

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

ANALISIS TÉCNICO-ECONOMICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE
CENTRAL Y UN MODULO DE RIEGO POR ASPERSION MOVIL EN EL CULTIVO DE
CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.), EN INGENIO LA UNION S.A.,
ESCUINTLA

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

VICENTE ESTUARDO ESQUIT DONIS

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, JULIO DE 2004.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M. V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO
SECRETARIO
VOCAL PRIMERO
VOCAL SEGUNDO

Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
Ing. Agr. Pedro Pelaez Reyes
Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle

VOCAL TERCERO
VOCAL CUARTO
VOCAL QUINTO

Ing. Agr. Erberto Raul Alfaro Ortiz
Br. Luis Antonio Raguay Pirique
Br. Byron Geovany González Chavajay

Guatemala, julio de 2004

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

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado.

ANALISIS TÉCNICO-ECONOMICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL Y UN MODULO DE RIEGO POR ASPERSION MOVIL EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum L.), EN INGENIO LA UNION S.A., ESCUINTLA

Presentado como requisito previo a optar al Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento

Atentamente,

VICENTE ESTUARDO ESQUIT DONIS

ACTO QUE DEDICO A

DIOS CREADOR DEL UNIVERSO Y FUENTE DE FORTALEZA

MIS PADRES: VICENTE ESQUIT
SOFIA DE JESÚS DONIS RODRÍGUEZ DE ESQUIT

Abnegados y digno ejemplo de padres, sin ustedes y su sabia guía por la vida y su incondicional esfuerzo por darme la oportunidad de una formación profesional, nunca hubiese conseguido lo que hoy tengo. Que Dios los bendiga y que al fin este éxito alcanzado sea una muestra de mi gratitud a tanto esfuerzo.

MI ESPOSA: INGRID CARLONA ARANA GONZALEZ DE ESQUIT

Amadísima esposa, en todo momento has estimulado en mí el entusiasmo y fortaleza para alcanzar lo que he anhelado, no tengo como pagarte todo el amor demostrado hacia mí y nuestros hijos, únicamente con la reciprocidad de mi amor. Este triunfo en gran parte lo debo a tu apoyo incondicional y tu comprensión. Que este triunfo sea una recompensa a todo ello y que Dios te bendiga

MIS HIJOS: LUIS ALEJANDRO Y JAVIER ESTUARDO

Que el completar esta meta con tanto sacrificio de ustedes por el tiempo que no les he brindado, sea ejemplo de constancia y empeño, junto a su madre nos sentimos satisfechos de ser ejemplo de profesionales que ustedes puedan imitar.

MIS HERMANAS: ALMA LILIANA Y ERICKA ARACELI

Nunca es tarde, ni cualquier esfuerzo es tan grande cuando logramos alcanzar una meta en nuestras vidas, gracias por su cariño.

MIS SUEGROS Y CUÑADOS:
EN ESPECIAL A AUDY YANELLY ARANA GONZALEZ

Gracias por ser tan bondadosa, has ganado un especial cariño de mi parte, tu apoyo ha sido también muy importante para alcanzar esta meta, que Dios te brinde más éxitos en la vida y recuerda que cuentas con nosotros.

AGRADECIMIENTOS:

A:

Mi asesor, Ing Agr. M. Sc Victor Manuel Cabrera Cruz, porque a él le debo el inicio, empuje y la experiencia que a lo largo de mi desempeño en la industria azucarera he ganado, así mismo por ser un profesional que ha sido digno de imitar y por su valiosa y desinteresada colaboración en éste trabajo.

Mi asesor, Ing Agr. M Sc. David Juárez Quim, por su valioso aporte a éste trabajo, así mismo mi admiración por ser uno de los pioneros en la investigación en riego del cultivo de caña de azúcar en Guatemala.

Ingenio La Unión S.A.

P.F. Alberto Morales por su apoyo en los trámites necesarios para culminar éste trabajo.

PAGINAS DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	2
3. Marco teórico	3
3.1 Marco conceptual	3
3.1.1 Descripción general del cultivo de caña de azúcar	3
3.1.1.1 Botánica de la caña de azúcar	3
3.1.1.2 Morfología de la caña de azúcar	4
A) La raíz	4
B) El tallo	4
C) Las horas	4
D) La flor	4
3.1.1.3 Requerimientos climáticos y edáficos	5
A) Temperatura	5
B) Precipitación	5
C) Radiación solar	5
D) Viento	5
E) Requerimientos edáficos	5
3.1.1.4 Variedades de caña de azúcar cultivadas en Guatemala	6
3.1.1.5 Labores agrícolas en el cultivo de la caña de azúcar	6

A) Adecuación del terreno	6
B) Preparación de suelos	7
C) Establecimiento de semilleros	7
D) Siembra	8
E) Fertilización	8
F) Control de malezas	9
G) Plagas y enfermedades	10
H) Inhibidores de la floración	10
I) Maduración de la caña de azúcar	11
J) Cosecha	11
3.1.2 Riego en caña de azúcar	12
3.1.2.1 Requerimientos hídricos de la caña de azúcar	12
A) Germinación	12
B) Macollamiento	12
C) Rápido crecimiento	12
D) Maduración	13
3.1.2.2 Consumo de agua de la caña de azúcar	13
3.1.2.3 Métodos de riego utilizados en caña de azúcar en Guatemala	14
3.1.2.4 Costos estándares de sistemas de riego en el cultivo de caña de azúcar en Ingenio La Unión S.A.	15
3.1.3 Sistema de riego por aspersión	17
A) Ventajas del sistema de riego por aspersión	18
B) Desventajas del sistemas de riego por aspersión	18
3.1.3.1 Clasificación de los sistemas de riego por aspersión	18
3.1.3.2 Sistema de riego por aspersión móvil	19
A) Unidad de bombeo	20
B) Tubería principal	20
C) Tubería lateral	20
D) Aspersores o rociadores	20

3.1.3.3	Sistema de riego por pivote central	20
3.1.3.4	Comparación entre los componentes de los sistemas de riego de aspersión móvil y pivote central	21
3.2	Marco referencial	22
3.2.1	Ubicación geográfica del área de evaluación de los sistemas de riego	22
3.2.2	Características generales de la finca	24
3.2.3	Clima	24
3.2.4	Temperatura	24
3.2.5	Precipitación pluvial	25
3.2.6	Balance hídrico	26
3.2.7	Zona de vida	26
3.2.8	Geomorfología	27
3.2.9	Suelo	28
3.2.10	Recarga hídrica	29
3.2.11	Aprovechamiento del acuífero libre superficial en la finca Monte Alegre	30
3.2.11.1	Caudal y calidad de agua de una poza	31
3.2.11.2	Orientación y dimensionamiento de las pozas	32
3.2.11.3	Construcción de una poza	32
4	Objetivos	34
4.1	Objetivo general	34
4.2	Objetivos específicos	34
5	Metodología	34
5.1	Aspectos agronómicos	
5.1.1	Requerimiento de riego del cultivo de caña de azúcar	35
5.1.2	Manejo del pivote central y el equipo de aspersión móvil en el área Piloto	36
5.1.3	Diseño y descripción del sistema de riego por aspersión móvil evaluado	38
A)	Rociadores o aspersores	39
B)	Tubería de conducción y distribución de agua	39

