego por aspersión se utiliza preferentemente el siguiente coeficiente de uniformidad (CU) propuesto por Christiansen:

$$CU = 1 - \frac{\sum |d|}{M \times n}$$

$\sum |d|$ = Suma de los valores absolutos de las desviaciones en los puntos de control, con respecto a la media de la lámina infiltrada.

M= Valor medio de la lámina infiltrada en los puntos de control.

n= Número de puntos de control.

2.2.1.12 Uniformidad de riego con equipos pivote

En riego por aspersión suelen manejarse unos coeficientes de uniformidad de Christiansen (CU) del siguiente orden:

	<u>CU %</u>
a). Cultivo de alta rentabilidad con sistema radicular superficial	88
b). Cultivos extensivos con sistema radicular de profundidad media	82-88
c). Frutales y forrajes con sistema radicular de profundidad media	70-82

Cuándo el viento sopla hacia el centro del pivote en la dirección del lateral el área regada disminuye alrededor de un 17%, mientras que cuando sopla hacia el extremo el área regada crece cerca de un 19%. Ya que la velocidad del viento crece con la altura sobre el suelo, suele tenderse a utilizar aspersores de bajo ángulo (7° a 10°) en los pivotes, para acortar así la trayectoria de caída del agua hasta el suelo.(13)

2.2.1.13 Eficiencias de riego

La cantidad de agua que es derivada de una fuente no es usada en su totalidad por los cultivos a regar, normalmente ocurren pérdidas de agua desde que el agua se deriva hasta que el cultivo la usa. Estas pérdidas pueden ser enormes en sistemas manejados eficientemente. Considerando que el agua es un recurso escaso en las zonas bajo riego, nadie tiene el derecho de desperdiciarla cuando otro de sus semejantes puede necesitarla. (12)

En las regiones donde el agua es escasa y tiene precios altos se tiende a usarla eficientemente, en cambio, en lugares en los cuales es abundante o barata (o no tiene costo alguno para el agricultor) se tiende a no apreciarla y se desperdicia en grandes cantidades. (12)

Se discutirán en esta sección los diferentes tipos de eficiencia a considerar en un sistema de riego:

a) Eficiencia de conducción (Ec)

La eficiencia de conducción (EC), es la relación que existe entre la cantidad de agua suministrada en la toma-granja (compuerta de entrada) de la parcela y el agua derivada de la fuente:

$$Ec = \frac{Atg}{Ad} \times 100$$

Donde:

Ec= eficiencia de conducción (%).

Atg= cantidad de agua suministrada en la toma-granja (m³, ó m³/seg).

Ad= cantidad de agua derivada de la fuente (m³, ó m³/seg). (12)

b) Eficiencia de aplicación (Eap)

La eficiencia de aplicación (Eap) es la relación que existe entre el agua almacenada en la zona de raíces (Aa) y el agua recibida en la toma-granja (Atg):

$$Eap = \frac{Aa}{Atg} \times 100$$

Donde:

Eap = eficiencia de aplicación (%).

Aa = agua almacenada en la zona radicular (m³ ó cm).

Atg = agua recibida en la toma-granja (m³ ó cm). (12)

c) Eficiencia de almacenamiento (Eal)

La eficiencia de almacenamiento (Eal), se define como la relación entre el agua almacenada en la zona principal de raíces como efecto del riego y el agua necesaria para llevar esa zona hasta la capacidad de campo:

$$E_{al} = \frac{A_a}{A_n} \times 100$$

Donde:

E_{al} = eficiencia de almacenamiento (%).

A_a = agua almacenada en la zona principal de raíces (m^3 ó cm).

A_n = agua necesaria para llevar la zona principal de raíces a CC (m^3 ó cm). (12)

d) Eficiencia de distribución (E_d)

Al aplicar el agua de riego a un terreno debe procurarse que la cantidad de esta penetre uniformemente en toda el área, esto es difícil de lograr sobre en todo en los métodos de riego superficiales en los que el tiempo de oportunidad es mayor al inicio del recorrido que al final lo cual incide en que la penetración en el inicio sea mayor que en el final dando una distribución no uniforme. La eficiencia de distribución (E_d) se define como la relación entre el promedio de profundidad alcanzado por el agua en un perfil durante el riego y la desviación de ese promedio para un número de puntos específicos de muestreo:

$$E_d = 100 \left(1 - \frac{y}{d} \right)$$

Donde:

E_d = eficiencia de distribución (%).

d = promedio de la lámina aplicada o almacenada en el suelo (cm).

y = promedio de los valores absolutos de las desviaciones del agua aplicada o almacenada con respecto a “ d ” (cm). (12)

2.2.1.14 Cartas de aspersión

La carta de aspersión es un documento que el fabricante de los sistemas de riego por pivote proporciona al comprador, la cual describe como deben de estar colocados los aspersores en las torres de los pivotes. Las cartas de aspersión nos dan los siguientes datos: Número de torres, Número de aspersores y Número y color de las boquillas. En la parte de anexos se muestran las cartas de aspersión de los pivotes trabajados en dicha investigación.

2.2.2 Marco Referencial

2.2.2.1 Características generales de la finca Bolivia

a) Localización

La finca Bolivia se encuentra ubicada al sur del departamento de Escuintla, a una distancia de 87 km. de la ciudad capital, del lado este de la autopista al puerto quetzal CA-9, a una altitud de 30 msnm, dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud 14° 04'30" norte

Latitud 90°46'48" oeste

b) Extensión territorial y colindancias

La finca Bolivia cuenta con un área aproximada de 3,366.57 hectáreas y colinda con las siguientes fincas:

Norte:	Finca El Perú
Sur:	Finca Albania
Este:	Finca El Jardín
Oeste:	Finca Buenos Aires

c) Clima y zonas de vida

De acuerdo a la clasificación realizada por De la Cruz, esta zona se encuentra clasificada en Bosque muy húmedo subtropical (bmh-S) cálido (c), debido a las condiciones de temperatura media anual de 23°C, y una precipitación pluvial promedio de 1826 mm al año distribuidos en los meses de mayo a noviembre, con una marcada canícula que comprende del 14 de Julio al 26 de Agosto.

d) Hidrología

La finca Bolivia cuenta con el río El Naranja que abastece de agua para riego en dicha zona. Así mismo se cuenta con varias pocetas que abastecen parte de la finca y la otra parte es en donde se encuentran unos pozos mecánicos.

e) Suelos

Los suelos según Simmons pertenecen a la serie Tiquisate, el material original está conformando por depósitos marinos aluviales, con un relieve casi plano y altitudes menores a 999 msnm. Estos suelos son de color oscuro y se caracterizan por tener buen drenaje, textura franco-arenosa, con profundidad efectiva de 100 cm y un pH neutro.

f) Trabajo de investigación de CENGICAÑA

El trabajo se realizó en conjunto con CENGICAÑA ya que es parte de una investigación que realizó el departamento de riegos de dicha entidad.

2.2.2.2 Mapa de ubicación donde se realizó el estudio

El trabajo se realizó en la finca Bolivia, la cual comprende a su vez seis fincas: Finca La Aurora, Finca Orinoco, Finca Amazonas, Finca Iguazú, Finca Palo Pinta y Finca Río Plata.

En la figura 6 se muestra cada una de las fincas antes mencionadas así como también las posiciones de trabajo de cada uno de los pivotes que se evaluaron.

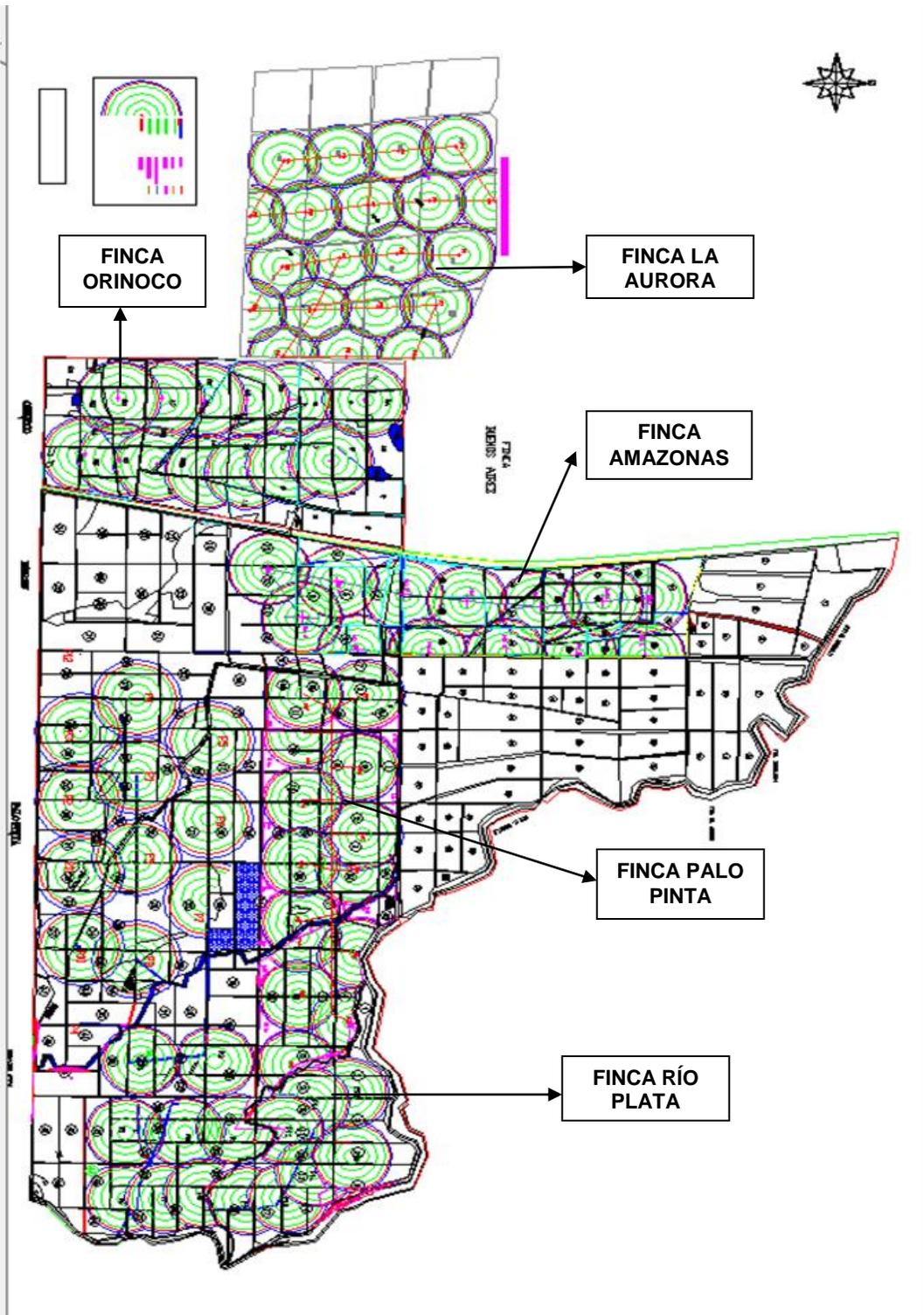


Fig. 2.6 Posiciones de trabajo de los pivotes ubicados por finca.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Mejorar la uniformidad de los pivotes de la finca Bolivia y alcanzar un ochenta y cinco por ciento de uniformidad para hacer más eficiente el riego de la caña de azúcar *Saccharum officinarum L.* en el ingenio Santa Ana.

2.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el coeficiente de uniformidad para los pivotes ubicados en la finca Bolivia.
- Realizar los ajustes necesarios a la carta de aspersión del proveedor bajo las condiciones de operación del ingenio Santa Ana.
- Desarrollar una descripción técnica operativa de los sistemas de riego por pivotes de la finca Bolivia del ingenio Santa Ana.

2.4 METODOLOGÍA

2.4.1 Ubicación del área donde se realizó el estudio

El estudio se realizó en la finca Bolivia (Fincas Aurora, Orinoco, Amazonas, Iguazú, Palo Pinta y Río Plata) las cuales comprenden un área de 2,094.4 ha dentro de las cuales se identificaron los lotes cubiertos por sistemas de riego (pivote), a través de mapas digitales disponibles en el ingenio; como el que se muestra en la figura 6.

2.4.2 Características Técnicas de los Pivotes de Riego

Las características técnicas de los pivotes se dividen en dos:

- a) **Características físicas:** dentro de estas características podemos incluir las cartas de aspersión la cual fue descrita en la página no. 12.
- b) **Características operativas:** los sistemas de riego por pivote que se evaluaron son totalmente móviles, esto quiere decir que tienen varias posiciones cada uno de ellos dentro de las fincas que riegan. Los pivotes en cada posición trabajan de 18 a 20 hrs, dependiendo a la velocidad que se requiera; la marca de los pivotes va a depender porque hay dos las cuales son Valley y Zimmantic.

2.4.3 Metodología para determinar el coeficiente de uniformidad en el campo

Para poder determinar el coeficiente de uniformidad de los pivotes de la finca Bolivia se procedió de la siguiente forma:

- a) Se eligió la zona de ensayo: en las parcelas donde el cultivo tenía porte bajo se procuró evaluar el equipo en una posición con el mínimo de diferencias de cota. Cuando el cultivo tenía porte alto, el ensayo se realizó en el camino de acceso al centro del pivote.
- b) Se midió del extremo al centro, la separación entre torres a través de sus huellas en el terreno, aprovechando el camino de acceso al centro del pivote.
- c) Se colocó el anemómetro en el trípode y se anotó la lectura y la hora. Se repitió la medida periódicamente cada 10 ó 15 min. hasta finalizar el ensayo.
- d) Se dispusieron los pluviómetros en hilera siguiendo la dirección de un rayo, comenzando desde el centro del pivote, con espaciamento entre 5 y 6.5 m. De esta manera se obtiene un nivel de precisión aceptable, no siendo necesario para los pluviómetros sigan una línea recta. Pudiendo colocarse por delante del frente

mojado. Según Merina y Keller (1978) y otros autores, con una línea de pluviómetros es suficiente para caracterizar su modelo de distribución. Ring y Heerman (1978) recomiendan utilizar dos líneas radiales separadas con espaciamentos entre pluviómetros de 3 m. pudiendo necesitar un menor espaciamiento los sistemas con toberas de baja presión.

La separación entre pluviómetros depende del grado de exactitud deseado. Una separación de 3 a 6 m. puede proporcionar una precisión suficiente para la evaluación del modelo de reparto de agua, pudiendo realizar una estimación con espaciamentos de 10 m. Se prescindió de los primeros pluviómetros adyacentes al centro del pivote, pertenecientes a uno o dos tramos entre ruedas, dependiendo de la longitud del equipo, sin que por ello se produzcan efectos adversos en la evaluación.

Se asignó un número de orden a la localización de cada pluviómetro comenzando desde el centro pivote, numerando también los pluviómetros que se han dejado de poner, con el fin de simplificar el proceso de captación de datos. El espaciamento más conveniente se obtiene dividiendo la longitud del tramo entre torres por número entero, haciendo los correspondientes reajustes en caso de existir tramos de diferente longitud.

Una vez decidido el espaciamento, con ayuda de una cinta métrica, se colocaron las filas de pluviómetros por delante del frente mojado, comenzando por la primera huella de la torre conductora adyacente al centro pivote, el primer pluviómetro se colocó a una distancia de la huella aproximadamente igual a la mitad del espaciamento para que queden lo más alejados posible de la huella, manteniendo siempre su equidistancia. Los pluviómetros se enterraron ligeramente para evitar que se volcaran, dejándolos en posición vertical.

Puede ser interesante colocar dos filas de pluviómetros paralelas, distanciadas 4 m. aproximadamente, para obtener una repetición con muy poco más de trabajo. Normalmente los pluviómetros de ambas filas no recogen la misma cantidad de agua para

la UD (uniformidad de distribución) y EPA (eficiencia potencial de aplicación del sistema) suelen ser semejantes.