C) Unidad de bombeo	41
D) Válvulas y accesorios del sistema de conducción y distribución de agua	43
E) Operación del sistema de aspersión móvil	43
5.1.4 Descripción del sistema de riego por pivote central evaluado	44
A) Caudal de diseño del pivote central	45
B) Aspersores del pivote central	46
C) Pérdidas de carga en la tubería de conducción y distribución del pivote central	48
D) Pérdidas de carga en la tubería de conducción de la bomba hacia el pivote central	48
E) Diseño de la unidad de bombeo	49
F) Partes del sistema de riego del pivote central	51
5.1.5 Balance hídrico y programa de riego	51
5.2 Aspectos económicos	54
5.2.1 Costos de la aplicación de riego	55
5.2.1.1 Costos de inversión de los módulos de riego de pivote central y aspersión móvil	55
5.2.1.2 Costos de operación	56
5.2.1.3 Costo total de aplicación de riego	58
5.2.2 Costos de producción y utilidades del cultivo	59
5.2.3 Indicadores financieros	65
5.2.3.1 Valor Actual Neto (VAN)	65
5.2.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)	67
5.2.3.3 Relación beneficio costo (B/C)	69
5.2.3.4 Tiempo de recuperación de la inversión	70
6 Conclusiones	72
7 Recomendaciones	74
8 Bibliografía	75

INDICE DE CUADROS

EN EL TEXTO

CUADRO	TITULO	PAGINA
1	Agua total consumida anualmente por el cultivo de la caña de azúcar en diferentes localidades	14
2	Áreas y costo de riego de la zona cañera guatemalteca	15
3	Resumen de costos estándar de sistemas de riego	16
4	Características principales de los sistemas de riego de pivote central y aspersión móvil	22
5	Balance hídrico del cultivo de caña de azúcar en finca Monte Alegre, período comprendido de diciembre de 2002 a noviembre de 2003	35
6	Número de riegos requeridos para cubrir el déficit hídrico con los sistemas de pivote central y aspersión móvil	36
7	Formulas de calculo para las condiciones de operación de los sistemas de riego evaluados	36
8	Condiciones de operación de sistemas de riego de pivote central y Aspersión	36
9	Constantes de humedad del suelo y lámina de humedad aprovechable	51
10	Contenido de humedad en el suelo al inicio del riego	53
11	Inversión en sistemas de riego de pivote central y aspersión móvil	55
12	Cálculo de depreciación de los sistemas de riego en USD/Ha regada	56
13	Integración del costo de mano de obra para riego por aspersión	56
14	Cálculo del costo de mano de obra para riego con pivote central	57
15	Cálculo del costo de combustible para los sistemas de riego por aspersión y pivote central	57
16	Cálculo del costo de mantenimiento de los motores de sistemas de riego	58
17	Costo total de aplicación de riego anual por hectárea riego	59
18	Costos generales de producción y utilidades del cultivo de caña de azúcar producida con y sin riego (quetzales y dólares americanos)	61
19	Egresos, ingresos y utilidades netas del cultivo de caña, al producir sin riego, durante un ciclo de 7 años	62
20	Egresos, ingresos y utilidades netas del cultivo de caña, al producir con riego de pivote central, durante un ciclo de 7 años en un área de	

	87 hectáreas	63
21	Egresos, ingresos y utilidades netas del cultivo de caña, al producir con riego de aspersión móvil, durante un ciclo de 7 años, en un área de 98 hectáreas ⁶⁴	
22	Valor actual neto para el cultivo de caña de azúcar utilizando pivote central en un área de 87 hectáreas	66
23	Valor actual neto para el cultivo de caña de azúcar utilizando sistemas de aspersión móvil en un área de 98 hectáreas	66
24	Cálculo de valores actuales netos con diferentes tasas de descuento para la estimación de la tasa interna de retorno del sistema de riego por pivote central	67
25	Cálculo de valores actuales netos con diferentes tasas de descuento para la estimación de la tasa interna de retorno del sistema de riego por aspersión móvil	68
26	Relación beneficio costo de la producción de caña de azúcar irrigada con un sistema de riego por pivote central, en un área de 87 hectáreas	69
27	Relación beneficio costo de la producción de caña de azúcar irrigada con un sistema de riego por aspersión móvil, en un área de 98 hectáreas	69
28	Resumen de indicadores financieros de la producción de caña de azúcar con riego de pivote central y aspersión móvil	71

INDICE DE CUADROS

EN EL APENDICE

CUADRO	TITULO	PAGINA
29	A Plagas de importancia económica en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala	78
30	A Enfermedades de importancia económica en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala	79
31	A Datos históricos de producción del área con riego en finca Monte Alegre	80
32	A Análisis químico de agua de las pozas de la finca Monte Alegre, mayo de 2003	81
33	A Tabla de desempeño del aspersor Nelson F-150, del sistema de aspersión móvil.	82
34	A Cartilla de distribución de aspersores del pivote central, Valmont Int'l Corp.	86

35	A	Listado de materiales que componen el pivote central de 525 metros de longitud	92
36	A	Balance hídrico en áreas de cultivo de caña irrigadas con los sistemas de riego por pivote central y aspersión móvil, durante el periodo de diciembre 2002 a octubre 2003	93
37	A	Ritmo inflacionario, años 1996-2003, Guatemala, Centroamérica	100

INDICE DE FIGURAS

EN EL TEXTO

FIGURA	TITULO	PAGINA
1	Coeficiente de cultivo de caña de azúcar	13
2	Mapa de cuencas hidrográficas, república de Guatemala	23

3	Isolneas de temperatura media anual	24
4	Isolíneas de precipitación promedio anual	25
5	Precipitación mensual de finca Monte Alegre para el período 1998-2002	25
6	Balance hídrico mensual de finca Monte Alegre para el período 1988-2002	26
7	Zonas de vida de Holdridge	27
8	Mapa geológico de la república de Guatemala	28
9	Perfil característico del suelo de finca Monte Alegre	29
10	Mapa de recarga hídrica modificado de la república de Guatemala	30
11	Excavación inicial de una poza	33
12	Continuación de la excavación de una poza	33
13	Aprovechamiento del acuífero libre superficial por medio de una poza, finca Monte Alegre, La Gomera, Escuintla, 2003.	33
14	Vista aérea de un campo regado por aspersión	44
15	Aspersor tipo cañón	44
16	Punto pivote	45
17	Area regada por un pivote	45
18	Vista de una parte del pivote central	45
19	Ultima torre y voladizo	45
20	Esquema de instalación de aspersores y patrones de mojado en un pivote	47
21	Balance hídrico y programa de riego con el pivote central	53
22	Balance hídrico y programa de riego con el sistema de riego de aspersión móvil	54
23	Histórico de producción del área irrigada con el pivote central, zafra 1998-1999 a 2003-2004	60
24	Estimado del beneficio neto en USD/Tn de caña producida en un ciclo de siete años, sin riego y con riego de aspersión móvil y pivote central	64
25	Período de recuperación de la inversión	70

FIGURAS EN EL APENDICE

FIGURA	TITULO	PAGINA
26 A	Curva de desempeño de la bomba del sistema de riego por aspersión móvil, modelo B4EYRMBH	83
27 A	Curva de desempeño del motor del sistema de riego de aspersión móvil, John Deere 4045 TF 250.	84
28 A	Perfil de tubería de conducción del río Acomé, hacia el punto pivote central	85
29 A	Curva de desempeño de la bomba que alimenta el pivote central, modelo B6JRMBM	90
30 A	Curva de desempeño del motor del sistema de riego de aspersión móvil, John Deere 4045 DF 150	91
31 A	Plano de ubicación de sistemas de riego en finca Monte Alegre, Esc. 1:20,000	101
32 A	Plano de dimensionamiento típico de una poza para aprovechar el acuífero libre superficial, caudal promedio de extracción: 800 GPM (50 LPS)	102
33 A	Plano de detalle de una posición típica de un sistema de riego por aspersión, ésta cubre un promedio de 16 hectáreas	103
34 A	Sistema típico de riego por aspersión móvil y su desplazamiento en el campo, área irrigada 98 hectáreas Esc. 1:5,000	104
35 A	Detalles del pivote central	105
36 A	Plano de planta del área irrigada por el pivote central, finca Monte Alegre, La Gomera, Escuintla. Esc. 1:5,000	106

ANALISIS TÉCNICO-ECONOMICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL Y UN MODULO DE RIEGO POR ASPERSION MOVIL EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarun* L.), EN INGENIO LA UNION S.A., ESCUINTLA.

TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF A CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEM AND A SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM MODULE IN THE SUGAR CANE CULTIVATION (*Saccharun officinarun* L.) IN LA UNION SUGAR MILL, S.A. ESCUINTLA.

RESUMEN

El presente análisis constituye una comparación de aspectos técnicos y económicos de un sistema de riego por pivote central y un sistema de riego de aspersión móvil en el cultivo de caña de azúcar de la variedad CP72-2086; los sistemas de riego están ubicados en la finca Monte Alegre, propiedad de Ingenio La Unión S.A. El pivote central cubre una extensión de 87 hectáreas y el módulo estándar de riego por aspersión móvil irriga 98 hectáreas.

El pivote central consiste en un sistema de riego piloto, el cual se adquirió de segundo uso con 20,000 horas de trabajo, éste se instaló e inició su operación de aplicación de riego a finales del año 2002, mientras que el sistema de aspersión móvil es el más difundido en la empresa y se utiliza desde hace más de 10 años en la finca Monte Alegre.

El establecimiento del sistema de riego de pivote central se llevó a cabo con la finalidad de evaluar su funcionamiento, costos, comportamiento de la productividad y manejo agronómico del cultivo de caña de azúcar. Se pretende determinar la conveniencia técnica y económica de su expansión, para lo cual se ha dado seguimiento paralelamente a un sistema de riego por aspersión móvil y a un área similar sin riego como parámetro de evaluación.

El programa de riego con pivote central se realizó con el cálculo diario del balance hídrico, mientras que el de aspersión móvil por medio de una frecuencia de riego controlada de 20 días.

Se planificó realizar una evaluación completa durante un período de 7 años, esto permitirá evaluar el comportamiento de la producción bajo condiciones de riego, así como la influencia del clima durante el mismo período. El primer año de seguimiento de la operación se inició en diciembre de 2002, se aplicó riego durante el verano del año 2003 y se realizó la primera cosecha en Diciembre de 2003 a una edad del cultivo de 12 meses, para los años siguientes se ha realizado una proyección de costos y producciones. Durante la primera cosecha se ha obtenido un incremento de 19 toneladas por hectárea en el área irrigada con pivote central con respecto al área irrigada con aspersión móvil. Durante las últimas cinco zafas en la empresa, se ha registrado un incremento promedio de 35 toneladas por hectárea al regar con aspersión móvil sobre áreas que no se han regado anteriormente, por lo tanto al utilizar la misma producción base de las áreas sin riego, se infiere que el cultivo irrigado con pivote central incrementó 54 toneladas por hectárea, dado que las condiciones de aplicación de riego con el pivote central ha sido más oportuna y uniforme. Ambos sistemas aplicaron un total de 301 milímetros durante el período de evaluación.

El costo de riego con pivote central fue 52% más bajo que el de aspersión móvil, esto debido especialmente a que el sistema requiere menos potencia para su operación, así mismo el costo de la mano de obra se redujo en 84%, dada la automatización del sistema y menos uso de operarios. El incremento de la producción que se ha conseguido con la aplicación de riego con el pivote central y sus bajos costos de operación hacen que su uso sea técnica y económicamente atractiva. Con los resultados de producción del primer año ya cosechado y la proyección de la producción y costos para

los siguientes 6 años, indican que al producir caña de azúcar con el sistema de riego de pivote central se incrementan las utilidades, las cuales al transformarlas a Valores Actuales Netos (VAN) con una tasa de descuento del 8% dan los siguientes resultados. Si se riega con aspersión móvil el VAN al final del ciclo de 7 años será de USD 90,800; mientras que si se aplica riego con el pivote central se estima un VAN de USD 224,000, aproximadamente, lo cual indica que las utilidades se incrementan en un 146%.

Al final del mismo período de 7 años, las utilidades marginales al producir caña de azúcar bajo riego con pivote central permite obtener una Tasa Interna de Retorno (TIR) de un 87%, mientras que con el sistema de aspersión móvil una tasa de 55.5%. En ambos casos la tasa resultante es económicamente atractiva, dado a que es mayor a la tasa de 8% utilizada para actualizar los valores de las utilidades en el VAN.

La relación Beneficio Costo (B/C) es mayor al utilizar riego de pivote central, siendo ésta de 9.7; al utilizar el sistema de aspersión móvil el costo de la aplicación del riego es mayor y la producción no se incrementa en la misma proporción que lo hace con el pivote central, por lo cual la relación B/C es de 2.3. La tendencia del incremento de las utilidades al utilizar pivote central, permite recuperar la inversión en un corto periodo estimado entre los 2 y 3 años de producción; los índices económicos del sistema de aspersión móvil en las condiciones del lugar permiten obtener utilidades para recuperar la inversión del equipo de riego en un período de 3 a 4 años.

Debido al incremento de la producción obtenida durante el primer año y el bajo costo de aplicación de riego con el pivote central, se ha determinado la conveniencia de utilizar y difundir el uso del mismo; será importante actualizar anualmente éste análisis con nuevos datos de costos y producción en los años venideros del proyecto para su sensibilización y actualización. Así mismo, debido a la facilidad de operar el sistema de riego de pivote central y la alta frecuencia de riego que puede aplicar el sistema, es conveniente evaluar el uso de fertirriego. Ante el alto costo de la aplicación de riego con el sistema de aspersión móvil, se recomienda un uso adecuado de éste para garantizar la aplicación oportuna y uniformidad de la lámina de riego; de lo contrario el costo de riego puede incrementarse significativamente.

1. INTRODUCCION:

Guatemala produce alrededor de 1.7 millones de toneladas métricas de azúcar valor crudo, y se ubica en el sexto lugar de países latinoamericanos productores después de Brasil, México, Cuba, Colombia y Argentina; dicho volumen de producción se obtiene con el procesamiento de alrededor de 15.5 millones de toneladas métricas de caña de azúcar producidas en un área total de 180,000 hectáreas de cultivo. La producción total de azúcar se destina en un 64% a la venta en el mercado mundial, un 31% para consumo interno y el restante 5% para abastecer el mercado de Estados Unidos. En el mercado mundial participan fuertemente otros países productores de azúcar a nivel mundial siendo los diez más importantes: Brasil, India, Unión Europea, Estados Unidos, China, México, Tailandia, Australia, Cuba y Pakistán. Es por ello que actualmente la oferta existente en ese mercado hace que el valor comercial del azúcar sea sumamente bajo, alrededor de USD 5.00 a USD 6.00 el quintal, por la composición de mercados destinos de la producción de Guatemala, el valor comercial de cada quintal producido es considerablemente sensible, lo que hace que directamente se vea disminuido el valor comercial de la caña de azúcar, ya que el valor de pago a los cañicultores aún sean las mismas empresas agroindustriales, se revaloriza anualmente en función del valor ponderado del azúcar vendida.

Ante tal situación en los últimos años, en los sistemas de producción agrícola de caña de azúcar se corren riesgos de obtener pérdidas económicas, por lo cual las estrategias más importantes se encaminan a incrementar la productividad agrícola del cultivo y la disminución de costos. Las inversiones estratégicas se han concentrado principalmente en el desarrollo e implementación de nuevos sistemas de riego más eficientes y económicos, así mismo de utilizar más eficientemente el agua con la finalidad de incorporar más áreas con riego.

El método de aspersión, es el sistema de riego de mayor difusión y en el que se invierten anualmente el 80% del total de los recursos financieros erogados en prácticas de riego en la agroindustria azucarera, por lo tanto constituye uno de los renglones de mayor atención en la búsqueda de sistemas alternativos y de menor costo para su implementación o mejora.