- e) Se midió la velocidad media de desplazamiento de la última torre. Si el equipo no funciona al 100% de su velocidad, en el momento de pararse la torre, se midieron 10 m. siguiendo la huella de la rueda y se colocó una señal en el punto correspondiente, después se cronometró el tiempo que tardó en recorrerlos comenzando en el momento en que se puso en marcha.
- f) Se midió la anchura de la franja mojada en la zona del extremo.
- g) Se midió la longitud del alero y la distancia de la última torre al borde efectivamente regado para deducir la longitud del aparato y el radio regado.
- h) Durante el tiempo que el equipo pasó sobre el área de prueba se colocaron aparte, dos pluviómetros con la cantidad de agua que se supone recogieron los pluviómetros del ensayo para hacer una estimación de las pérdidas por evaporación. Esto en realidad es poco preciso por las diferentes condiciones ambientales de unos y otros pluviómetros.
- i) Se midió la presión en los emisores próximos a la última torre accediendo a ellos a través de esta y comprobar sus características (marca, modelo, no. de boquillas, etc.).
- j) Se volvió al centro del pivote y se midió la presión del mismo. Si esto no es posible medir dicha presión en el primer emisor. Este puede ser un momento adecuado para tomar la lectura del anemómetro y el tiempo.
- k) Se midió el caudal de entrada al pivote. Cuando esté equipado con un contador, se anotará el volumen registrado en períodos de 10 min.
- l) Se midió la presión en la salida de la bomba así como las características de funcionamiento de ésta.
- m) Se midió el volumen de agua recogido en los pluviómetros tan pronto como fue posible, comenzando por los situados junto al borde de la parcela, que fueron por los que primero paso el equipo. Se midió uno de los pluviómetros de evaporación cuando se llego hacia la mitad de la longitud del equipo y el otro cuando se terminó la recogida de agua de los pluviómetros. En la ficha de ensayo se localizó la

posición de las torres, sirviendo de comprobación para la ordenación de pluviómetros.

El radio correctamente regado coincidirá normalmente con la longitud del equipo si no tiene “pistola o cañón” al final. El conocer exactamente este radio puede ser difícil pues el viento lo incrementa y reduce fácilmente. Un criterio razonable podría ser, que llegara hasta el pluviómetro que recoja un valor próximo a la media cuando hay viento.

n) Se midió la lectura del anemómetro y la hora al final del ensayo.

2.4.4 Obtención de los parámetros de evaluación

Los volúmenes recolectados en los pluviómetros se ponderaron, ya que lo recogido en los diferentes puntos representa áreas cada vez mayores a medida que aumenta la distancia al centro pivote. La ponderación se realizó multiplicando el volumen recogido por el número de posición asignado previamente al pluviómetro. La media ponderada de las cantidades recogidas se obtuvo dividiendo la suma de los valores ponderados por la suma de los números de posición de los pluviómetros correspondientes.

Para determinar la media ponderada del 25% de los menores valores recogidos se utilizó un número desconocido de pluviómetros que representan a los $\frac{1}{4}$ que menos recogen dentro del área regada. La selección de estos se realizó escogiendo los volúmenes crecientes y manteniendo los números de posición asociados hasta que su suma se aproximó a $\frac{1}{4}$ de la suma de los números de posición de todos los pluviómetros del ensayo. La media ponderada de los $\frac{1}{4}$ pluviómetros que menos volumen recogieron se obtuvo entonces dividiendo la suma de los volúmenes ponderados correspondientes a los $\frac{1}{4}$ menores por la suma de los números de posición asociados a estos pluviómetros.

La uniformidad de distribución (UD) será:

$$UD = \frac{\text{Media ponderada de los volúmenes del 25\% de pluviómetros que menos recogen}}{\text{Media ponderada de los volúmenes recogidos}}$$

2.4.5 Metodología para calcular el coeficiente de uniformidad

Para el cálculo de éste se procedió a la utilización de un software en el que se introdujeron los valores en MS Excel y también a su vez se creó un gráfico de dicho coeficiente para ser analizado de una mejor forma. Las fórmulas que utiliza dicho programa en Excel son las mencionadas en la obtención de los parámetros de evaluación del sistema, que son la uniformidad de distribución (UD) y la eficiencia potencial de aplicación del sistema (EPA). En el gráfico se podrá observar en el eje de las “x” la descarga calculada en (mm) y en el eje de las “y” se encuentra la distancia desde el centro del pivote en metros.

2.4.6 Cómo alcanzar los objetivos

Para poder alcanzar el objetivo número dos se colocó un manómetro al inicio de la tubería del pivote y otro manómetro al final de la tubería del pivote para estar monitoreando la presión constantemente y como hubo un desfase se procedió a realizar los cambios a la carta de aspersión.

Para el caso del objetivo número tres se procedió a realizar un formato que describa la estructura del pivote así como algunos cálculos hidráulicos, lámina de agua a aplicar y otros datos de operación en el campo.

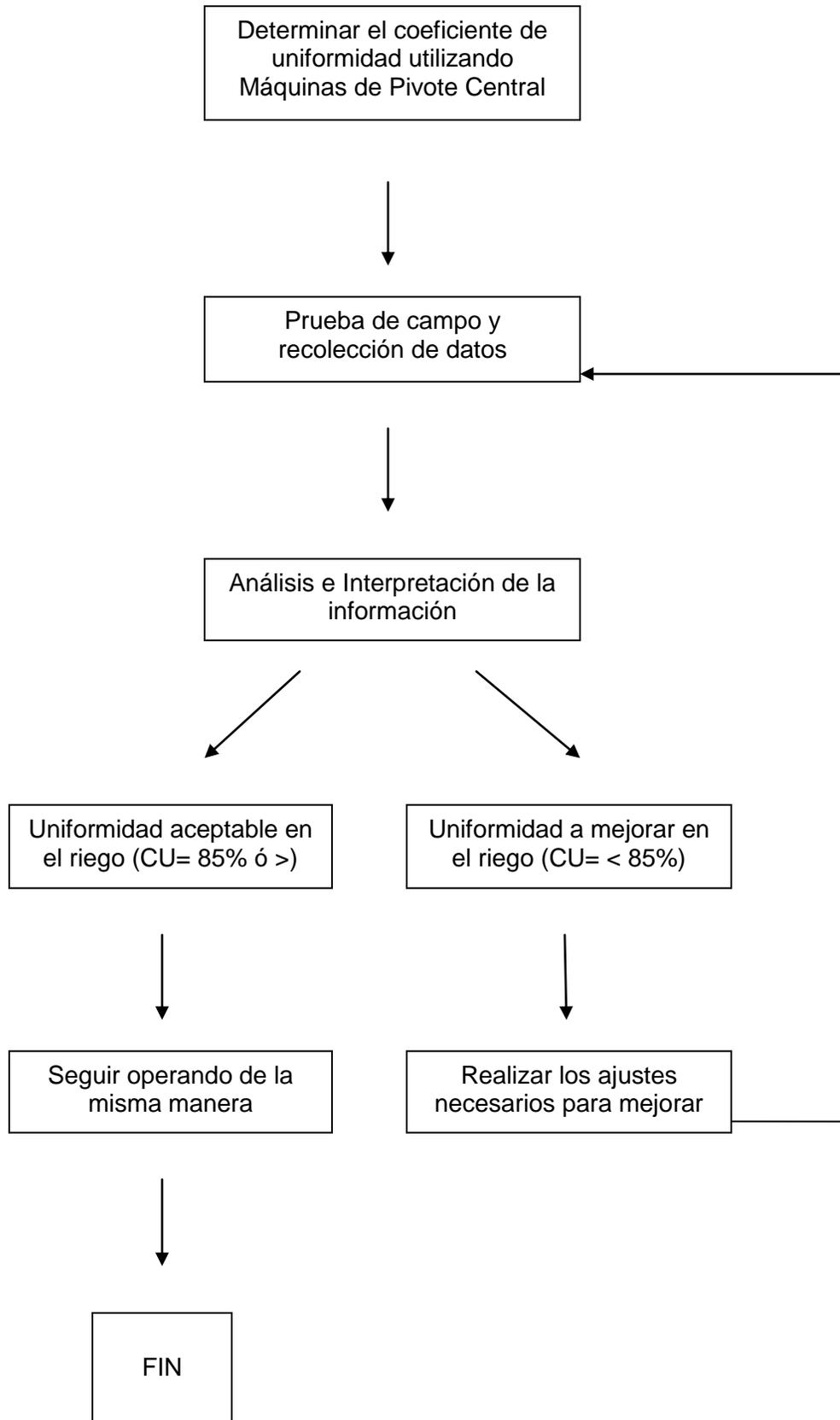
2.4.7 Área de estudio

El estudio del coeficiente de uniformidad se realizó en un lugar donde la plantación de caña de azúcar no afectara, por ejemplo en una de las calles de los pantes de caña; debido a que los receptores se colocaron sobre una superficie más o menos plana. Entonces el coeficiente de uniformidad es representativo ya sea para caña grande o caña pequeña.

2.4.8 Cómo realizar los ajustes al sistema de riego

Para realizar los ajustes de operación al sistema de riego y operar con un coeficiente de uniformidad adecuado deben revisarse las cartas de aspersión, pues como se mencionó; estas nos dicen cómo deben de estar operando los pivotes en cuanto a estructura de aspersores se refiere. Entonces revisando la carta de aspersión con la realidad pueden tomarse decisiones de hacer ciertos cambios para mejorar la operación.

2.4.9 Diagrama de Flujo: Evaluación del Coeficiente de Uniformidad (CU) del riego por aspersión utilizando Máquinas de Pivote Central.



2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los coeficientes de uniformidad realizados en la finca Bolivia del Ingenio Santa Ana son los siguientes:

Cuadro 2.1 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN PORCENTAJE (Registro/Antes)

CÓDIGO DE PIVOTE	No. DE POSICIONES	POSICIÓN EVALUADA	C.U. (%)	U.D. (%)
264-0002	9	5	84.7	74.3
264-0003	11	2	78.6	69.8
266-0002	13	10	77.1	74.2
266-0004	13	11	80.5	67.3
266-0001	11	7	77.2	65.0
266-0003	6	4	89.9	83.0
266-0005	15	1	77.1	70.3

Las evaluaciones de cada uno de los pivotes en mención se describen en los cuadros del 2 al cuadro 8 y en las figuras de la 7 a la figura 13 presentadas a continuación:

Cuadro 2.2 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 264-0002.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	30	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.68	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	9:00	
Hora de finalización	hh:mm	11:00	
Duración de la prueba	hh:mm		2:00
Velocidad del viento	m/s	3.5	
Dirección del viento		Norte	
No. de repeticiones: recipientes usados			16
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		19.9
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		15.3
Coeficiente de uniformidad	%		84.7
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		74.3
Coeficiente de variación	%		20.2

En la figura 7 se observa que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 3.04 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 84.7%

$100-84.7= 15.3$

Descarga calculada= 19.9

$15.3/100= 0.153$ * descarga calculada

$0.153*19.9= 3.04\text{mm.}$

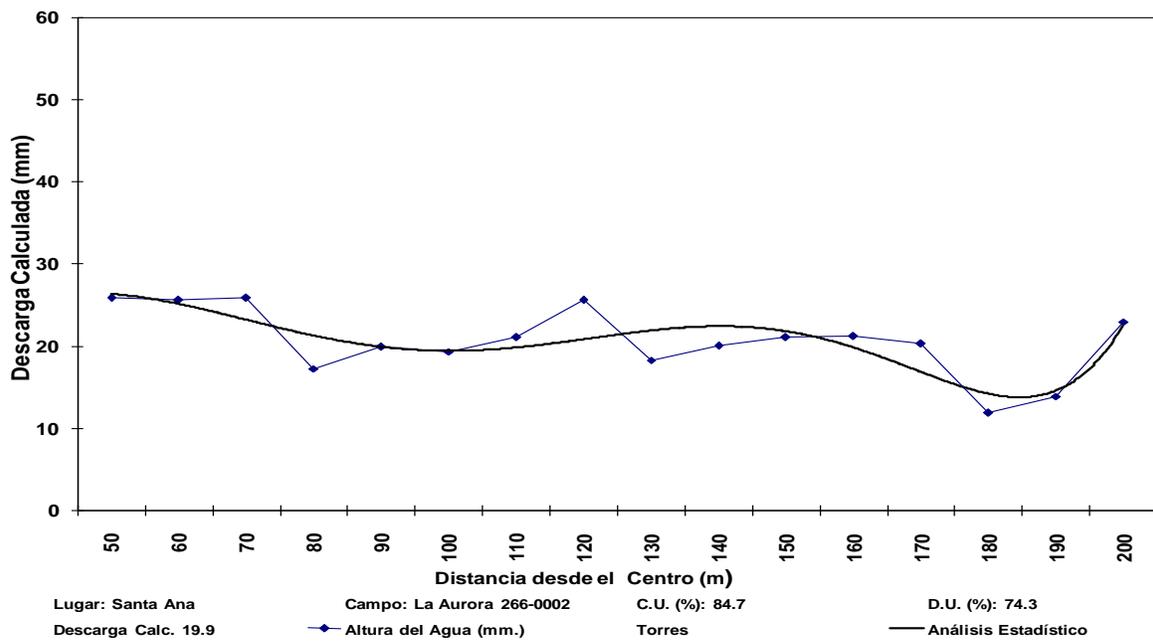


Fig. 2.7 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 264-0002.

Cuadro 2.3 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 264-0003.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	30	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.65	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	9:30	
Hora de finalización	hh:mm	11:30	
Duración de la prueba	hh:mm		2:00
Velocidad del viento	m/s	5	
Dirección del viento		Norte	
No. de repeticiones: recipiente usados			18
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		22.8
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		16.3
Coeficiente de uniformidad	%		78.6
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		69.8
Coeficiente de variación	%		26.3

En esta figura 8 se puede observar que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 4.88 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 78.6%

$100-78.6= 21.4$

Descarga calculada= 22.8

$21.4/100= 0.214$

$0.214*22.8= 4.88\text{mm.}$

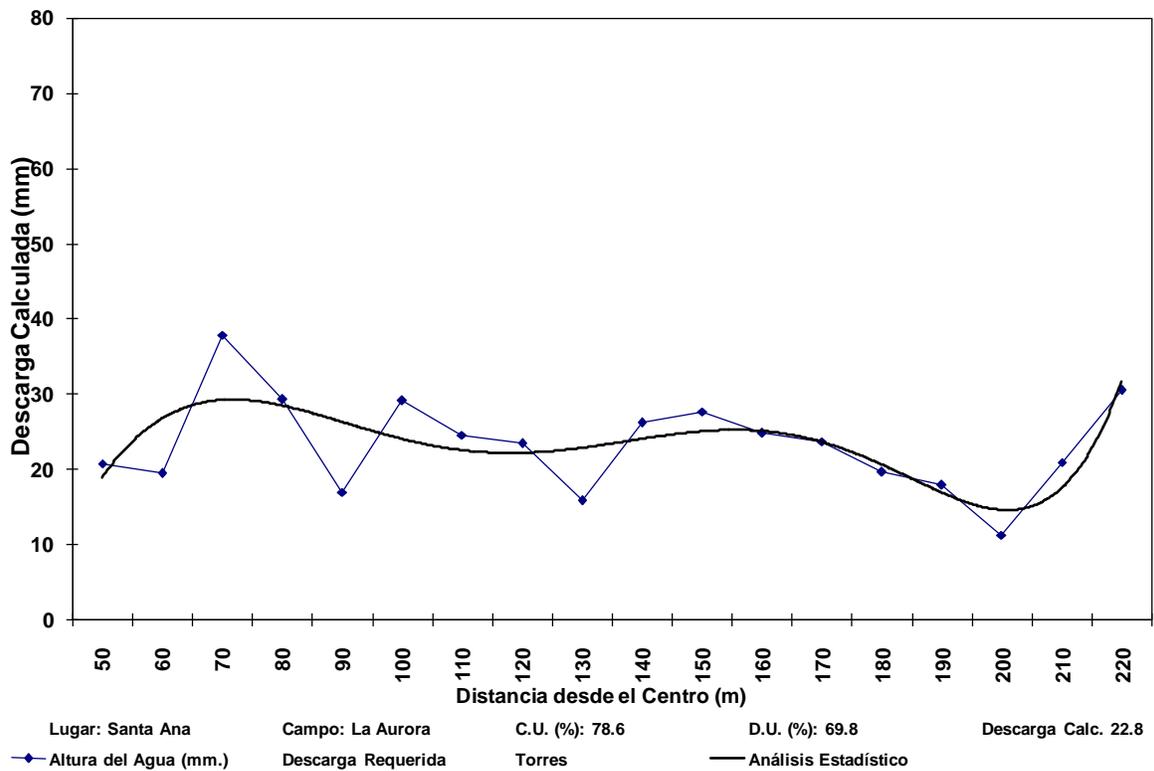


Fig. 2.8 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 264-0003.

Cuadro 2.4 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0002.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	24	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.51	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	10:00	
Hora de finalización	hh:mm	12:30	
Duración de la prueba	hh:mm		2:30
Velocidad del viento	m/s	5	
Dirección del viento		Norte	
No. de repeticiones: recipientes usados			20
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		22.2
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		16.8
Coeficiente de uniformidad	%		77.1
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		74.2
Coeficiente de variación	%		33.7

Para este caso en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 4.95 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 77.1%

$100-77.1= 22.3$

Descarga calculada= 22.2

$22.3/100= 0.223$

$0.223*22.2= 4.95\text{mm.}$

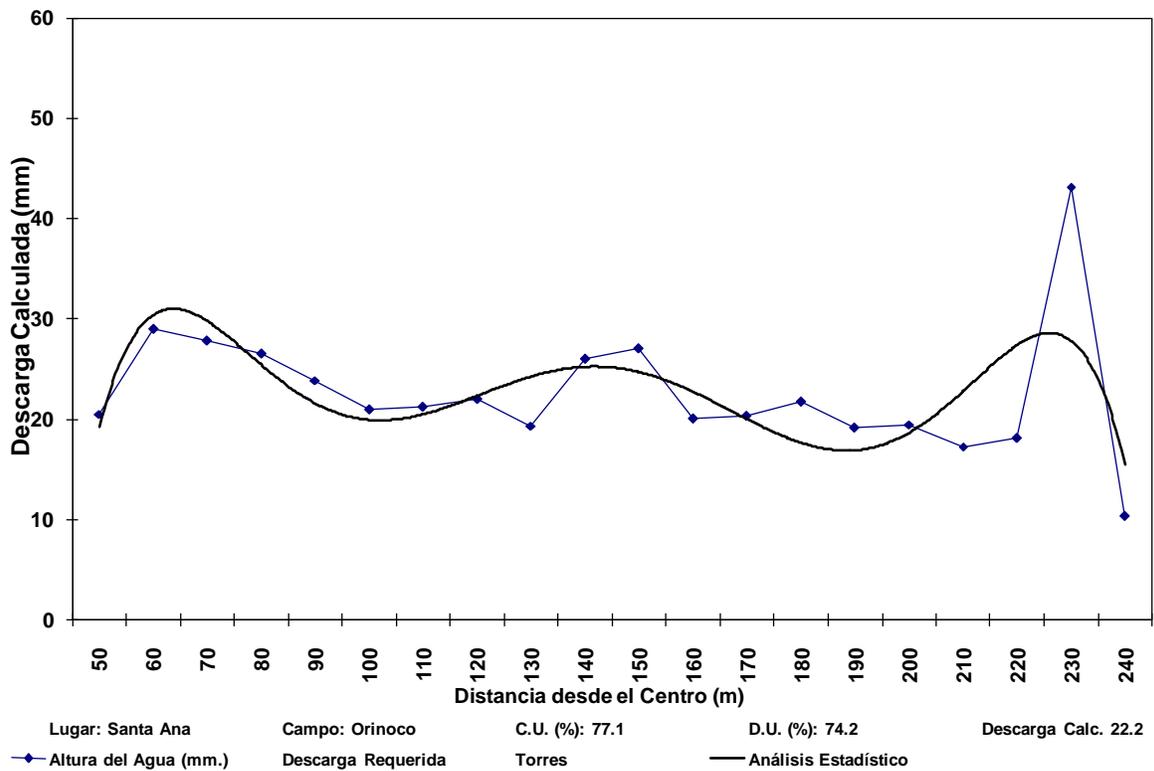


Fig. 2.9 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0002.

Cuadro 2.5 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0004.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	22	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.51	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	9:30	
Hora de finalización	hh:mm	12:00	
Duración de la prueba	hh:mm		2:30
Velocidad del viento	m/s	4	
Dirección del viento		Oeste	
No. de repeticiones: recipientes usados			21
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		31.9
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		25.3
Coeficiente de uniformidad	%		80.5
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		67.3
Coeficiente de variación	%		37.9

Para la figura 10 se observa que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 6.22 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 80.5%

$100-80.5= 19.5$

Descarga calculada= 31.9

$19.5/100= 0.195$

$0.195*31.9= 6.22\text{mm.}$

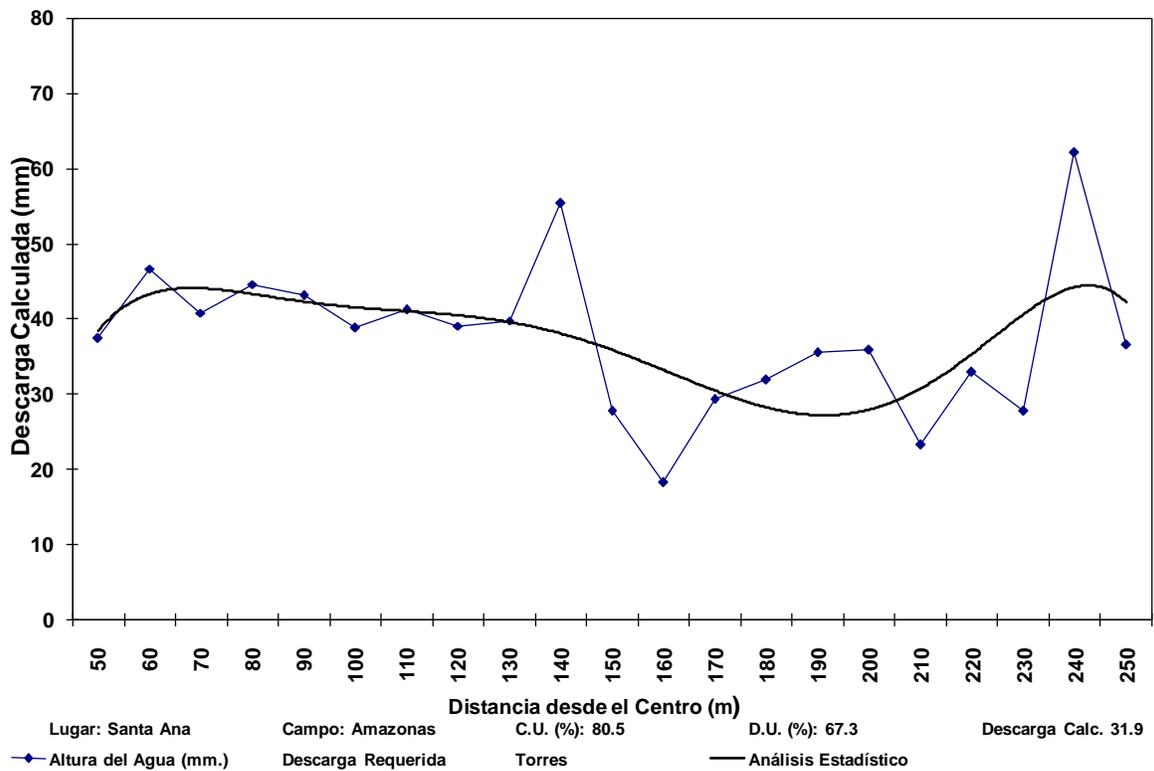


Fig. 2.10 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0004.

Cuadro 2.6 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0001.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	32	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.9	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	10:30	
Hora de finalización	hh:mm	12:30	
Duración de la prueba	hh:mm		2:00
Velocidad del viento	m/s	2.5	
Dirección del viento		Oeste	
No. de repeticiones: recipientes usados			19
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		34.8
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		25.9
Coeficiente de uniformidad	%		77.2
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		65.0
Coeficiente de variación	%		39.9

En la figura 11 se observa que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 7.93 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 77.2%

$100-77.2= 22.8$

Descarga calculada= 34.8

$22.8/100= 0.228$

$0.228*34.8= 7.93\text{mm.}$

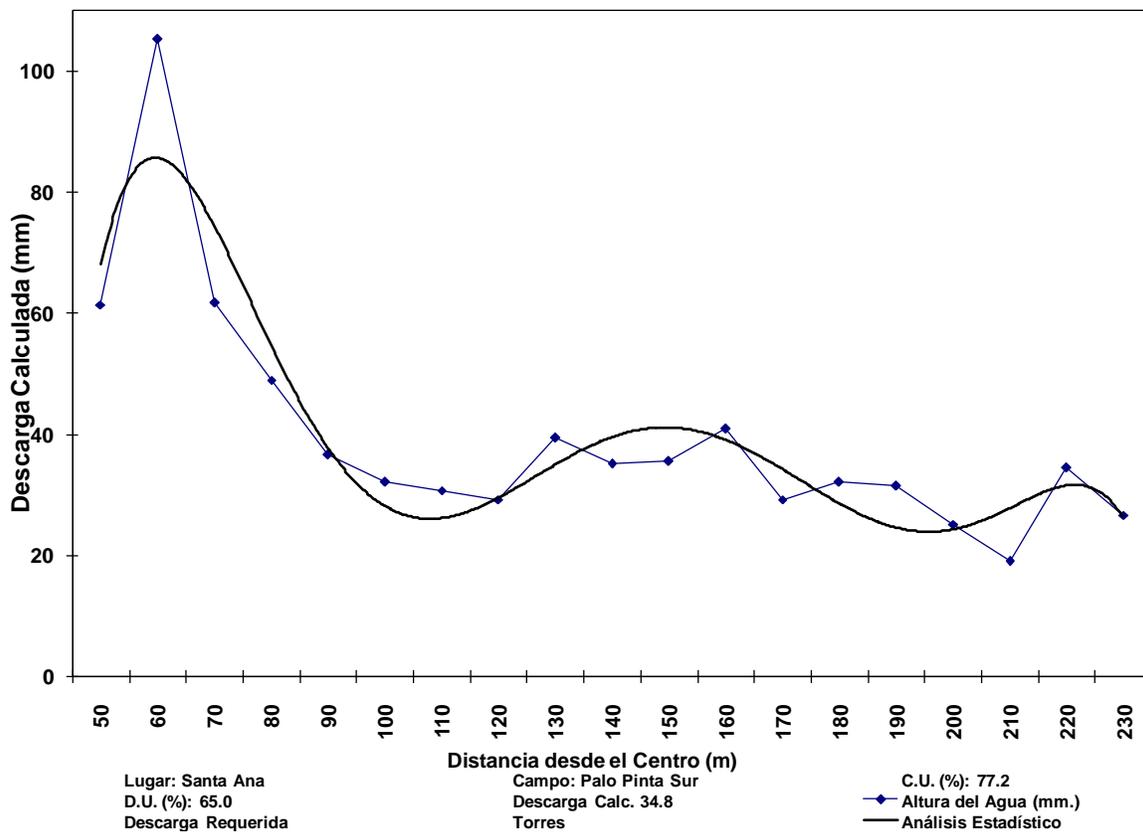


Fig. 2.11 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0001.

Cuadro 2.7 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0003.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	36	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.51	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	9:30	
Hora de finalización	hh:mm	12:00	
Duración de la prueba	hh:mm		2:30
Velocidad del viento	m/s	4	
Dirección del viento		Oeste	
No. de repeticiones: recipientes usados			19
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		10.5
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		9.0
Coeficiente de uniformidad	%		89.9
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		83.0
Coeficiente de variación	%		13.5

En la figura 12 se puede observar que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 1.06 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 89.9%

$100-89.9= 10.1$

Descarga calculada= 10.5

$10.1/100= 0.101$

$0.101*10.5= 1.06\text{mm.}$

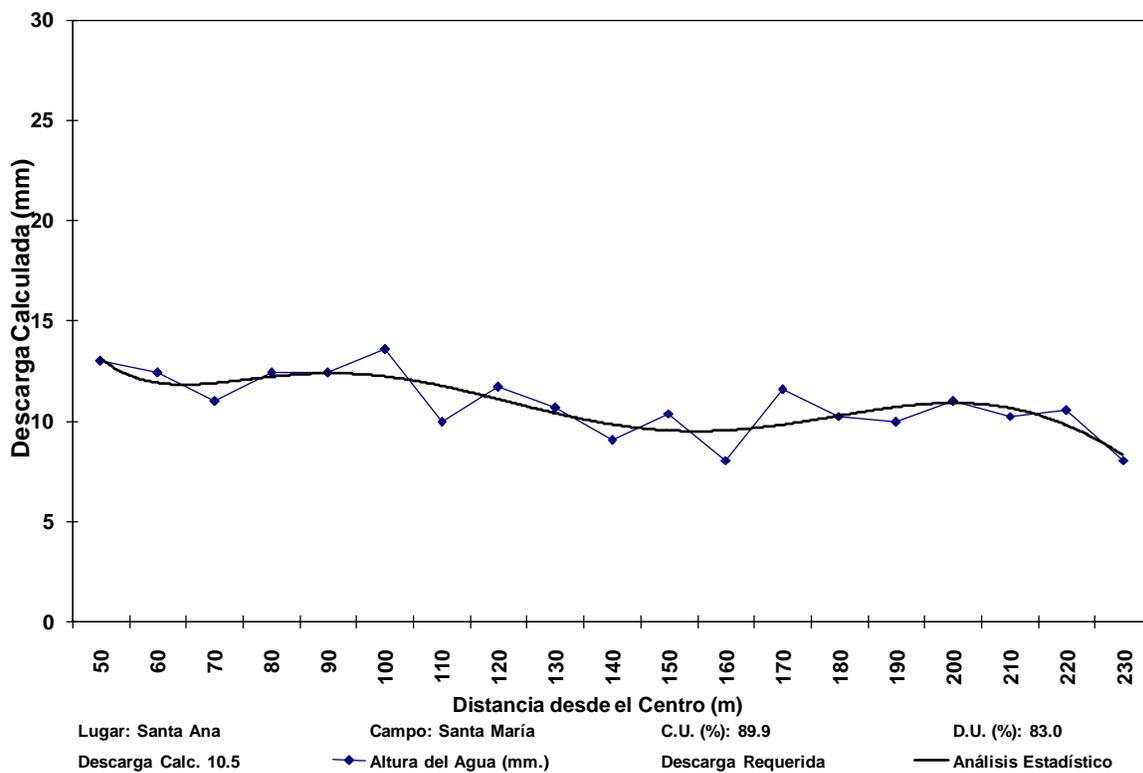


Fig. 2.12 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0003.