En la finca Monte Alegre de Ingenio La Unión S.A., se ha instalado un sistema de riego de pivote central, cuyo objetivo es evaluar su desempeño y compararlo con el sistema de riego tradicional de aspersión móvil, así mismo evaluar el efecto de la aplicación de riego sobre el incremento de la productividad en el cultivo de caña de azúcar y analizar sus características técnicas y económicas. El propósito de dicha comparación es obtener los índices técnicos y económicos que soporten la adopción de ésta nueva tecnología para la aplicación de riego y por ende mejorar las utilidades que se generan en la producción de caña de azúcar.

Se planifica que con la aplicación de riego con el sistema de pivote central se logre reducir los costos de mano de obra, combustible, mantenimiento y operación en horas riego / día; además de lograr un incremento en la producción de caña de azúcar / hectárea. Lo anterior se puede lograr debido a que un sistema de riego de pivote central requiere menos energía para su operación, así mismo un menor número

de operarios con respecto a un módulo de riego por aspersión móvil. El riego con el pivote central puede ser controlado, oportuno, más uniforme y abastecer las máximas demandas evapotranspirativas del cultivo, lo que permite un incremento en la productividad de la finca con respecto al cultivo irrigado con un módulo de aspersión móvil.

Al combinar el incremento de la productividad con la aplicación de riego a un menor costo, se obtienen bajos costos de producción, mayores utilidades e índices financieros como: Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno, una mayor relación Beneficio Costo y un menor período de recuperación de la inversión al establecer el sistema de riego de pivote central. Todo lo anterior hace que la actividad de producir caña de azúcar sea económicamente más atractiva bajo condiciones de riego.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

La aplicación del riego se realiza para proveer de agua al cultivo de caña de azúcar, la cual utiliza para realizar sus procesos fisiológicos durante la época de déficit hídrico, la cual se presenta durante el verano, al no aplicar el agua requerida, la productividad del cultivo disminuye considerablemente, lo cual convierte al riego en una de las labores más importantes en el proceso de producción de caña de azúcar.

La aplicación de riego participa en los costos de producción de la siguiente manera; un 29% durante el primer año y un 43% durante los siguientes años del ciclo de cultivo, por lo cual se convierte en una importante labor con oportunidad de reducir sus costos.

Actualmente, en Ingenio La Unión S.A. se cultiva un área de 15,742 hectáreas de caña de azúcar, anualmente se producen 1,400,000 toneladas cortas de caña, de las cuales se extraen 3.2 millones de quintales de azúcar, en promedio se producen 101 toneladas de caña por hectárea, aunque el rango de producción va desde 75 toneladas por hectárea en áreas que carecen de riego, hasta 140 toneladas por hectárea en áreas en las que se aplica riego.

Actualmente 9,973 hectáreas cuentan con riego con la finalidad de obtener adecuados rendimientos en toneladas de caña por hectárea y libras de azúcar por tonelada de caña, los cuales se multiplican para obtener el resultado final en quintales de azúcar por hectárea.

El área que cuenta con riego equivale a un 63% del área total cultivada, los métodos de riego utilizados son en su orden: 5,902 hectáreas con aspersión (59% del área regada), 2,004 hectáreas con bombeo gravedad (20% del área regada), 1,124 hectáreas con gravedad (11% del área regada), 856 hectáreas con pivote central móvil (9% del área regada) y 87 hectáreas con pivote central fijo (1% del área regada), éste último constituye un proyecto piloto para evaluar sus índices técnicos y económicos con respecto a los sistemas de aspersión existentes..

Preliminarmente, se ha estimado que los costos de riego para dotar de agua al cultivo son 150% mayores al utilizar el sistema de aspersión móvil que un pivote central. El alto costo se debe a un alto requerimiento de energía y mano de obra para operar el sistema. En el caso de los sistemas de riego por gravedad, se requieren de grandes caudales debido a su baja eficiencia, sin embargo los costos de energía

y mano de obra en que se incurren con éste sistema son menores que los del sistema de aspersión móvil. Por otro lado, debido al requerimiento de grandes caudales el área que es irrigada por gravedad se ha disminuido en los últimos 5 años, debido a la disminución de caudales de las fuentes de agua superficial. Por lo anterior, se requiere de la búsqueda y utilización de sistemas de riego más eficientes en el uso del agua, con menores costos de operación y mano de obra y menor requerimiento de energía.

En función de lo anterior, se ha implementado un sistema piloto de pivote central, el cual se analizará técnica y económicamente junto al sistema tradicional de aspersión móvil. La finalidad del trabajo es determinar y proyectar la viabilidad técnica y económica de su uso y expansión, como una alternativa de aplicar riego en caña de azúcar con una mayor eficiencia en el uso del agua a un menor costo y con mayores beneficios económicos.

3. MARCO TEORICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 DESCRIPCION GENERAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR

3.1.1.1 BOTÁNICA DE LA CAÑA DE AZUCAR

No se conoce con exactitud el origen de la caña de azúcar, sin embargo se asume que debido a la presencia del mayor número de especies del género *Saccharum*, ésta procede de La India, Nueva Guinea y zonas aledañas (29).

La caña de azúcar está ubicada taxonomicamente de la siguiente manera:

- DIVISIÓN: Embryophita siphonogama
- SUBDIVISIÓN: Angiospermae
- CLASE: Monocotyledoneae
- ORDEN: Glumiflorae
- FAMILIA: Gramineae
- TRIBU: Andropogoneae
- SUBTRIBU: Saccharea
- GENERO: *Saccharum*
- ESPECIES: *S. Officinarum*, *S. edule*, *S. barbery*, *S. spontaneum* y *S. robustum*

3.1.1.2 MORFOLOGÍA DE LA CAÑA DE ZUCAR

La planta de caña de azúcar es una planta gramínea conformada por raíces, tallos, hojas y flores, es una planta C4, lo cual la hace muy eficiente en el aprovechamiento de energía para sus procesos fisiológicos.

A) LA RAIZ

La raíz es la encargada de la absorción de agua y sales minerales, proporcionar anclaje y almacenar reservas, las raíces se originan directamente del tallo, son adventicias pudiendo ser primordiales y permanentes; las primordiales efectúan la absorción mientras que germinan las yemas e inicia el proceso de macollamiento, posteriormente son sustituidas por las raíces permanentes que son de mayor diámetro y longitud.

Un 60% de las raíces se concentra en los primeros 20 centímetros de profundidad y más del 85% en los primeros 40 centímetros, lo que es considerado ventajoso para la adición de agua de riego en ese estrato (29).

El desarrollo radicular se ve afectado directamente por varios factores, siendo los más importantes: variedad, textura del suelo, compactación del suelo, disponibilidad de agua y efecto del nivel freático (29).

B) EL TALLO

El tallo es el órgano económicamente más importante, constituye un órgano de almacenamiento de carbohidratos y en el proceso extracción se obtiene la sacarosa y otros derivados. El tallo está constituido por nudos y entrenudos, en cada uno está inserta una hoja en forma alterna y en su parte distal se encuentra el meristemo apical.

Los haces vasculares del tallo se distribuyen en menor número y de mayor diámetro en el centro y en la periferia del tallo en mayor número y de menor diámetro, se encuentran rodeados de fibras que sirven como sostén (29).

C) LAS HOJAS

Las hojas son órganos especializados para realizar la fotosíntesis, respiración, transpiración e intercambio gaseoso, la lámina foliar de las hojas es ligeramente asimétrica contienen mayor número de estomas en el envés que en el haz, éstas están conformadas por la lámina, nervadura central, vaina, lígula y aurícula (29).

D) LA FLOR

La flor es una panícula abierta, cuya forma, color, tamaño y ramificación depende de la variedad. Está formada por un solo eje o raquis principal que a su vez se divide en ejes secundarios y terciarios. La inflorescencia se presenta en ciertas condiciones de edad, nutrición y clima, especialmente de foto

período, temperatura y humedad, en este momento se modifica el patrón de crecimiento vegetativo e inicia el crecimiento reproductivo, aunque el alargamiento de los últimos entrenudos continúa. Las flores son hermafroditas aunque a veces auto estériles, formadas por un ovario y dos estigmas. La formación de flores tiene aspectos beneficiosos y negativos. La principal ventaja es que constituye material para realizar mejoramiento genético. La desventaja es la paralización del crecimiento, muchas veces asociado a la formación de corcho ya que disminuye el rendimiento y ocasiona pérdidas de sacarosa (29).

3.1.1.3 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS

Los factores climáticos afectan las fases de germinación, crecimiento y maduración de la siguiente forma:

A) TEMPERATURA

La temperatura, junto con la humedad, son dos de los factores que más relevancia tiene en la germinación, la temperatura óptima para éste proceso se ubica entre los 27°C y 33°C, y para el crecimiento debe oscilar entre los 20°C y 35°C (24). En Guatemala la zona cañera ubicada en la planicie costera del océano Pacífico tiene temperaturas promedio anuales alrededor de 25°C, ésta varía en función de la altura sobre el nivel del mar (24).

B) PRECIPITACION

En promedio la caña requiere de 1,200 a 1,500 milímetros anuales, distribuidos de mejor manera durante el período vegetativo (24). En la zona cañera de Guatemala las precipitaciones oscilan desde los 1,500 hasta los 3,000 milímetros anuales (24).

C) RADIACION SOLAR

La caña de azúcar pertenece al grupo de plantas con sistema fotosintético C4, por lo cual es muy eficiente, dentro de la especie existen variedades más eficientes que otras, las longitudes de onda utilizadas son entre 400 y 700 nm. Es importante que durante todo el ciclo, la planta disponga de buena luminosidad (29).

D) VIENTO

El viento aumenta la evapotranspiración, reduce el crecimiento, causa la ruptura de tallos inclusive puede arrancar las cepas desde la base, ocasiona que la caña se acame (postración) dificultando las labores de cosecha (29).

E) REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

Es aconsejable que la textura sea franco arcillosa, franco arenosa o limosa, con buena estructura y capacidad de retención de humedad, pero a la vez friable, con un horizonte profundo, sin problemas de

drenaje y salinidad, características que deben permanecer al menos en los primeros 50 cm del suelo donde se ubican la mayor cantidad de raíces. El nivel freático debe estar ubicado preferentemente a profundidades mayores de 75 cm, el pH debe oscilar entre 5.5 y 8.0 (29).

3.1.1.4 VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR CULTIVADAS EN GUATEMALA

Oficialmente en Guatemala se cultivan variedades de caña, siendo las más importantes en función del área cultivada las siguientes: CP72-2086 (76% área), PR87-2080, P73-1547, PGM89-968, MEX68P23, CP88-1165, CP72-1210 y MEX69-290 (5).

Actualmente se realizan pruebas regionales y trabajos de mejoramiento genético en variedades, cuyo objetivo es el de obtener cultivares con características relevantes de un prototipo ideal, las cuales son: Crecimiento erecto y deshoje fácil, diámetro de tallos > 25 mm, alto porcentaje de floración natural en variedades tempranas, menos del 50% en variedades intermedias y menos del 5% en variedades tardías. Incidencia y severidad de corcho lo más bajo posible, oquedad ausente o mínima, mínima cantidad de pubescencia, raíces aéreas y brotación de yemas, ausencia de rajaduras en la corteza, entre 13% y 16% de fibra, alto rendimiento en toneladas y azúcar, tolerancia a enfermedades como carbón (*Ustilago scitaminea*), Mosaico (virus), Roya (*Puccinia melanocephala*), Escaldadura (*Xanthomonas rubrilineaus*), Raya Roja (*Pseudomonas rubrilineans*) y Síndrome del Amarillamiento de la Caña YLS (27).

3.1.1.5 LABORES AGRÍCOLAS EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR

El establecimiento y manejo del cultivo de la caña de azúcar requiere de una serie de labores que va desde la adecuación del terreno, posteriormente se realiza la preparación de suelos para efectuar la siembra, se realizan los programas fitosanidad, riego, regulación de la maduración de la caña y la floración y por último la cosecha.

A) ADECUACION DEL TERRENO

Se define como la acción de proporcionar y acomodar las condiciones del terreno para el cultivo de caña de azúcar (12).

Si el área es nueva deben eliminarse, árboles, piedras, infraestructura en desuso o cualquier otro tipo de obstáculo para la operación de la maquinaria, para ésta labor se utiliza maquinaria con buldózer, excavadoras, tractores agrícolas y camiones de volteo, al contar con el área sin obstáculos se realiza un levantamiento topográfico detallado, se elabora el plano topográfico sobre el cual se realiza el diseño de la finca en función del riego, drenaje agrícola y cosecha, para posteriormente trazar la nueva configuración de la finca .

B) PREPARACIÓN DE SUELOS

Con la preparación de tierras se desarrollan las labores de labranza mecanizada necesarias para disponer los suelos para la siembra de la caña de azúcar (8). Esta tiene una secuencia de labores que se planifica en función de las características del suelo tal como: Textura, composición del perfil del suelo, contenido de humedad, presencia de plagas del suelo y malezas, presencia y profundidad de capas compactadas, edad y altura del cultivo anterior en caso de ser una renovación del cultivo.

Los pasos de la preparación de suelos inician con el subsuelo, esta consiste en eliminar la compactación, producida por el paso de la maquinaria pesada que transita por suelos húmedos y las capas endurecidas permitiendo que las labores subsiguientes se lleven a efecto con óptima profundidad, para permitir buen desarrollo radicular a la planta (8). El subsuelo se realiza con implementos denominados subsoladores de brazos parabólicos accionados por tractores de 280 a 320 caballos de fuerza, pueden realizarse uno o dos pasos de ésta labor en función del grado y magnitud de las capas compactadas.

Posterior al subsuelo se realiza uno o dos pasos de rastro arado o volteo con rastras de 16 a 24 discos de 32" o 36" de diámetro, la finalidad es voltear, airear y remover el suelo, incorporar los residuos vegetales y a la vez exponer huevecillos de plagas del suelo para su control, con esta labor también se rompen los rombos formados por el subsuelo, para accionar los implementos de labranza se utilizan tractores de 280 a 320 Hp (8).

Al finalizar el volteo se realizan uno o más pasos de pulida, esta es una labor que rotura y fracciona los terrones producidos en el volteo, también destruye e incorpora residuos vegetales, y puede utilizarse también para el control de plagas del suelo al espaciar el paso del implemento entre uno y el siguiente paso, para el pulido se utilizan rastras de 64 a 66 discos de 24" de diámetro (8).

La última labor antes de la siembra es el surqueo, consiste en abrir los surcos para depositar la semilla, una vez sembrada y tapada, los mismos surcos servirán como canales de conducción de agua para riego, estos se confeccionan distanciados 1.50 metros entre cada uno, se utilizan implementos denominados surcadores accionados con los sistemas de levante e hidráulico de tractores llantados de 160 a 170 Hp. (8).

C) ESTABLECIMIENTO DE SEMILLEROS

Esta es una etapa especial en el programa operacional de la siembra, porque permite obtener material de buena calidad, facilita una rápida germinación, buen vigor y macollamiento, una mayor homogeneidad en la plantación; una mayor vida y altas posibilidades de tener una plantación con elevada capacidad productiva (29).

En lo posible el área de semilleros debe estar cerca del lugar de siembra comercial para disminuir costos en transportes, además permite una mejor sincronización entre el corte de la semilla y la siembra. Las áreas conocidas por sus altas infestaciones de roedores deben evitarse. Los suelos para semilleros,

en lo posible deben ser de textura franca, fértiles y profundos con topografía plana y de fácil drenaje. El área debe contar con facilidades para regar inmediatamente después de la siembra (28).

Los semilleros de caña de azúcar se categorizan de la siguiente forma: Semillero del mejorador, semillero básico, semillero semicomercial y semillero comercial (28)

La semilla del semillero del mejorador proviene de los nuevos híbridos que han pasado una serie de tamices desde la germinación de la semilla sexual hasta la selección en evaluaciones regionales, este material es genéticamente puro y libre de enfermedades sistémicas y sirve para iniciar un semillero básico (28).