Cuadro 2.8 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0005.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	30	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.55	
Distancia entre emisores	m.	1.5	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	8:00	
Hora de finalización	hh:mm	10:00	
Duración de la prueba	hh:mm		2:00
Velocidad del viento	m/s	5	
Dirección del viento		Norte	
No. de repeticiones: recipientes usados			18
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		28.5
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		20.7
Coeficiente de uniformidad	%		77.1
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		70.3
Coeficiente de variación	%		32.8

En la figura 13 podemos observar que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 6.53 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 77.1%

$100-77.1= 22.9$

Descarga calculada= 28.5

$22.9/100= 0.229$

$0.229*28.5= 6.53\text{mm.}$

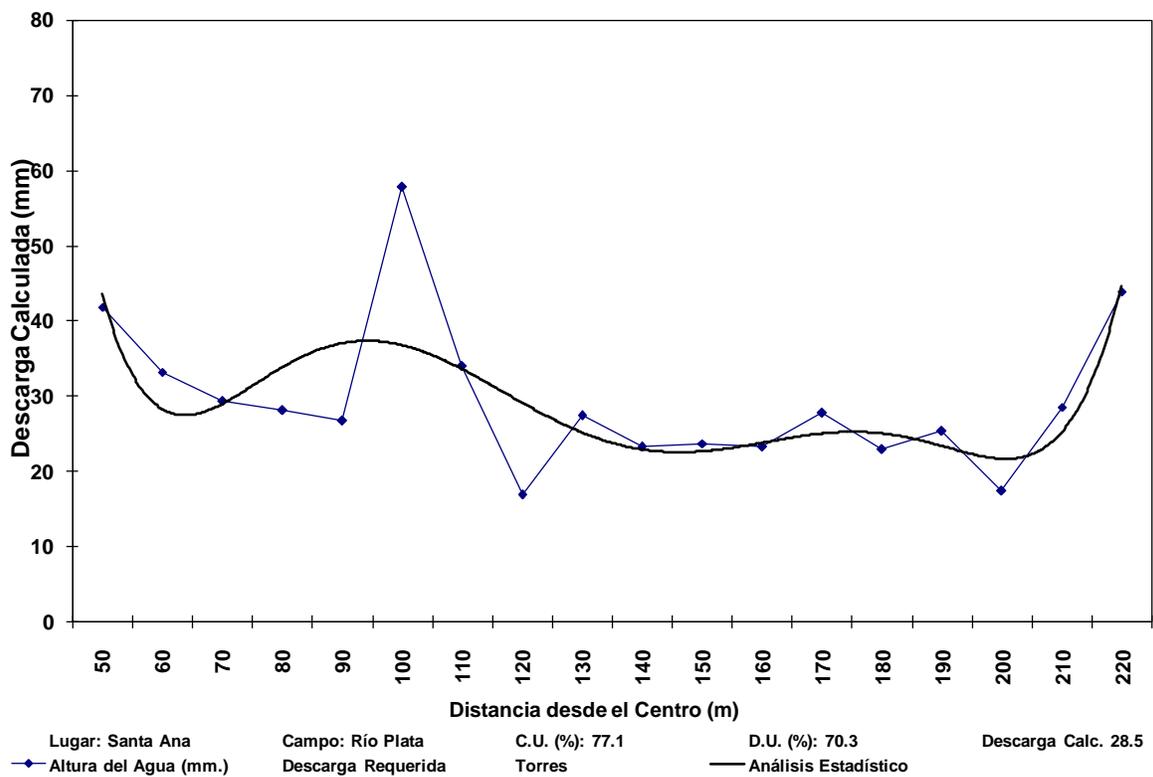


Fig. 2.13 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0005.

Cabe mencionar que de los siete pivotes evaluados dos de ellos obtuvieron un coeficiente de uniformidad de riego mayor al 85% por lo tanto a estos dos pivotes ya no se les hizo ninguna modificación ya que este rango en el que están superan el objetivo de hacerlos operar a un 85%, los dos pivotes que alcanzaron más del 85% son: 264-0002 y el 266-0003.

A continuación se presentan los siguientes resultados de los sistemas de riego denominados pivotes a los cuales sí se les hizo una modificación a la carta de aspersión siendo estas modificaciones las siguientes:

- 1. Se realizó un reordenamiento de las boquillas de los aspersores debido a que estas se encontraban de diferente orden al que se propone por el fabricante.**
- 2. También se realizaron cambios de los reguladores de presión ya que no se encontraban como lo propuso el fabricante desde un principio.**
- 3. Las mangueras de los bajantes (donde va colocado el aspersor) fueron ubicadas todas a una altura estándar de 1.4 m.**

Siendo así, a continuación se presentan los resultados obtenidos con las modificaciones realizadas en los sistemas de riego por pivote del Ingenio Santa Ana:

Cuadro 2.9 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD EN PORCENTAJE (Registro/Después)

CÓDIGO DE PIVOTE	No. DE POSICIONES	POSICIONES EVALUADAS	C.U. (%)	U.D. (%)
264-0002	9	Ninguna	84.7	74.3
264-0003	11	6	85.8	81.9
266-0002	13	9	85.1	80.6
266-0004	13	13	87.5	84.3
266-0001	11	4	87.2	81.3
266-0003	6	Ninguna	89.9	83.0
266-0005	15	3	86.1	81.4

La segunda evaluación de cada uno de los pivotes en mención se describe en los cuadros del 10 al cuadro 16 y en las figuras 14 a la figura 20 presentadas a continuación:

Cuadro 2.10 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 264-0002.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	30	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.40	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	9:00	
Hora de finalización	hh:mm	11:00	
Duración de la prueba	hh:mm		2:00
Velocidad del viento	m/s	3.5	
Dirección del viento		Norte	
No. de repeticiones: recipientes usados			16
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		19.9
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		15.3
Coeficiente de uniformidad	%		84.7
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		74.3
Coeficiente de variación	%		20.2

En la figura 14 se observa que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 3.04 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 84.7%

$100-84.7= 15.3$

Descarga calculada= 19.9

$15.3/100= 0.153 * \text{descarga calculada}$

$0.153*19.9= 3.04\text{mm.}$

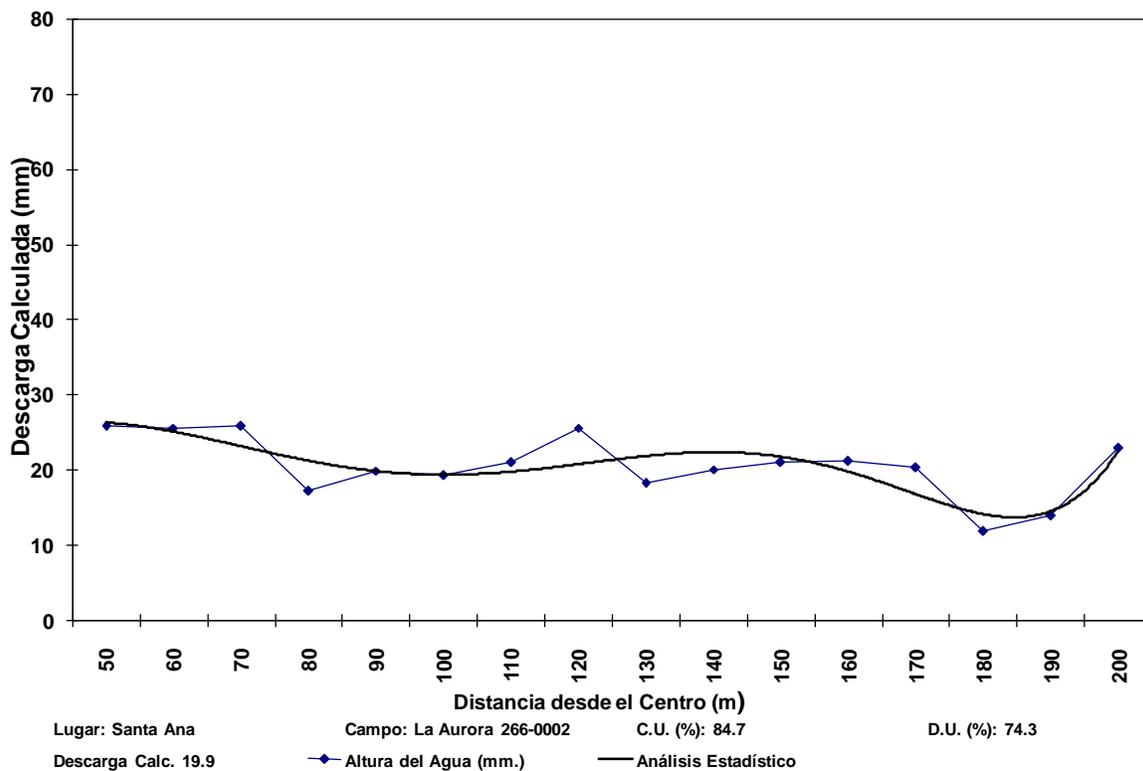


Fig. 2.14 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 264-0002.

Cuadro 2.11 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 264-0003.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	30	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.40	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	9:30	
Hora de finalización	hh:mm	11:30	
Duración de la prueba	hh:mm		2:00
Velocidad del viento	m/s	5	
Dirección del viento		Norte	
No. de repeticiones: recipientes usados			18
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		23.1
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		18.8
Coeficiente de uniformidad	%		85.8
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		81.9
Coeficiente de variación	%		17.1

En la figura 15 se observa que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 3.28 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 85.8%

$100-85.8= 14.2$

Descarga calculada= 23.1

$14.2/100= 0.142$

$0.142*23.1= 3.28\text{mm.}$

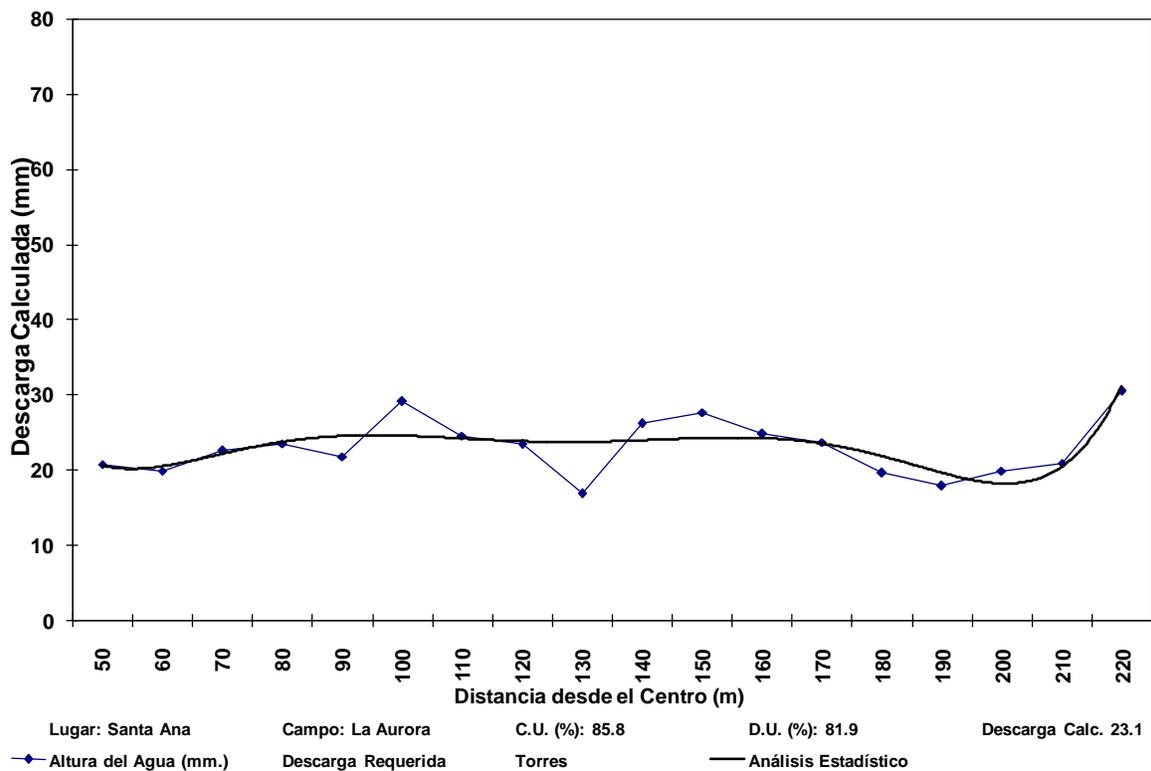


Fig. 2.15 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 264-0003.

Cuadro 2.12 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0002.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	24	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.40	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	10:00	
Hora de finalización	hh:mm	12:30	
Duración de la prueba	hh:mm		2:30
Velocidad del viento	m/s	5	
Dirección del viento		Norte	
No. de repeticiones: recipientes usados			20
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		21.8
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		18.1
Coeficiente de uniformidad	%		85.1
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		80.6
Coeficiente de variación	%		18.4

En la figura 16 se explica que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 3.25 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 85.1%

$100-85.1= 14.9$

Descarga calculada= 21.8

$14.9/100= 0.149$

$0.149*21.8= 3.25\text{mm.}$

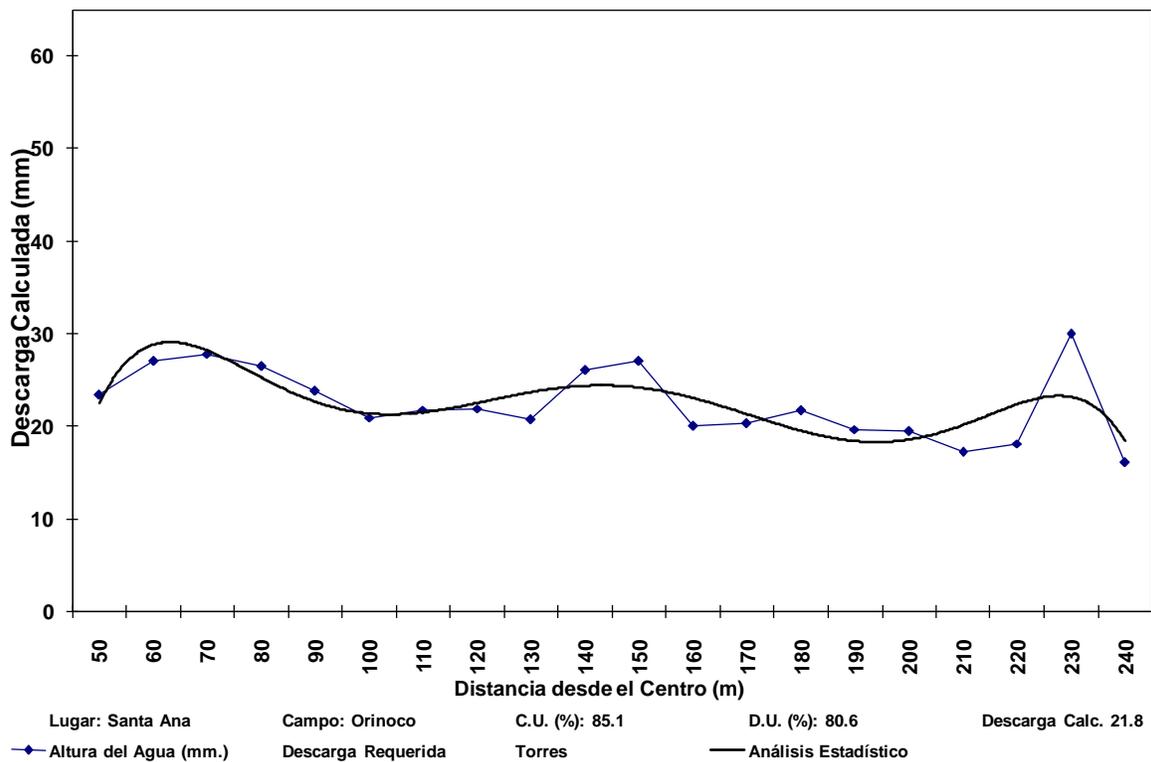


Fig. 2.16 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0002.

Cuadro 2.13 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0004.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	22	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.40	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	9:30	
Hora de finalización	hh:mm	12:00	
Duración de la prueba	hh:mm		2:30
Velocidad del viento	m/s	4	
Dirección del viento		Oeste	
No. de repeticiones: recipientes usados			21
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		34.2
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		32.1
Coeficiente de uniformidad	%		87.5
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		84.3
Coeficiente de variación	%		31.4

En la figura 17 se observa que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 4.27 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 87.5%

$100-87.5= 12.5$

Descarga calculada= 34.2

$12.5/100= 0.125$

$0.125*34.2= 4.27\text{mm.}$

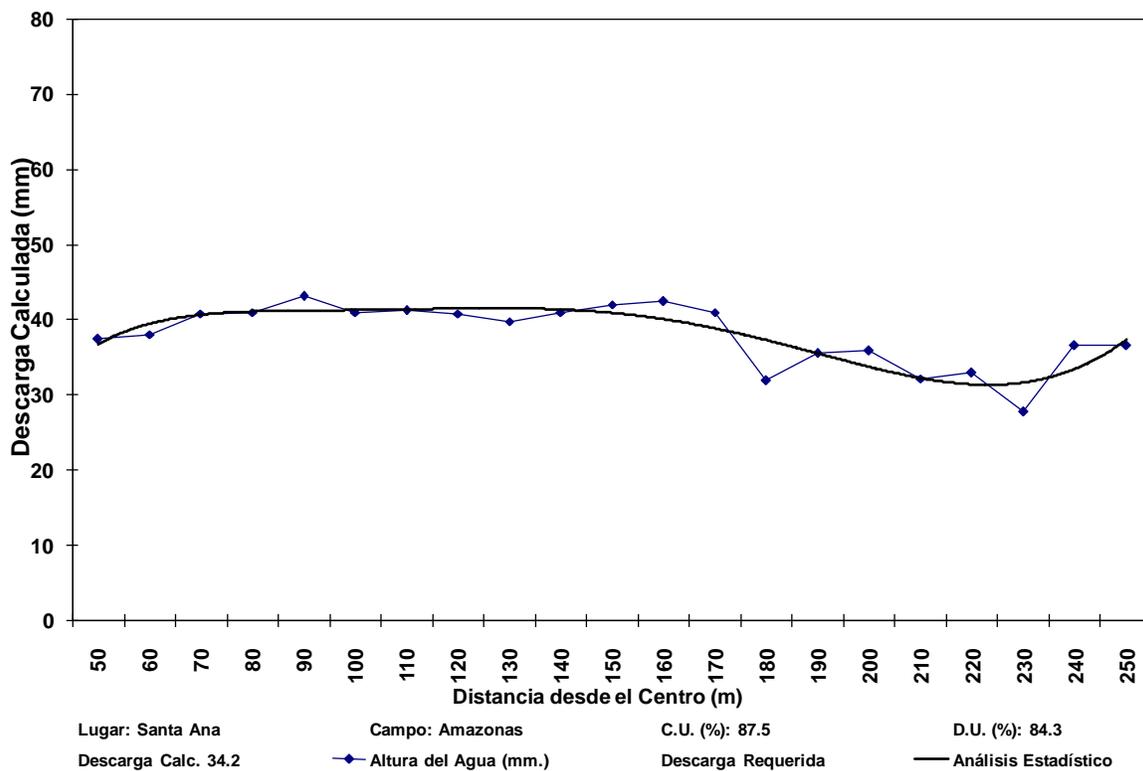


Fig. 2.17 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0004.