El semillero básico se establecen con semilla tratada hidrotérmicamente a 51°C por 10 minutos, luego 12 horas a temperatura ambiente y de nuevo 1 hora a 51°C, el sistema de multiplicación puede ser por medio de plántulas provenientes de yemas extraídas o por el método de multiplicación convencional, la semilla obtenida en este semillero poseerá un 100% de pureza varietal (28).

El semillero semicomercial se establece con semilla proveniente del semillero básico, se siembra comúnmente con una densidad de 10 a 12 yemas vegetativas por metro lineal o bien por transplante de plántulas provenientes de yemas extraídas, lo cual hace que partiendo de una misma cantidad de semilla básica, las áreas de semillero sean diferentes, con cabe en el manejo agronómico se espera producir semilla con un 99% de pureza varietal y niveles bajos de enfermedades sistémicas (28).

El semillero comercial se establece con semilla proveniente del semillero semicomercial, la semilla que aquí se produce deberá poseer al menos un 98% de pureza varietal y niveles bajos de enfermedades sistémicas (28).

D) SIEMBRA

La siembra se hace colocando 2 esquejes en pares o en forma alterna en el fondo del surco confeccionado durante la preparación del suelo, con una densidad de 10 a 12 yemas sanas por metro lineal (2).

Durante la siembra suele realizarse una adición de fósforo, en forma de P_2O_5 y cuya dosis depende de la disponibilidad en el suelo, en algunos casos los análisis de suelos indican que no es necesaria su aplicación, al mismo tiempo puede realizarse el control de plagas del suelo con aplicaciones de productos biológicos tal como hongos del género *Metharizium*.

El proceso de siembra continúa con el tapado de la semilla y posteriormente la adición de uno o dos riegos para estimular la germinación de las yemas (29).

E) FERTILIZACION

Esta labor se encamina a adicionar al suelo los elementos que el cultivo extraerá, la caña de azúcar es un cultivo con una capacidad considerable de extracción de nutrimentos y que varía según la fase desarrollo, durante las fases iniciales los requerimientos son bajos. Posteriormente, una vez que

comienza la formación del sistema radical y el desarrollo de la parte aérea, las necesidades se incrementan, dentro de los nutrientes mayormente absorbidos están el Nitrógeno, Fósforo Potasio, Calcio y Magnesio. Según Subiros (29), la caña de azúcar extrae algunas cantidades de estos elementos para producir una tonelada de caña, los promedios de varias revisiones son los siguientes en Kilogramos por tonelada de caña: Nitrógeno 1.09, Fósforo 0.24, Potasio 1.90, Calcio 0.37, Magnesio 0.30 y Azufre 0.41 (29).

El procedimiento para realizar la fertilización inicia con el muestreo y análisis de suelos para determinar las dosis de fertilizantes a aplicar, generalmente se aplica en forma mecánica con una abono cultivadora accionada con un tractor de 80 a 120 Hp, generalmente la fertilización nitrogenada se realiza posterior a los 60 días después de la siembra o del corte en el caso de caña soca.

F) CONTROL DE MALEZAS

El control de malezas va dirigido a disminuir la presencia de malezas en el período crítico de competencia, el cual termina cuando la caña tiene 90 centímetros de altura y los tallos posean entre 8 y 12 horas, el período crítico se encuentra entre 15 y 120 días en caña recién sembrada y entre 15 y 90 días en caña soca (29).

El control de malezas se planifica en función de las especies y disponibilidad de agua en el suelo, de ello depende el método de control, el cual puede ser químico, manual y mecánico, si se efectúa un control químico también deben planificarse los herbicidas adecuados y su dosificación que generalmente van acompañados de productos coadyuvantes. En Guatemala se utilizan 26 grupos de herbicidas para el control de malezas (17).

En Guatemala se han identificado 55 especies importantes de malezas, las cuales han sido agrupadas en dos grandes grupos: malezas de hoja angosta, malezas de hoja ancha, dentro de ésta clasificación se dividen así (17):

- **Malezas de hoja angosta:**

- Ciperáceas: *Cyperus flavus* (Vahl.) Nees, *Cyperus odonatus* L., *Cyperus rotundus* L.
- Gramíneas
 - Gramíneas que forman macoyas: *Anthephora hermaphrodita* (L.) Kuntze, *Cenchrus echinatus* L., *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton, *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Echinochloa colonum* (L.) Link., *Eleusine indica* (L.) Gaertn, *Ixophorus unisetus* (Presl.) Schlecht., *Leptochloa filiformis* (Lam.) Beauv, *Panicum faciculatum* Swartz, *Panicum maximum* Jacq. *P. thichoides* Swartz, *Paspalum virgatum* L. y *Sorghum halapense* (L.) Pers.
 - Gramíneas que forman estolones: *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Brachiaria mutica* (Forsk) Stapf.

- **Malezas de hoja ancha**

- Malezas con roseta de hojas en la base: Nombre científico no determinado, conocida como Malanguilla.
- Malezas que no forman roseta de hojas: *Anagallis arvensis* L., *Mollugo verticillata* L., *Commelina difusa* Burm. F., *Tripogandra disgrega* (Kunth) Woodson, *T. cumanensis* (Kunth) Woodson, *Tinantia erecta* Jacq., *Borreria ocymoides* (Burm.) DC, *Richardia scabra* L., *Tridas procumbens* L., *Portulaca oleracea* L., *Trianthema portulacastrum* L., *Kallstroemia máxima* L., *Euphorbia prostrata* Ait., *Dioscorea carionis* Prain & Burkell, *Merenia quinquefolia* (L.), *Ipomea nil* (L.) Roth., *I. triloba* L
- Plantas con tallo erecto: *Ageratum conyzoides* L., *Baltimora recta* L., *Melampodium divaricatum* (L. Rich ex Pers), *Melanthera nivea* (L.), *Boerhavia erecta* L., *Sida rhombifolia* L., *amaranthus spinosus* L. *Amaranthus viridis* L. *Euphorbia gramínea* Jacq., *E. heterophylla* L., *E. hirta* L., *E. hypericifolia* L., *Heliotropium indicum* L., *Hybanthus attenuatus* (Humb & Bonpl.), *Bidens pilosa* L., *Desmodium tortuosum*., *Oxalis neaei* D.C., *Fhyllanthus niruri* L.

G) PLAGAS Y ENFERMEDADES

Debido a que la caña de azúcar es un cultivo extensivo, se ha alterado el equilibrio natural. Esto permite que algunas plagas se desarrollen y reproduzcan al disponer de una gran cantidad de substrato para alimentarse. En el mundo existen más de 1,500 especies de insectos que son considerados como plaga de éste cultivo (29).

Se han identificado algunas especies importantes constituidas plagas del cultivo de caña, cuales se numeran en los cuadros 29 A y 30 A del apéndice.

H) INHIBIDORES DE LA FLORACION

En la producción comercial de caña de azúcar, la floración es un factor importante que incide en pérdidas de rendimiento, en experimentos de campo se ha determinado que la caña que florea el 35% puede perder de un 15% a 20% de su rendimiento normal (30).

Esta reducción en el rendimiento se debe a tres implicaciones importantes (29):

- a. El gasto de energía que involucra el proceso, ya que la energía es tomada del tallo en forma de sacarosa cuando ésta se invierte.
- b. La formación de corcho que disminuye el peso del tallo y reduce la recuperación de sacarosa durante el procesamiento.
- c. La formación de lalas (brotación de yemas laterales) en el último tercio del tallo, como consecuencia de la pérdida de la dominancia apical. Esto ocasiona una disminución en la calidad de los tallos y además implica un gasto de energía adicional.