Cuadro 2.14 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0001.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	32	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.40	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	10:30	
Hora de finalización	hh:mm	12:30	
Duración de la prueba	hh:mm		2:00
Velocidad del viento	m/s	2.5	
Dirección del viento		Oeste	
No. de repeticiones: recipientes usados			19
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		33.0
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		27.9
Coeficiente de uniformidad	%		87.2
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		81.3
Coeficiente de variación	%		15.5

En la figura 18 se tiene que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 4.22 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 87.2%

$100-87.2= 12.8$

Descarga calculada= 33

$12.8/100= 0.128$

$0.128*33= 4.22\text{mm.}$

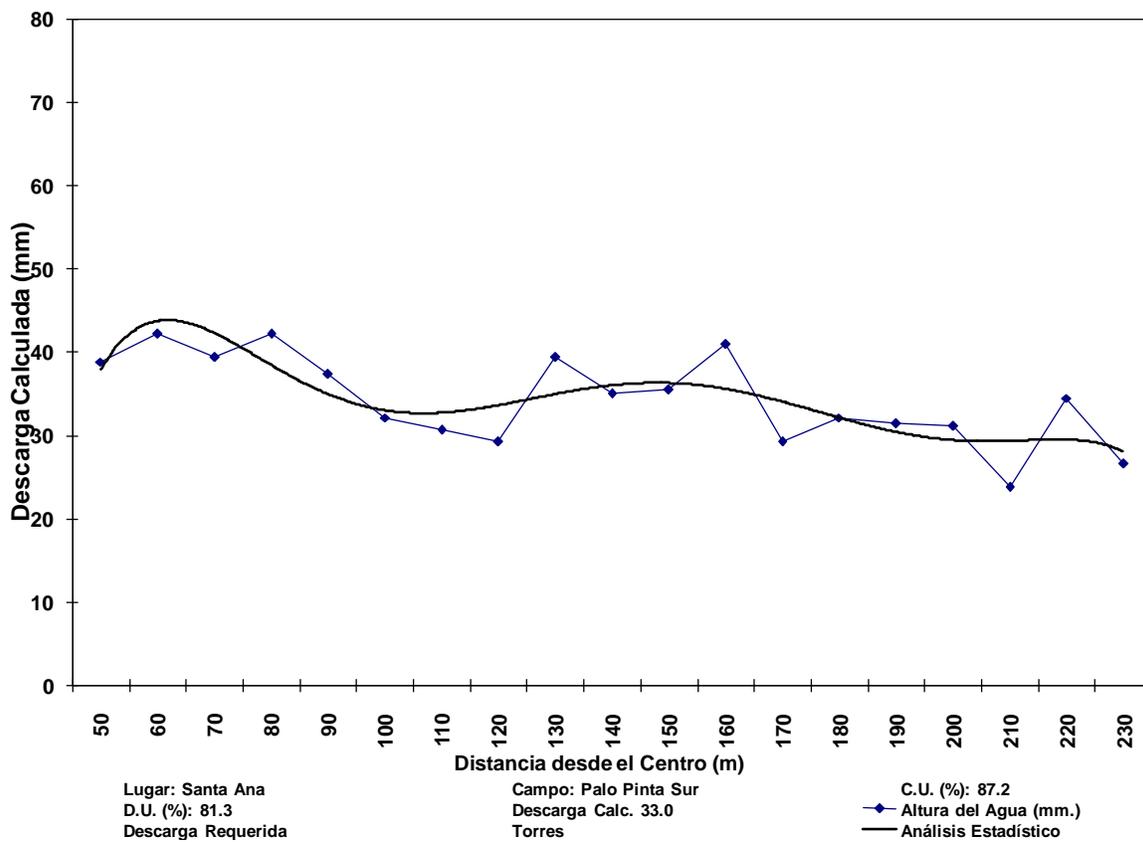


Fig. 2.18 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0001.

Cuadro 2.15 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0003.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	36	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.40	
Distancia entre emisores	m.	2	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	9:30	
Hora de finalización	hh:mm	12:00	
Duración de la prueba	hh:mm		2:30
Velocidad del viento	m/s	4	
Dirección del viento		Oeste	
No. de repeticiones: recipientes usados			19
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		10.5
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		9.0
Coeficiente de uniformidad	%		89.9
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		83.0
Coeficiente de variación	%		13.5

En el caso de la figura 19 se puede observar que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 1.06 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 89.9%

$100-89.9= 10.1$

Descarga calculada= 10.5

$10.1/100= 0.101$

$0.101*10.5= 1.06\text{mm.}$

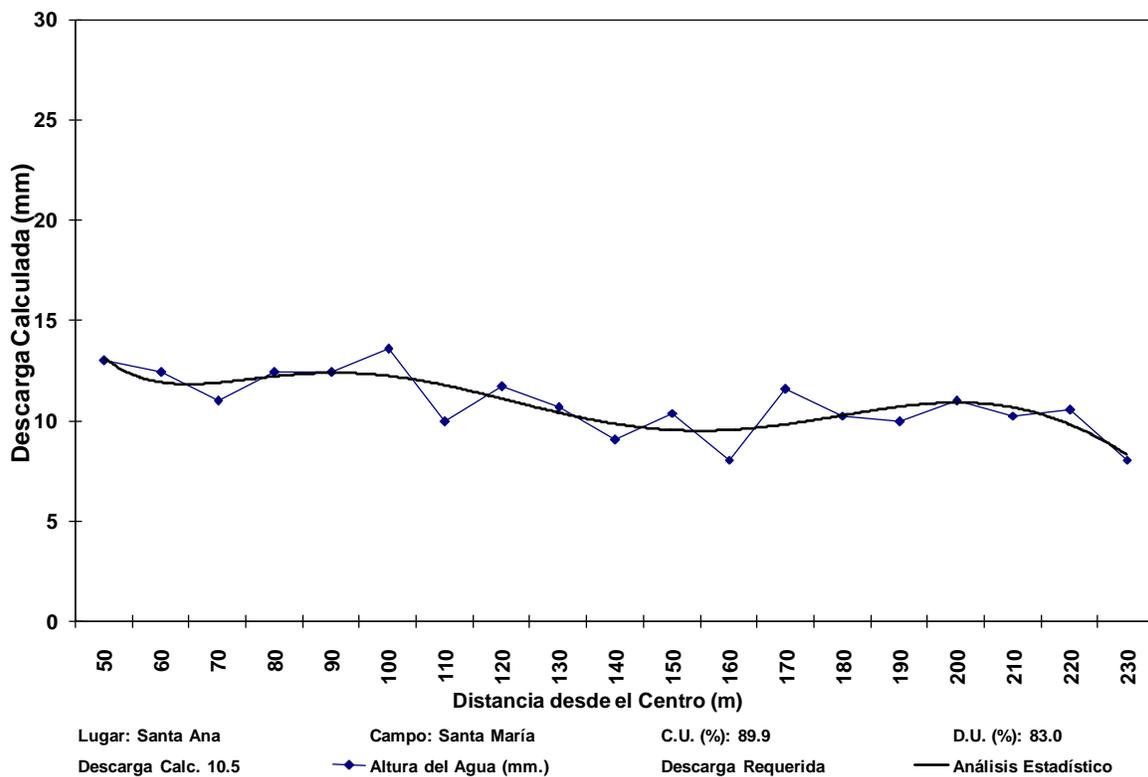


Fig. 2.19 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0003.

Cuadro 2.16 Datos generales de la prueba de coeficiente de uniformidad registrados para el pivote 266-0005.

<u>Datos Generales</u>			
Presión de entrada	Psi.	30	
Distancia del primer recipiente desde el centro o torre (solo en pivotes)	m.	50	
Diámetro del receptor (recipiente)	cm.	29.5	
Distancia entre receptores (recipiente)	m.	10.0	
Altura de los emisores desde el suelo	m.	1.40	
Distancia entre emisores	m.	1.5	
Descarga del emisor (aspersor)	l/h	Ver carta	
Diámetro del emisor (aspersor)	mm.	Ver carta	
Hora de comienzo	hh:mm	8:00	
Hora de finalización	hh:mm	10:00	
Duración de la prueba	hh:mm		2:00
Velocidad del viento	m/s	5	
Dirección del viento		Norte	
No. de repeticiones: recipientes usados			18
Descarga requerida	mm/ha	20	
Descarga calculada	mm/ha		31.4
Descarga calculada en el 25% más bajo	mm/ha		26.1
Coeficiente de uniformidad	%		86.1
Distribución de uniformidad (el 25% más bajo)	%		81.4
Coeficiente de variación	%		19.0

En la figura 20 se observa que en promedio a lo largo del pivote se está aplicando sobre la línea de descarga calculada 4.36 mm por arriba o por abajo.

C.U.= 86.1%

$100-86.1= 13.9$

Descarga calculada= 31.4

$13.9/100= 0.139$

$0.139*31.4= 4.36\text{mm.}$

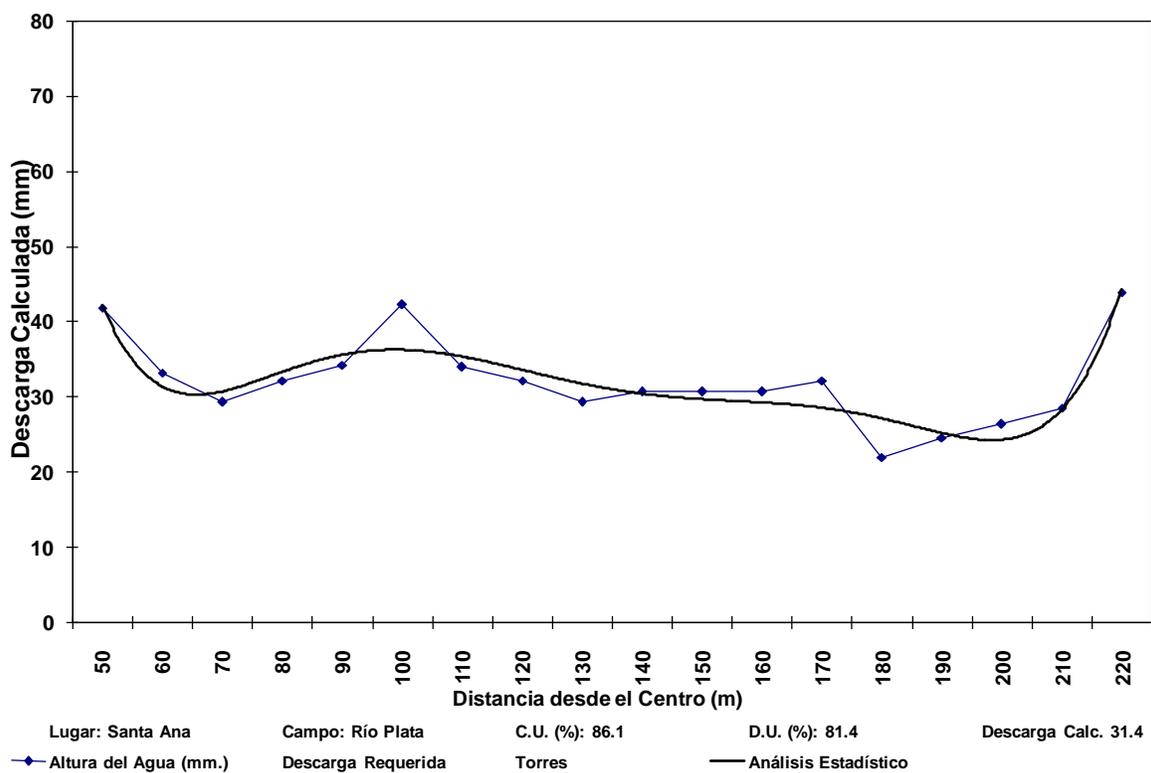


Fig. 2.20 Comportamiento del coeficiente de uniformidad para el pivote 266-0005.

2.5.1 Cambios o Ajustes de los Sistemas de Riego (Pivotes)

Luego de realizar los ajustes que fueron reordenar las boquillas de los aspersores, de los reguladores de presión y estandarizar la altura de las mangueras dichos resultados se presentan a continuación, es decir, los cambios obtenidos en los sistemas evaluados haciendo un cuadro y gráfica de comparación:

Cuadro 2.17 Cuadro comparativo de coeficientes de uniformidad.

PIVOTE	% C.U. ANTES	% C.U. DESPUÉS
264-0002	84.7	84.7
264-0003	78.6	85.8
266-0002	77.1	85.1
266-0004	80.5	87.5
266-0001	77.2	87.2
266-0003	89.9	89.9
266-0005	77.1	86.1

2.5.2 Gráfica comparativa de coeficientes de uniformidad en pivotes:

En dicha gráfica se representan los resultados obtenidos luego de realizar las dos evaluaciones del coeficiente de uniformidad para obtener una mejor visión de cómo terminaron al final de los ajustes y pruebas realizadas.

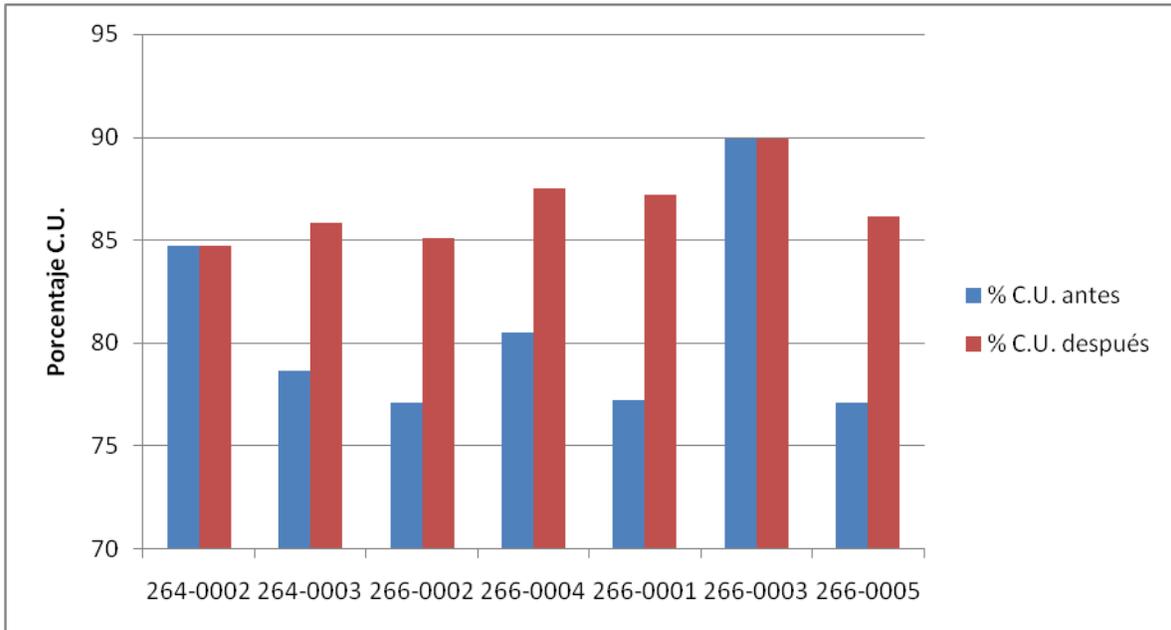


Fig. 2.21 Comportamiento del C.U. evaluados antes de realizar ajustes y después de realizarlos.

2.5.3 Descripción técnica operativa de los sistemas de riego por pivote del ingenio Santa Ana:

También se procedió a la realización de una información técnica por equipo la cual se presenta para poder apreciar de mejor manera operaciones técnicas de los pivotes, dicha información se presenta a continuación en el cuadro 2.18.

Cuadro 2.18 Descripción técnica de los sistemas de riego por pivote.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	PIVOTE 1 264-0002	PIVOTE 2 264-0003	PIVOTE 3 266-0002	PIVOTE 4 266-0004	PIVOTE 5 266-0001	PIVOTE 6 266-0003	PIVOTE 7 266-0005
Caudal	GPM	793	793	1534	1740	1880	1200	1616
Longitud según diseño	Metros	212	212	260	220	235	231	228
Longitud estructural	Metros	197	197	239.6	222.3	220	216	228.1
Área total a regar	Hectáreas	113	113	189	217	231	108	198
Área neta del sistema	Hectáreas	108	113	189	217	230	108	189
Régimen de aplicación	MM/Día/Ha	3.5	3.5	4.09	4.0	4.07	4.0	4.07
Régimen de aplicación al (100%) Vel. Máxima	MM/Vuelta	3.5	3.5	8.3	10.0	9.0	15.0	9.0
Régimen de aplicación al	MM/Vuelta	35	35	83.4	100.0	90.2	150.0	90.2

(10%) Vel. Mínima								
Presión de entrada al pivote	PSI	30	30	37.5	26.1	37	32	36.5
Presión de salida del pivote (Cañón final)	PSI	24	24	26.5	20	26	25	26.5
Hrs. de riego al día	Horas	20	20	20	22	20	20	20
Hrs. por vuelta de trabajo	Horas	5	5	5	5	5	5	5
Aplic. Inst.	MM/Hora	105	105	16.7	18.8	17	16	17
Lámina de aplicación diaria	MM	25	25	30	32	32	27	30
Tramo de 8 5/8 de 49.12 m.	Tramo			1	1	2	2	2
Tramo de 6 5/8 de 54.86 m.	Tramo			3	3	2	2	2
Tramo de 6 5/8	Tramo	2	2					

de 61.3 m.								
Tramo de 6 5/8 de 61.3 m.	Tramo	1	1					
Voladizo de 13.4 m, de 5 9/16.	Tramo	1	1					
Voladizo de 25.08m.	Tramo			1	1	1	1	1
Número de posiciones	Posiciones	9	11	13	13	11	6	15
Número de posiciones completas	Posiciones	8	8	8	8	11	6	10

2.5.4 Láminas aplicadas, consumos de agua y frecuencias de riego

A continuación se presentan los resultados de láminas aplicadas, consumos de agua y frecuencias de riego las cuales son utilizadas por el ingenio para su operación:

Cuadro 2.19 Láminas aplicadas, consumos de agua y frecuencia de riego

PIVOTE	264-0002	264-0003	266-0002	266-0004	266-0001	266-0003	266-0005
CAUDAL (M³/Hr.)	180	180	348	395	427	272	367
HRS. DE TRABAJO	20	20	20	20	20	20	20
LÁMINA BRUTA APLICADA (mm.)	25.5	25.5	32.7	51	49	32.45	45
FRECUENCIA (Días)	9	11	13	13	11	6	15
MM/DÍA	2.83	2.32	2.52	3.92	4.45	5.40	3.0

2.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.6.1 Conclusiones

- En el 86% de los 7 pivotes de la finca Bolivia del Ingenio Santa Ana se reportó un 85% o más de coeficiente de uniformidad.
- El coeficiente de uniformidad para cada uno de los pivotes de la finca Bolivia del Ingenio Santa Ana, fue en promedio 86.61%.
- Se realizaron los ajustes a la carta de aspersión que el proveedor proporciona y así operar bajo condiciones del Ingenio Santa Ana, logrando esto con el reordenamiento de las boquillas, cambio de algunos reguladores de presión y colocando los bajantes (manguera con aspensor) a una altura estándar de 1.4 m.
- Se realizó una descripción técnica operativa de los sistemas de riego por pivote de la finca Bolivia del Ingenio Santa Ana la cual nos servirá para poder facilitar la operación de dichos sistemas en el campo.

2.6.2 Recomendaciones

- Atender las instrucciones de la carta de aspersión antes de poner a operar los sistemas de riego por pivote debido a que si no están ordenadas las boquillas y los reguladores de presión como debe de ser, el porcentaje de coeficiente de uniformidad disminuye y por lo tanto la eficiencia de aplicación de riego también.
- Colocar los aspersores a una altura que sea de 1.4 m para condiciones climáticas similares a las de la finca Bolivia ya que si estas están más altas nos puede afectar negativamente el viento.
- Realizar las pruebas de coeficiente de uniformidad en los siguientes rangos de velocidad de viento, mínimo: 13 km/hr y máximo: 28 km/hr para que no influya en la prueba de campo.

2.7 BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar, GT). 2005. Memoria: presentación de resultados de investigación, zafra 2004-2005. Guatemala. 185 p.
2. Daza M, OH. 1986. Métodos de riego en el cultivo de la caña de azúcar. Cali, Colombia, TECNICAÑA. 281 p.
3. Doorembos, J; Kassam, AH. 1986. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Italia, FAO. 192 p.
4. ElRiego.com: todo el riego en internet, ES. s.f. El agua en el suelo y la planta, pérdidas de agua: eficiencia, uniformidad y déficit (en línea). Madrid, España. Consultado 12 sep 2007. Disponible en http://www.elriego.com/informa_te/riego_agricola/fundamentos_riego/eficiencia_uniformidad.htm
5. Flores, S. 1976. Manual de caña de azúcar. Guatemala, Instituto Técnico de Capacitación y Productividad. 172 p.
6. Fuentes Yague, JL. 1993. Técnicas de riego. España, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 352 p.
7. García Casillas, I. 1997. Sistemas de riego por aspersión y goteo. México, Trillas. 263 p.
8. Grupo Corporativo Santa Ana, Departamento de Riegos y Drenajes, GT. 2007. Manual de operación pivote central y avance frontal. Escuintla, Guatemala. 23 p.
9. Gundersen López, W. 1979. Riego y manejo del agua. Guatemala, Editorial Universitaria. 353 p.

10. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
11. Tarjuelo, J. 1995. El riego por aspersión y su tecnología. Madrid, España, Mundi-Prensa. 320 p.
12. Thompson, GD. 1979. Irrigación de la caña de azúcar. *In* Simposio relación agua-suelo-planta (1978, Cali, Colombia). Memorias. Colombia, Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar. 131 p.
13. Valmont Irrigation, US. 1998. Manual del propietario (pivotes). Valley, Nebraska, US. 61p.

2.8 ANEXOS

Cartas de aspersión.

a). Carta de aspersión del pivote 266-0005

CARTA DE ASPERSIÓN						
266-0005						
Torres	Número	Carta Ideal		Presión (PSI)	Caudal (GPM)	Diámetro (")
		Color	Boquilla			
1	1 - 9	Verde claro	7, 7.5	20	1.63, 1.86	7/64
	10 - 11	Lavanda	8, 8.5	20	2.1, 2.4	1/8
	12 - 14	Gris	9, 9.5	20	2.63, 2.94	9/64
	15 - 17	Turquesa	10, 10.5	20	3.26, 3.51	5/32
	18 - 21	Amarillo	11, 11.5	20	3.88, 4.19	11/64
	22 - 24	Rojo	12, 12.5	20	4.6, 5.01	3/16
	25	Amarillo	11.5	20	4.19	11/64
2	26	Rojo	12	20	4.6	3/16
	27 - 30	Blanco	13, 13.5	20	5.43, 5.85	13/64
	31 - 34	Azul	14, 14.5	20	6.3, 6.77	7/32
	35 - 39	Café	15. 15.5	20	7.23, 7.73	15/64
	40 - 44	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4
	45 - 50	Verde oscuro	17, 17.5	20	9.23, 9.73	17/64
	51	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
3	52	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	53 - 54	Morado	18, 18.5	20	10.25, 10.74	9/32
	55 - 60	Negro	19, 19.5	20	11.25, 11.74	19/64
	61 - 64	Turquesa	20, 20.5	20	12.23, 12.76	5/16
	65 - 69	Mostaza	21, 21.5	20	13.25, 13.74	21/64

	70 - 74	Marrón	22, 22.5	20	14.24, 14.79	11/32
	75	Crema	23	20	15.38	23/64
	76	Marrón	22.5	20	14.79	11/32
	77	Turquesa	20.5	20	12.76	5/16
4	78	Turquesa	20.5	20	12.76	5/16
	79	Crema	23	20	15.38	23/64
	80	Café	15.5	20	7.73	15/64
	81 - 90	Anaranjado	16, 16.5	20	16.52, 17.49	1/4
	91 - 100	Verde oscuro	17, 17.5	20	18.48, 19.47	17/64
	101	Morado	18	20	20.5	9/32
	102	Verde oscuro	17.5	20	19.43	17/64
	103	Mostaza	21.5	20	13.74	21/64
VOLADIZO	104 - 105	Café	15, 15.5	20	7.23, 7.73	15/64
	106 - 113	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4
	114	Verde oscuro	17	20	9.23	17/64
	115 - 124	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4
	125	Verde oscuro	17	20	9.23	17/64
	126 - 127	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4
	128 - 129	Verde oscuro	17	20	9.23	17/64
	130	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	131 -	Verde	17	20	9.23	17/64

	134	oscuro				
	135	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	136	Mostaza	21.5	20	13.74	21/64

FUENTE: Nelson Irrigation.

b). Carta de aspersión del pivote 266-0004

CARTA DE ASPERSIÓN						
266-0004						
Torres	Número	Carta Ideal		Presión (PSI)	Caudal (GPM)	Diámetro (")
		Color	Boquilla			
1	1 - 9	Verde claro	7, 7.5	20	1.63, 1.86	7/64
	10 - 12	Lavanda	8, 8.5	20	2.1, 2.4	1/8
	13 - 14	Gris	9, 9.5	20	2.63, 2.94	9/64
	15 - 17	Turquesa	10, 10.5	20	3.26, 3.51	5/32
	18 - 20	Amarillo	11, 11.5	20	3.88, 4.19	11/64
	21 - 23	Rojo	12, 12.5	20	4.6, 5.01	3/16
	24	Blanco	13	20	5.43	13/64
	25	Rojo	12	20	4.6	3/16
2	26	Rojo	12	20	4.6	3/16
	27 - 28	Blanco	13.5	20	5.85	13/64
	29 - 32	Azul	14, 14.5	20	6.3, 6.77	7/32
	33 - 36	Café	15, 15.5	20	7.23, 7.73	15/64
	37 - 40	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4
	41 - 45	Verde oscuro	17, 17.5	20	9.23, 9.73	17/64
	46 -50	Morado	18, 18.5	20	10.25, 10.74	9/32
	51	Verde oscuro	17	20	9.23	17/64
3	52	Verde	17	20	9.23	17/64

		oscuro				
	53 - 55	Negro	19, 19.5	20	11.25, 11.74	19/64
	56 - 59	Turquesa	20, 20.5	20	12.23, 12.76	5/16
	60 - 64	Mostaza	21, 21.5	20	13.25, 13.74	21/64
	65 - 69	Marrón	22, 22.5	20	14.24, 14.79	11/32
	70 - 72	Crema	23, 23.5	20	15.38, 15.92	23/64
	73	Café	15.5	20	15.45	15/64
	74 - 75	Anaranjado	16	20	16.53	1/4
	76	Café	15.5	20	15.45	15/64
	77	Mostaza	21.5	20	13.74	21/64
4	78	Marrón	22	20	14.24	11/32
	79 - 82	Anaranjado	16	20	16.51	1/4
	83 - 92	Verde oscuro	17, 17.5	20	18.48, 19.47	17/64
	93 - 102	Morado	18, 18.5	20	20.5, 21.5	9/32
	103	Marrón	22.5	20	14.79	11/32
VOLADIZO	104 - 106	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4
	107	Verde oscuro	17	20	9.23	17/64
	108	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	109 - 114	Verde oscuro	17, 17.5	20	9.23, 9.73	17/64
	115 - 116	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	117 - 124	Verde oscuro	17, 17.5	20	9.23, 9.73	17/64

	125	Morado	18	20	10.25	9/32
	126 - 133	Verde oscuro	17, 17.5	20	9.23, 9.73	17/64
	134	Morado	18	20	10.25	9/32
	135	Verde oscuro	17.5	20	9.73	17/64
	136	Marrón	22.5	20	14.79	11/32

FUENTE: Nelson Irrigation.

c). Carta de aspersión del pivote 266-0002

CARTA DE ASPERSIÓN						
266-0002						
Torres	Número	Carta Ideal		Presión (PSI)	Caudal (GPM)	Diámetro (")
		Color	Boquilla			
1	1 - 9	Verde claro	7, 7.5	15	1.42, 1.62	7/64
	10 - 12	Lavanda	8, 8.5	15	1.84, 2.1	1/8
	13 - 15	Gris	9, 9.5	15	2.3, 2.57	9/64
	16 - 18	Turquesa	10, 10.5	15	2.85, 3.07	5/32
	19 - 22	Amarillo	11, 11.5	15	3.39, 3.66	11/64
	23 - 24	Rojo	12	15	4.02	3/16
	25	Amarillo	11	15	3.39	11/64
2	26	Amarillo	11.5	15	3.66	11/64
	27	Rojo	12.5	15	4.38	3/16
	28 - 32	Blanco	13, 13.5	15	4.75, 5.11	13/64
	33 - 36	Azul	14, 14.5	15	5.51, 5.92	7/32
	37 - 41	Café	15, 15.5	15	6.32, 6.76	15/64
	42 - 47	Anaranjado	16, 16.5	15	7.22, 7.64	1/4
	48 - 53	Verde oscuro	17, 17.5	15	8.08, 8.5	17/64
	54	Anaranjado	16	15	7.22	1/4

3	55	Anaranjado	16.5	15	7.64	1/4
	56 - 57	Morado	18, 18.5	15	8.96, 9.39	9/32
	58 - 63	Negro	19, 19.5	15	9.84, 10.28	19/64
	64 - 68	Turquesa	20, 20.5	15	10.71, 11.17	5/16
	69 - 73	Mostaza	21, 21.5	15	11.6, 12.02	21/64
	74 - 79	Marrón	22, 22.5	15	12.47, 12.95	11/32
	80 - 82	Crema	23	15	13.44	23/64
	83	Turquesa	20.5	15	11.15	5/16
4	84	Mostaza	21	15	11.6	21/64
	85 - 86	Crema	23.5	15	13.95	23/64
	87	Azul	24	15	14.39	3/8
	88 - 94	Anaranjado	16.5	15	15.29	1/4
	95	Verde oscuro	17	15	16.17	17/64
	96	Anaranjado	16.5	15	15.29	1/4
	97 - 105	Verde oscuro	17, 17.5	15	16.17, 17.02	17/64
	106 - 111	Morado	18	15	17.93	9/32
	112	Marrón	22	15	12.48	11/32
VOLADIZO	113 - 114	Café	15.5	15	6.76	15/64
	115 - 122	Anaranjado	16, 16.5	15	7.22, 7.64	1/4
	123	Verde oscuro	17	15	8.08	17/64
	124 - 127	Anaranjado	16, 16.5	15	7.22, 7.64	1/4

	128	Verde oscuro	17	15	8.08	17/64
	129	Anaranjado	16.5	15	7.64	1/4
	130	Verde oscuro	17	15	8.08	17/64
	131	Anaranjado	16.5	15	7.64	1/4
	132 - 134	Verde oscuro	17	15	8.08	17/64
	135 - 136	Anaranjado	16.5	15	7.64	1/4
	137 - 144	Verde oscuro	17, 17.5	15	8.08, 8.5	17/64
	145	Anaranjado	16.5	15	15.29	1/4