Se utilizan varios métodos para modificar el proceso de la floración: Empleo de variedades no floreadoras, edad del cultivo, regulación del foto período, temperatura, manejo del riego y control químico (29). De éstos la búsqueda de variedades no floreadoras está en marcha, por otro lado el control químico es el manejo económico y técnicamente viable se utiliza el Ethrel (Ethepon fosfonico), con el cual se ha reducido en un 19% la floración y un 13% el porcentaje de corcho que se cosecha durante el segundo tercio (enero – febrero) (15).

I) MADURACION DE LA CAÑA DE AZUCAR

La maduración es el proceso fisiológico por el que la producción de materia verde de la planta se reduce para dar paso a la acumulación de carbohidratos en forma de sacarosa en las células de parénquima del tallo (29).

Adicionalmente la maduración está gobernada por una serie de factores muy relacionados entre sí, algunos son (29): Variedad, humedad del suelo, temperatura, radiación solar, suelo y prácticas de cultivo.

Estudios realizados en Estados Unidos con ciclos de 12 meses, determinaron que el aumento en la producción de caña en los últimos cuatro meses fue de apenas el 2%, mientras que el contenido de sacarosa en ese mismo lapso aumentó alrededor del 200%. Este aumento fue más alto cuando se emplearon maduradores químicos (29).

La aplicación de maduradores químicos está dirigido a promover la maduración en cañas que se cosechan en los primeros dos tercios de la zafra, durante los meses de noviembre a febrero, su principal ventaja es la de aumentar el Brix, Pol y pureza del jugo y por lo tanto los niveles de sacarosa que en determinados casos llegan hasta un 20% en sacarosa (29).

Los productos más importantes utilizados como maduradores son: Fusilade (Propanoato Arílico Fluazifop P-Butil), Roundop Max y SL (Glifosato ácido fosforoso), Select y Touchdown (Glifosato trimesium) (29), actualmente se investiga en la utilización de productos no herbicidas que tienen un efecto sobre la maduración tal como el fosfato de potasio.

J) COSECHA

Es el último paso en el proceso de producción agrícola del cultivo, esta inicia con la planeación en las cuales se toman los siguientes criterios: Estimados de producción de caña de azúcar en toneladas por hectárea, programa tentativo del inicio y finalización de operación de la fábrica, ratio de molienda en toneladas por día, capacidad del transporte, disponibilidad de mano de obra, información de análisis de madurez de la caña en el campo, tipo de cosecha y otros (29).

La cosecha de la caña puede dividirse según sea el tipo: cosecha manual y cosecha mecanizada que en ambos casos puede ser en verde o quemado, esto quiere decir que previo a la misma la caña puede o no quemarse. La cosecha manual se realiza por personas conocidos como cortadores de caña quienes pueden cortar alrededor de 6 toneladas de caña en un día de trabajo y aproximadamente el 94%

de la caña cosechada en Guatemala se corta con ésta metodología, el restante 6% se realiza con cosechadoras mecánicas que pueden cosechar hasta 800 toneladas de caña en un día.

3.1.2 RIEGO EN CAÑA DE AZUCAR

El riego tiene como objetivo suplir el agua que la planta requiere cuando no es suministrada de manera natural y así completar de manera satisfactoria su desarrollo. La cantidad debida concuerda con el desarrollo fisiológico del cultivo para tratar de proporcionar la mínima cantidad posible sin provocar efectos negativos en el rendimiento. La determinación del momento óptimo de aplicación del riego es de suma importancia desde el punto de vista agrícola, industrial y económico (29).

3.1.2.1 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LA CAÑA DE AZUCAR

El uso consuntivo depende del estado de desarrollo en que se encuentre el cultivo, para fines ilustrativos se dividen en cuatro: germinación, macollamiento y cierre, rápido crecimiento y maduración, la duración de cada etapa puede variar en función de condiciones ambientales y de la variedad (29).

A) GERMINACIÓN

Comienza cuando el cultivo ha sido recién sembrado y aún no ocurre emergencia o cuando el retoño no ha emergido, en esta etapa el factor de Kc puede oscilar desde 0.4 hasta 0.6, ésta etapa puede llegar hasta los 85 días después de siembra o corte (29).

B) MACOLLAMIENTO

En esta etapa inicia la proliferación de tallos, desarrolla una mayor cantidad de follaje y comienza a cerrar, al disponer de mayor área foliar puede interceptar mayor radiación solar, así mismo su crecimiento radicular se incrementa y con ello la capacidad de captar más agua a mayor profundidad, por lo cual la evapotranspiración aumenta. Estudios en la Isla Mauricio han permitido estimar que la planta evapotranspira el 40% de la evaporación (29).

C) RAPIDO CRECIMIENTO

El cultivo experimenta un desarrollo vigoroso y completo y por lo general el porte permanece aún erecto. El incremento del área foliar sigue y la misma está en estrecha relación con la curva evapotranspirativa, los requerimientos de agua son mayores que en las fases anteriores (24).

Un aspecto importante es que si por algún motivo se presentara un estrés de humedad moderado en las fases anteriores, los efectos negativos que podrían ocasionar en el rendimiento final no serían tan severos como en esta fase (29).

Por lo general el déficit hídrico repercute más en la elongación del tallo que en la extensión de las raíces. Bajo ésta condición la fotosíntesis y, por lo tanto, la acumulación de sacarosa, pueden ocurrir de manera elevada en el tallo (29).

D) MADURACION

En esta fase se reduce la evapotranspiración, la pérdida de humedad se ha estimado entre el 70% y 90% de la evaporación, la pérdida de agua favorece la concentración de sacarosa, y así, esto favorece a la extracción de azúcar en el corte, alce y transporte (29).

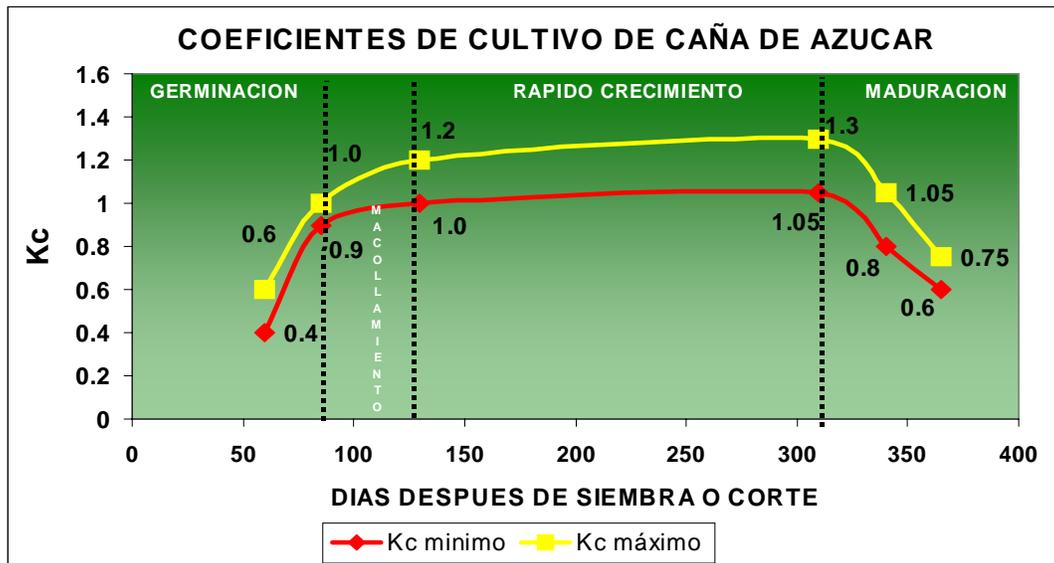


FIGURA 1: Coeficientes del cultivo de caña de azúcar, adaptado de SUBIROS R. F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José Costa Rica. 441p.

3.1.2.2 CONSUMO DE AGUA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Varios estudios a nivel mundial indican que el consumo diario de agua de la caña de azúcar oscila entre 4 y 12 milímetros diarios, con valores promedio de 8.5, inclusive se ha llegado a determinar valores elevados de 15.7 mm en Sudáfrica (29).