FUENTE: Nelson Irrigation.

d). Carta de aspersión del pivote 266-0001 y 266-0003

CARTA DE ASPERSIÓN						
266-0001 y 266-0003						
Torres	Número	Carta Ideal		Presión (PSI)	Caudal (GPM)	Diámetro (")
		Color	Boquilla			
1	1 - 9	Verde claro	7, 7.5	20	1.63, 1.86	7/64
	10 - 11	Lavanda	8, 8.5	20	2.1, 2.4	1/8
	12 - 14	Gris	9, 9.5	20	2.63, 2.94	9/64
	15 - 17	Turquesa	10, 10.5	20	3.26, 3.51	5/32
	18 - 20	Amarillo	11, 11.5	20	3.88, 4.19	11/64
	21 - 24	Rojo	12, 12.5	20	4.6, 5.01	3/16
	25	Amarillo	11.5	20	4.19	11/64
2	26	Rojo	12	20	4.6	3/16
	27 - 29	Blanco	13, 13.5	20	5.43, 5.85	13/64

	30 - 33	Azul	14, 14.5	20	6.31, 6.77	7/32
	34 - 38	Café	15, 15.5	20	7.23, 7.73	15/64
	39 - 43	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4
	44 - 47	Verde oscuro	17, 17.5	20	9.23, 9.73	17/64
	48 - 50	Morado	18	20	10.25	9/32
	51	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
3	55	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	56	Morado	18.5	20	10.75	9/32
	57 - 60	Negro	19, 19.5	20	11.24, 11.74	19/64
	61 - 66	Turquesa	20, 20.5	20	11.26, 12.75	5/16
	67 - 69	Mostaza	21, 21.5	20	13.24, 13.74	21/64
	70 - 74	Marrón	22, 22.5	20	14.24, 14.78	11/32
	75 - 78	Crema	23	20	15.36	23/64
	79	Mostaza	21	20	13.25	21/64
4	84	Mostaza	21	20	13.25	21/64
	85	Café	15.5	20	15.45	15/64
	86 - 93	Anaranjado	16, 16.5	20	16.51, 17.49	1/4
	94 - 102	Verde oscuro	17, 17.5	20	18.45, 19.45	17/64
	103 - 108	Morado	18	20	20.5	9/32
	109	Mostaza	21.5	20	13.74	21/64
VOLADIZO	110 - 111	Café	15.5	20	7.73	15/64
	112 - 119	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4

	120	Verde oscuro	17	20	9.23	17/64
	121 - 124	Anaranjado	16, 16.5	20	8.26, 8.74	1/4
	125	Verde oscuro	17	20	9.23	17/64
	126	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	127 - 128	Verde oscuro	17	20	9.23	17/64
	129	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	130 - 131	Verde oscuro	17, 17.5	20	9.23, 9.73	17/64
	132 - 133	Anaranjado	16.5	20	8.74	1/4
	134 - 141	Verde oscuro	17, 17.5	20	9.23, 9.73	17/64
	142	Anaranjado	16.5	20	17.49	1/4
	143	Crema	23	20	37.74	23/64

FUENTE: Nelson Irrigation.

Velocidades máximas en finca Bolivia.

Velocidad máxima del viento (Km/h)

Semana	2006	2007	2008
Estrato Bajo			
1	13.64	14.47	27.68
2	13.21	14.80	20.48
3	12.71	15.93	19.19
4	12.19	15.79	19.47
5	13.13	14.86	21.04
6	17.36	16.50	20.86
7	16.94	16.72	24.01
8	13.38	17.79	19.51
9	14.24	16.96	20.88
10	14.67	19.33	23.64
11	14.33	17.59	23.78
12	14.71	20.60	22.31
13	18.14	21.08	23.26
14	25.30	23.64	20.74
15	26.18	27.06	28.86
16	20.54	25.13	27.33
17	23.51	22.47	13.44
18	19.77	22.16	15.32
19	20.51	22.86	13.46
20	19.00	18.64	13.55
21	22.14	20.96	17.00
22	18.32	20.05	17.90
23	17.57	18.67	17.49
24	20.10	16.24	19.30
25	16.65	19.90	20.13
26	20.13	17.03	21.26
27	18.35	17.85	24.36

28	17.86	20.87	21.63
29	24.79	19.65	19.33
30	15.49	17.21	17.09
31	14.74	15.36	19.72
32	18.04	15.83	22.98
33	38.37	21.53	
34	36.94	23.05	
35	36.41	20.38	
36	36.83	20.10	
37	39.98	20.49	
38	38.81	21.03	
39	38.36	19.53	
40	37.19	17.60	
41	35.87	18.55	
42	36.64	21.33	
43	34.80	17.16	
44	33.82	14.96	
45	33.42	16.00	
46	17.49	14.45	
47	19.01	15.28	
48	15.68	16.69	
49	16.31	14.64	
50	14.31	16.62	
51	11.93	16.40	
52	13.44	15.80	
53	15.03	14.02	

FUENTE: Estación meteorológica de finca Bolivia, Ingenio Santa Ana.



Fig. 2.22 Metodología de medición del coeficiente de uniformidad.



Fig. 2.23 Manómetro midiendo presión de entrada de agua al pivote.



Fig. 2.24 Lectura con probeta de una muestra de agua recolectada.



Fig. 2.25 Recolección de agua del pivote.

**CAPÍTULO III. SERVICIOS REALIZADOS EN EL INGENIO SANTA ANA
ESCUINTLA, GUATEMALA**

3.1 PRESENTACIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum* spp) se produce en el ingenio Santa Ana bajo diferentes condiciones ambientales como la precipitación que puede variar desde 800 mm hasta 3600 mm anuales, con suelos variables como: francos, arcillosos, arenosos, y altitudes que van desde los 0 msnm hasta 50 msnm; por lo que el cultivo se adapta bien en diferentes ambientes.

Dadas las condiciones del lugar durante la época lluviosa el cultivo goza de mucho agua debido a que las precipitaciones en la costa sur son bastante fuertes, pero durante la época seca ya no hay precipitaciones y los niveles de agua empiezan a bajar; ya sean los ríos, pozos, pocetas, etc. Por lo tanto se requiere del departamento de riegos y drenaje para poder hacer un buen uso del agua durante dicha época y así poder llenar las necesidades hídricas del cultivo para que este no baje su producción por estrés de la falta de agua.

En el presente plan de servicios se quiere dar a conocer los diferentes tipos de servicios planificados que se realizarán para el departamento de riegos y drenaje del ingenio Santa Ana, siendo estos servicios requeridos de acuerdo a las necesidades y exigencias del departamento; y así poder ser más eficientes en el uso del agua para la aplicación de una labor tan importante como lo es el riego.

3.2 SERVICIO No. 1: Aforo de la red hídrica que entra a la finca Bolivia del ingenio Santa Ana.

3.2.1 Definición del problema

Una parte del agua utilizada para riego en la finca Bolivia se obtiene del río El Naranjo el cuál pasa por la parte Norte de la finca y es uno de los afluentes más importantes de la zona durante los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo. Por lo tanto es necesario saber cuánta agua ingresa a la finca ya que cuando esta se termina debido a la época seca; entonces se implementan otras opciones como la de usar agua de pocetas que hay en la finca y también de pozos mecánicos.

3.2.2 Objetivos

General

Realizar la medición pertinente del ingreso de agua a la red hídrica de la finca Bolivia del ingenio Santa Ana.

Específicos

- Medir la cantidad de agua que ingresa a la red hídrica de la finca por medio del método del molinete.
- Experimentar los beneficios en cuanto a producción de obtener el dato de qué caudal de agua ingresa para los sistemas de riego.

3.2.3 MARCO TEÓRICO

3.2.3.1 Aforo de corrientes naturales

El conocimiento de la variación del caudal que fluye por una determinada sección de un cauce natural es de suma importancia en los estudios hidrológicos. De acuerdo con la calidad y la cantidad de los registros de caudales necesarios en un estudio hidrológico, las mediciones se pueden hacer de una manera continua o permanente o de una manera puntual o instantánea, las mediciones continuas de caudales requieren de la instalación de una estación medidora (limnimétrica) o de una estación registradora (limnigráfica). Las mediciones aisladas, puntuales o instantáneas, se realizan en determinados momentos en que se desee conocer la magnitud de una corriente en particular. (2)

La mayoría de los métodos de aforo se basan en la ecuación de continuidad

$$(Q = V * A).$$

3.2.3.2 Métodos de aforo de corrientes naturales de agua más utilizados

Aforo Volumétrico

Se aplica generalmente en los laboratorios de hidráulica, ya que solo es funcional para pequeños caudales; sin embargo se pueden implementar también en pequeñas corrientes naturales de agua. (2)

El aforo volumétrico consiste en medir el tiempo que gasta el agua en llenar un recipiente de volumen conocido para lo cual, el caudal es fácilmente calculable con la siguiente ecuación: $Q=V/t$. (2)

Aforo con vertederos y canaletas

Se utilizan principalmente en la medición de caudales en pequeñas corrientes, en canales artificiales y de laboratorio; su uso en corrientes naturales es muy restringido. Un funcionamiento típico de un vertedero para aforar corrientes naturales. (2)

Aforo con tubo de Pitot

Su mayor aplicación se encuentra en la medición de velocidades en flujo a presión, es decir, flujos en tuberías. Sin embargo, también se utiliza en la medición de velocidades en canales de laboratorio y en pequeñas corrientes naturales. El tubo de Pitot permite medir la velocidad de la corriente a diferentes profundidades, por lo cual se puede conocer la velocidad media en la sección, que multiplicada por el área de ésta, produce el caudal de la corriente.

Aforo con trazadores fluorescentes o colorantes

El empleo de colorantes para medir la velocidad del flujo en corrientes de agua es uno de los métodos más sencillos y de mayor éxito. Una vez elegida la sección de aforo, en la que el flujo es prácticamente constante y uniforme se agrega el colorante en el extremo de aguas arriba y se mide el tiempo de llegada al extremo de aguas abajo. Conocida la distancia entre los dos extremos de control, se puede dividir esta por el tiempo de viaje del colorante, obteniéndose así la velocidad superficial o subsuperficial de la corriente líquida. La velocidad media de flujo se obtendrá dividiendo la distancia entre los dos extremos o puntos de control, por el tiempo medio de viaje. (2)

Si se inyectó un colorante de tipo brillante, como la eosina, y si se suspende horizontalmente una lámina brillante, de longitud conocida, en un sitio aguas debajo de la inyección, es posible detectar los instantes en que desaparecen y aparece el colorante en los extremos de dicha lámina. La medida del tiempo que transcurre entre los instantes de desaparición y aparición del colorante se puede emplear como representativo del tiempo medio del flujo a lo largo de la lámina. La velocidad media superficial del flujo se obtendrá dividiendo la longitud de la lámina por el tiempo medio del flujo. (2)

Aforos con trazadores químicos y radioactivos

Es un método muy adecuado para corrientes turbulentas como las de montañas. Estos trazadores se utilizan de dos maneras: como aforadores químicos, esto es, para determinar el caudal total de una corriente y como medidores de velocidad de flujo. (2)

En los aforos químicos y radioactivos, se inyecta una tasa constante q_t , de la sustancia química, radioactiva o trazador, de concentración conocida, C_{ti} , a la corriente cuyo caudal, Q , desee determinarse y cuya concentración de la sustancia, C_a , en la corriente, también se conoce. A una distancia corriente abajo, suficientemente grande para asegurar que se han mezclado totalmente el trazador y el agua, se toman muestras de ésta, y se determina la concentración de la sustancia química o radioactiva, C_t .

El caudal de la corriente se puede determinar, entonces, empleando la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{q_t * (C_{ti} - C_t)}{C_t - C_a}$$

En su empleo como medidores de velocidad, los trazadores químicos y radioactivos se inyectan aguas arriba del primer punto de control de la corriente. Se calcula el tiempo de paso del prisma de agua que contiene el trazador entre dicho punto de control y otro situado aguas abajo a una distancia previamente determinada. El cociente entre esta distancia y el tiempo de paso es la velocidad media de la corriente. (2)

Cuando se emplea la sal común (NaCl) como trazador químico, se mide el tiempo de paso entre los dos puntos de control, utilizando electrodos conectados a un amperímetro, esto es, un conductivímetro. Este método de medición es posible debido a que la sal inyectada aumenta la concentración de sólidos disueltos y, por lo tanto, la conductividad del agua. (2)

Un compuesto químico comúnmente empleado como trazador es la mezcla de 2g de Anhídrido Táctico con 0.1259 de Difenil - Carbazida y 50 cm³ de alcohol de 98°. También, se utiliza el clorato de sódico, la fluoreína y el bicromato de sodio. (2)

Los trazadores radioactivos más usuales son: el Tritio (T, isótopo del Hidrógeno, con tres protones).

Las sustancias químicas y radioactivas empleadas para medición de caudales deben reunir las siguientes condiciones:

Debe mezclarse fácil y homogéneamente con el agua, para lo cual se requiere de una fuerte turbulencia en el trayecto comprendido desde donde se inyecta la sustancia al cauce, hasta donde se recogen las muestras.

Debe ser barato, soluble en agua, inocuo, no corrosivo, ni tóxico, de densidad cercana a la del agua.

Debe ser fácilmente detectable en el agua, aún en concentraciones pequeñas.

Debe ser conservativo, es decir, no degradable ni reactivo, entre el momento de la inyección y el momento del análisis final de las muestras.

Debe ser fotoestable, es decir, no decolorable ni reactivo ante la acción de la luz.

Aforo con flotadores

Son los más sencillos de realizar, pero también son los más imprecisos; por lo tanto, su uso queda limitado a situaciones donde no se requiera mayor precisión. Con este método se pretende conocer la velocidad media de la sección para ser multiplicada por el área, y conocer el caudal, según la ecuación de continuidad. (2)

$$Q = \text{velocidad} * \text{área}$$

Para la ejecución del aforo se procede de la siguiente forma. Se toma un tramo de la corriente de longitud L; se mide el área A, de la sección, y se lanza un cuerpo que flote, aguas arriba de primer punto de control, y al paso del cuerpo por dicho punto se inicia la toma del tiempo que dura el viaje hasta el punto de control corriente abajo. (2)

La velocidad superficial de la corriente, V_s , se toma igual a la velocidad del cuerpo flotante y se calcula mediante la relación entre el espacio recorrido L, y el tiempo de viaje t.

$$V_s = \frac{L}{t}$$

Se considera que la velocidad media de la corriente, V_m , es del orden de $0.75V_s$ a $0.90V_s$, donde el valor mayor se aplica a las corrientes de aguas más profundas y rápidas

(con velocidades mayores de 2 m/s). Habitualmente, se usa la siguiente ecuación para estimar la velocidad media de la corriente. $V_m = 0.85V_s$. (2)

Si se divide el área de la sección transversal del flujo en varias secciones, de área A_i , para las cuales se miden velocidades superficiales, V_{si} , y se calculan velocidades medias, V_{mi} , el caudal total se podrá determinar como la sumatoria de los caudales parciales q_i , de la siguiente manera:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = V_{m1} * A_1 + V_{m2} * A_2 + \dots + V_{mn} * A_n$$

Se pueden obtener resultados algo más precisos por medio de flotadores lastrados de sumersión ajustable, como muestra en la figura 5. Estos flotadores consisten en un tubo delgado de aluminio, de longitud L_f , cerrado en ambos extremos y con un lastre en su extremo inferior, para que pueda flotar en una posición próxima a la vertical, de tal manera que se sumerjan hasta una profundidad aproximadamente de 25 a 30 cm sobre el fondo, y emerjan unos 5 a 10 cm. (2)

La velocidad observada de flotador sumergido, V_f , permite la determinación de la velocidad media de la corriente, V_m , a lo largo de su curso, por la siguiente fórmula experimental:

$$V_m = V_f * \left(0.9 - 0.116 * \left(1 - \frac{L_f}{y} \right) \right)$$

Donde y es la profundidad de la corriente de agua.

Aforo con molinete o correntómetro

El principio de la medición de velocidad con molinete es el siguiente: Supóngase un molinete puesto en un punto de una corriente que tiene una velocidad V . La longitud S , es el recorrido de una partícula fluida moviéndose a lo largo del contorno completo de la línea que determina una vuelta de la hélice. La situación es análoga al suponer quieta el agua y el molinete desplazándose a través de ésta con velocidad V . Para un desplazamiento S , la hélice también dará una vuelta. (2)

Para un movimiento uniforme, $V = \frac{S}{t}$

El espacio, S, recorrido por la hélice, o por la partícula líquida a través de ésta, se representa por el número de rotaciones, N, que da el molinete en t segundos.

$$\text{Luego } V = \frac{N}{t}$$

Como existen fricciones en las partes mecánicas del aparato, es necesario introducir un coeficiente de corrección, b.

$$\text{Entonces } V = b * \frac{N}{t}$$

Y haciendo $n = \frac{N}{t}$, la frecuencia de giro, se tiene: $V = b * n$

Con la sensibilidad del aparato se hace sentir a partir de determinada velocidad mínima, a, que en general, es del orden de 1 cm/s, por debajo de la cual el aparato no se mueve, la ecuación del aparato se transforma en:

$$V = a + b * n$$

Ecuación que corresponde a una línea recta. Los aparatos vienen con su respectiva ecuación de calibración, dependiendo del tipo de molinete y de la casa productora, o tabuladas las velocidades en función del número de revoluciones por minuto. (2)

Por ejemplo, para el correntómetro Prince's Electric Currentmeter No 17110B, Serial No 101-A, la ecuación de calibración para la velocidad, en m/s es:

$$V = 0.019 + 0.702 * n$$

3.2.4 Metodología

3.2.4.1 Reconocimiento de campo

Junto con los mayordomos y jefes de la zona donde se encuentra ubicada la finca se realizó un reconocimiento de campo, necesario para verificar que no hubiera ningún tipo de obstáculo donde se realizó el aforo con el molinete.

3.2.4.2 Aforo con el método del molinete

Ya habiendo conocido distintos métodos de aforo se decidió utilizar este método debido a que el ingenio cuenta con su propio molinete para realizar los aforos que se requieran y también porque es uno de los métodos más exactos y avanzados para calcular aforos de agua.

Operación del molinete:

La operación directa del aparato en un aforo consiste en:

- Fijada la profundidad a la que debe de colocarse el molinete, se correrá este sobre la varilla de apoyo y se colocará a dicha profundidad ayudándose para las graduaciones (centímetros) de la varilla.
- Se colocará el molinete dentro del agua cuidando que la varilla de este esté en posición vertical, que el eje horizontal del aparato, este en la dirección de la corriente, con la hélice como primer obstáculo presentado por el aparato al libre curso del agua. Además, el operador se situará en aguas abajo del aparato con o que logrará reducir al mínimo las interferencias al registro del aparato ocasionadas por su propio cuerpo.
- Al recibir la primera señal (luminosa o auditiva) hará funcionar el cronómetro y contará las señales recibidas, hasta que éste señale un minuto, entonces con la próxima señal, hacer parar el cronómetro y apuntará el tiempo y el número de señales.
- La fijación de las profundidades se basa en la ley de variación de velocidades en una corriente laminar. Esta misma ley permite deducir que la velocidad media se encuentra al 60% de la profundidad en donde se va a aforar.

3.2.4.3 Cálculos de gabinete

Cuando hablamos de los cálculos de gabinete nos referimos a los cálculos de escritorio, apoyados de programas como Microsoft Excel en el cual se elaboran tablas donde se ingresan los datos para obtener los resultados.

3.2.5 Resultados

3.2.5.1 Cálculos de gabinete

Luego de realizar el reconocimiento de campo para el aforo y llevar a cabo la fase de campo se realizaron los respectivos cálculos de gabinete o escritorio, por lo que obtuvimos los siguientes datos:

- A. Se introdujeron los datos en una tabla de Microsoft Excel obteniendo como resultado que a la finca Bolivia ingresan 3.177 m³/seg o 50,357 GPM (Galones Por Minuto) lo cual según indicaron los jefes de la finca es suficiente agua como para poder operar los sistemas de riego por aspersión (pivotes y motobombas); dichos resultados se presentan a continuación en un cuadro:

Cuadro 3.1 Resultados del aforo de entrada de agua a la finca Bolivia

Finca Bolivia, Posición No 1						Observaciones
Medición (n)	40	Velocidad		Área S.H	Caudal	
		cm/seg	m/seg	m ²	m ³ /seg	Gpm
176	4.4	111.4	1.11			
187	4.7	118.4	1.18			
170.5	6.3	160.4	1.60			
253	6.3	160.4	1.60			
253	6.3	160.4	1.60			
			1.42	2.234	3.177	50357

Entrada total
toma de agua
hacia Finca
Bolivia

También con la ayuda de otro programa llamado AutoCAD se diseñó la figura geométrica del canal que fue aforado, la cual se muestra a continuación:

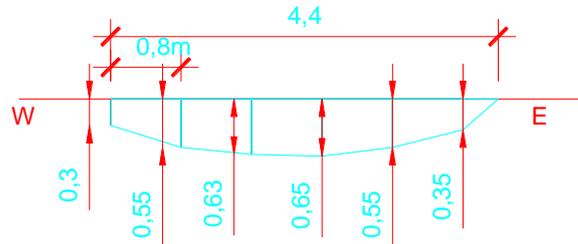


Fig. 3.1 Figura geométrica del canal aforado.

3.2.6 Evaluación de resultados

Por medio de la obtención del aforo de ingreso de agua a la finca Bolivia del ingenio Santa Ana se observó claramente que las necesidades de agua durante el verano si se cubren para dicha área debido a que el jefe encargado de la finca proporcionó la información que ellos necesitan aproximadamente de 40,000 a 45,000 GPM (Galones Por Minuto) y ya que como se puede observar en el cuadro 3.1 a la finca ingresan 50,357 GPM lo cual quiere decir que hay 5,000 GPM adicionales que pueden ser utilizados en otro equipo de aspersión si lo desean comprar y ponerlo a operar sin ningún problema.

También cabe mencionar que debido a los aforos durante el período de verano o época seca en todos los aforos siempre fue positiva la lectura lo cual influyo en la buena aplicación de la lámina de riego adecuada para el cultivo y así obtener 10 ton/ha más de producción de caña de azúcar comparado con la producción del año anterior que había cerrado en 120 ton/ha en promedio.

3.3 SERVICIO No. 2: Implementación del cenirrometro como una herramienta para saber cuándo regar y cuanto regar.

3.3.1 Definición de problema

Las actividades de riego son de las actividades más importantes dentro del cultivo de la caña de azúcar por lo tanto se hace necesario implementar algunas herramientas como lo es el caso del cenirrometro, el cual no es más que una cubeta plástica de cinco galones a la cual se le ponen una medidas calculadas según textura del suelo; esta herramienta está basada en el principio del tanque evaporímetro por lo que podemos obtener un dato más exacto de cuándo regar. Debido a que la actividad del riego es una de las que tiene un costo elevado dentro de la producción de la caña, se ahorraría utilizando bien dicha herramienta.

3.3.2 Objetivos

General

Incrementar la eficiencia de los métodos de riego por medio de la implementación del cenirrometro y así mejorar el riego de la finca.

Específicos

- Realizar la implementación del cenirrometro en la finca Bolivia para saber cuándo y cuanto regar.
- Capacitar a los mayordomos de riego de la finca para hacer uso del cenirrometro.

3.3.3 MARCO TEÓRICO

3.3.3.1 Cenírrómetros

Es una herramienta muy utilizada en los ingenios para poder determinar cuándo regar y cuánto regar, dicha técnica está basada en el tanque evaporímetro y evapora un 9% más de agua que este último. (1)

La evaporación es un proceso físico en el que un líquido o un sólido se convierten gradualmente en gas, considerando que en este proceso el agua se calienta al absorber energía calórica del Sol. (1)

Utiliza como base técnica el balance hídrico:

3.3.3.2 Balance Hídrico

Cambios en la humedad en el suelo (CHS)

CHS= GANANCIAS - PERDIDAS

$$CHS = (P + R + Ca) - (Ev + Tr + Pp + Es)$$

Al combinar $Ev + Tr = Et$

$$CHS = (P + R + Ca) - (Et + Pp + Es)$$

En riego no deben de existir Pp y Es

$$CHS = (P + R + Ca) - (Et)$$

Sin aporte del nivel freático

$$CHS = P + R - Et$$

Se expresa en términos de lámina de agua (mm, cm, mts).

Donde:

P = precipitación

Tr = transpiración

Ev = evaporación

R = riego

Es = escorrentía

Pp = percolación

Ca = capilaridad

Et = evapotranspiración

A continuación una ilustración de cómo se comporta el balance hídrico en nuestro sistema:

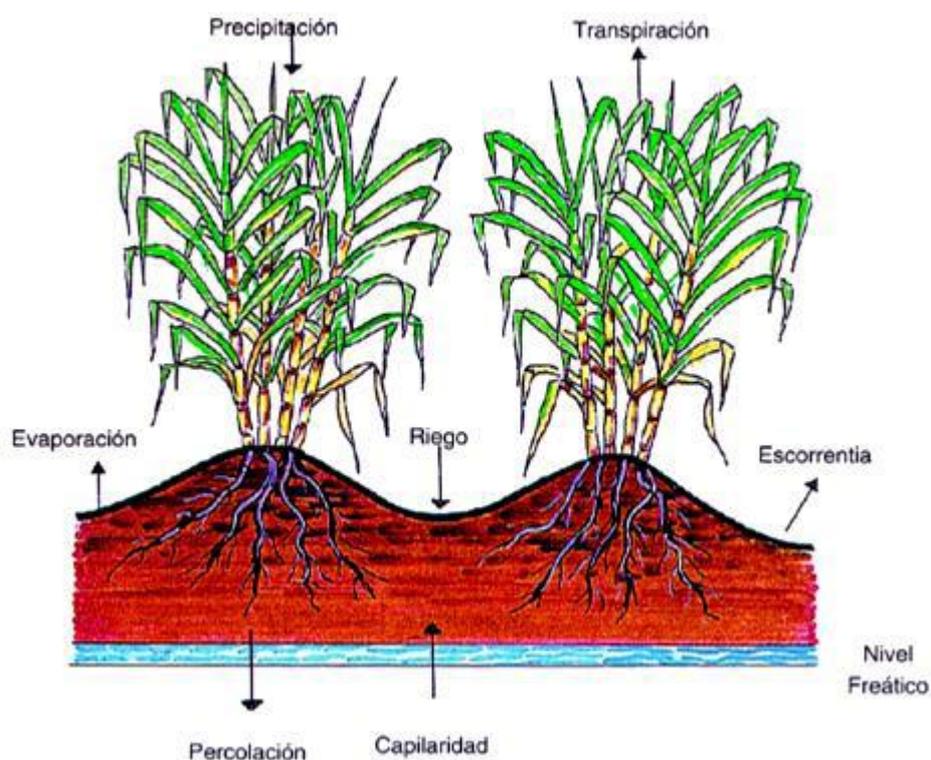


Fig. 3.2 Figura del balance hídrico.

3.3.3.3 Seguridad y mantenimiento del cenirrometro

Se deben de tener algunos cuidados como:

- Evitar que les entre basura.
- Realizar limpieza de los recipientes.
- Ubicarlos de preferencia en el casco o cerca de él para cuidarlos.

3.3.4 Metodología

3.3.4.1 Recopilación de la información para la implementación

Primero se procederá a la búsqueda de información climática como la precipitación en mm por día de todo el año, que sea de aproximadamente 4 o 5 años atrás, también se coleccionará información de estudios físico-químicos de los suelos de las fincas en donde se desea implementar el cenirrometro; dicha información requerida es la textura del suelo, la Capacidad de campo (CC), el Punto de marchitez permanente (PMP) y la Densidad aparente.

Luego se procederá a la realización de los cálculos de gabinete, es decir calcular las distancias a las cuales deben de ser marcadas las cubetas. Ya teniendo dichos cálculos, marcar las distancias en las cubetas con un marcador.

3.3.4.2 Selección del lugar donde se colocarán los cenirrometros

Teniendo ya las cubetas o cenirrometros identificados, estos son llevados a los cascos de las fincas en donde se van a implementar, encontrar un lugar donde nadie tenga contacto con ellos ya que de otro modo se distorsionaría la información debido a un mal manejo; también buscar un lugar donde no les entre basura y no buscarle sombra.

3.3.4.3 Capacitación a los mayordomos de riego

Luego de haberlas llevado a la finca y ya ubicadas en su lugar correspondiente hablar con los mayordomos de riego y darles la capacitación la cual incluye el funcionamiento, los cuidados y el mantenimiento que deben de dar a los cenirrometros.

3.3.5 Resultados

3.3.5.1 Selección del lugar donde se colocaron los cenirrometros

Luego de revisar el área con los mayordomos se acordó colocar los cenirrometros en el área donde se encuentra el área experimental de la finca o sea una estación tipo “B”, debido a que ella se encuentra con llave y nadie entra más que ellos a sacar los datos de las lecturas, por lo tanto es un área segura.

3.3.5.2 Capacitación a los mayordomos de riego

La capacitación de los mayordomos de riego se llevó a cabo en un aula con la que cuenta la finca en la cual se les dio las indicaciones de cómo medir con un metro cuántos centímetros había bajado el agua en los cenirrometros, también se les indicó de los cuidados que éstos llevan como el de no ensuciarlos y no ponerlos en la sombra.

3.3.5.3 Cálculo de las lecturas obtenidas para saber cuándo regar y cuanto regar

El cuadro 3.2 que se proyecta a continuación presenta la información recabada con los mayordomos de riego, en la cual obtuvimos frecuencias de riego de 11 días en macollamiento y 7 días en elongación.

Esta hoja de registro presenta los datos obtenidos siendo esta una copia de la hoja original realizada en el programa Microsoft Excel.

ejemplo 1

Textura	LAA (mm/cm de prof de suelo)	Kc		profundidad (cms)	LAA(mm/20 cms)
		macollamiento	elongación		
Franco	1.75	0.30	0.60	20	34.98
Franco Arenoso	1.63	0.60	0.90	20	32.50
Arena	0.71	0.60	0.90	20	14.15
LAA total (mm/60 cms)					81.63

Lámina de reposición		intervalos de riego (días)		AJUSTE DE FRECUENCIAS CON CENIRROMETRO	
LARA (mm/40 cms) macollam	LARA (mm/60 cms) elongación	macollamiento	elongación	EVC (mm/40 cms) macollam	EVC (mm/60 cms) elongación
40.49	48.98	15	10	76.88	38.44
tiempo riego (horas)				35.72	23.81
1.76	2.13				10.37
		TOTAL(mm)		112.59	72.62
		TOTAL(cm)		11.26	7.26

Cuadro 3.2 Resultado de frecuencias de riego utilizando el cenirrometro.

3.3.6 Evaluación de resultados

Debido a que los cenirrometros fueron ubicados en un lugar adecuado se pudo asegurar o garantizar que los datos obtenidos son correctos y fueron analizados de una buena manera para poder recomendar intervalos de riego.

Por medio de la capacitación impartida se logró que los datos recolectados fueran exactos y llegaban de manera rápida a la oficina de la finca para luego poder ingresarlos en el programa y calcular dichos intervalos de riego. De acuerdo a los resultados de los cenirrometros estos intervalos deben de ser de 7 días para la etapa de elongación y de 11 días para la etapa de macollamiento, pero debido a que el área de la finca es bastante grande se llego a la conclusión de que no alcanzan los equipos de riego con los que cuenta el ingenio; por lo tanto si se quiere seguir con la información de los cenirrometros se deben de adquirir equipos nuevos de riego para su implementación y así garantizar los intervalos mencionados.

3.4 BIBLIOGRAFÍA

- 1). Castro, O. 2010. Conociendo la técnica de los cenirrometros (entrevista). Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA.

- 2). EIA (Escuela de Ingeniería de Antioquía, CO). 2001. Aforo de corrientes naturales (en línea). Medellín, Colombia. Consultado 15 feb 2010. Disponible en <http://www.google.com.gt/search?hl=es&source=hp&q=aforo+con+molinete&meta=&aq=0&oq=aforo+con+mo>