En Hawai se determinaron por medio de ensayos de fertilización con N y K que los elementos no tuvieron efecto significativo en la tasa de respiración pero si en el incremento del Índice de Área Foliar y por lo tanto en la transpiración; a valores cercanos o al doble de la evaporación, esto indica que potencialmente se puede aumentar la capacidad productiva de la caña de azúcar mediante un adecuado balance en el suministro de agua, nutrientes y radiación solar (29).

Los requerimientos totales de agua varían considerablemente, dependiendo del país, la localidad donde se cultive, duración del ciclo, caña planta o soca, un resumen de datos de varias localidades pueden apreciarse en el siguiente cuadro.

CUADRO 1: AGUA TOTAL CONSUMIDA ANUALMENTE POR EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR EN DIFERENTES LOCALIDADES.

País	Evapotranspiración (mm/año)	Fuente
Australia	1,522	Thompson, 1976
Mauricio	1,449	
Sudáfrica	1,267 a 1,555	
Cuba	1,618 a 2,113 planta 1,193 a 1,670 soca	Fonseca y García, 1987
Florida	1,322 riego por goteo 1,275 subirrigación	Shih, 1989
Colombia	1,100 a 1,200	Yang et al., 1985

Fuente: SUBIROS RUIZ, F. 1995. *El cultivo de la caña de azúcar*. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José Costa Rica. 441 p.

3.1.2.3 METODOS DE RIEGO UTILIZADOS EN CAÑA DE AZUCAR EN GUATEMALA

En la zona cañera de Guatemala, se han establecido diferentes métodos de riego con la finalidad de abastecer de agua al cultivo en la época de estiaje (durante el verano), siendo los más importantes por su área de cobertura: Aspersión móvil con cañones, riego por surcos, goteo y pivotes (26).

El sistema de riego por surcos se divide en dos métodos conocidos como: gravedad y bombeo gravedad, la diferencia es que en éste último se utiliza una bomba de caudal para alimentar el sistema de riego, pudiendo utilizar agua proveniente de ríos y pozos profundos en menor escala.

Durante los últimos tres años, se han realizado inversiones en sistemas de riego más modernos, que permiten utilizar el agua de una manera más eficiente y a menor costo, un sistema de riego alternativo lo ha constituido el pivote central; tiene la característica de utilizar menos mano de obra por ser un riego mecanizado y la demanda de energía es menor, comparada con la que requiere un sistema de aspersión móvil, cuyos aspersores funcionan eficientemente a una presión no menor de 60 libras por pulgada cuadrada (psi). Los aspersores del pivote operan a presiones que están en un rango de 10 a 20 libras por pulgada cuadrada (psi), esto hace que la demanda de energía y por ende el consumo de combustible para operar el sistema sea mucho menor.

El riego por goteo es un sistema que actualmente se evalúa, se han instalado algunos proyectos piloto en el área cañera, sin embargo su funcionamiento ha sido limitado por la calidad química del agua de la región, ya que ésta tiene altos contenidos de hierro y manganeso, los que al entrar en contacto con el oxígeno del aire, forman óxidos de hierro que taponan los goteros. Por lo que para el establecimiento de sistemas de goteo, se requiere realizar inversiones adicionales con la finalidad mejorar la calidad química del agua.

En Guatemala se irrigan alrededor de 80,970 hectáreas de cultivo de caña de azúcar, lo que equivale a un 43.6% del área total. Para regar ésta extensión, anualmente se invierten 11.2 millones de dólares. La aplicación de riego por aspersión representa el 80% del gasto total, seguido por lo que se invierte en riego por gravedad que es un 14% y por último un 6% para regar con sistemas de bombeo gravedad. Lo anterior puede apreciarse con detalle en el siguiente cuadro.

CUADRO 2: AREAS Y COSTO DE RIEGO DE LA ZONA CAÑERA GUATEMALTECA

Sistema de riego	Area (ha)	% del área con caña de Guatemala	Costo unitario de riego U.S.D /Ha-riego	Costo anual de toda la zona cañera U.S.D.
Gravedad	17,946	9.5	22	1,554,960
Bombeo Gravedad	4,946	2.7	40	692,440
Aspersión	58,363	31.4	50	9,046,250
Total	80,970	43.6		11,293,650

AREA CULTIVADA TOTAL: 186,000 hectáreas

Fuente: SANDOVAL I., J. 2002. Proyecto: Investigación en Riego y Drenaje. Propuesta al Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Guatemala. 25 p.

Como puede verse los costos involucrados en la zona cañera de Guatemala son importantes, por lo cual se han iniciado evaluaciones de sistemas de riego que ofrecen mejores condiciones técnicas y económicas.

3.1.2.4 COSTOS ESTANDARES DE SISTEMAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN INGENIO LA UNION S.A.

La evaluación del costo de la aplicación de riego con los sistemas utilizados en el cultivo de caña, los cuales están constituidos por: costos de inversión, exigencia de mano de obra, gasto de combustible y eficiencias de riego de cada uno de los sistemas puede apreciarse en el cuadro 3. En dicho cuadro se

registra el costo promedio de la aplicación de riego con los sistemas de: gravedad, bombeo gravedad, aspersión y pivote central. Los cuales se encuentran establecidos en Ingenio La Unión S.A.

Los costos de inversión, son valores que incluyen los sistemas de bombeo y obras de infraestructura necesaria para la operación, en tanto que en el sistema de gravedad no se incluyen costos de inversión, debido a que no se efectúan inversiones significativas en equipo.

Los costos de operación incluyen mano de obra, combustibles, depreciación, mantenimiento de la infraestructura y de los equipos de bombeo, reparación de equipos de riego.

El número de riegos promedio que se indican en el cuadro, son los que se aplican anualmente con cada sistema de riego y obedece a las políticas presupuestarias de la empresa. El incremento en la producción que se obtiene, es de 35 toneladas por hectárea, con respecto al área que no se riega, y son datos estadísticos de producción de las fincas de la empresa.

El período de retorno del capital es estimado en términos generales para cada sistema de riego y es el resultado de dividir los beneficios netos entre el valor promedio del costo de inversión de cada uno.

El resultado final del cuadro, indica el costo de aplicar un milímetro de agua con cada uno de los sistemas de riego, del cual se puede observar la conveniencia de utilizar los sistemas de gravedad y bombeo gravedad. Sin embargo por su baja eficiencia en comparación con los sistemas de aspersión, requieren caudales mayores.

En tercer lugar de importancia, por su bajo costo se ubica el sistema de pivote central, con el cual la aplicación de un milímetro de agua es un 56% menor al sistema de aspersión móvil.

CUADRO 3: RESUMEN DE COSTOS ESTÁNDARES DE SISTEMAS DE RIEGO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	GRAVEDAD	BOMBEO GRAVEDAD	ASPERSION MOVIL	PIVOTE CENTRAL
Valor de la inversión del proyecto	USD	-	25,000	38,000	54,355
Caudal promedio de un sistema de riego	Litros por segundo	280	280	50	69
Area promedio de un sistema de riego	Ha	93	93	98	87
Costo de depreciación	USD/Ha-riego	-	5.04	8.48	1.50
Costos de operación	USD/Ha-riego	20.81	37.73	35.97	4.02
Costo total de un riego	USD/Ha-riego	20.81	42.77	44.45	5.52
No. De riegos por año		6	6	6	35

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	GRAVEDAD	BOMBEO GRAVEDAD	ASPERSION MOVIL	PIVOTE CENTRAL
Costo total de riego	USD/Ha-año	124.86	256.62	266.7	193.22
Precio comercial de caña de azúcar	USD/Tn	8.81	8.81	8.81	8.81
Incremento de la producción por efecto del riego. *	Tn/Ha	35	35	35	55
Costo marginal	USD/Tn incrementada	3.57	7.33	7.62	3.506
Periodo de retorno del capital	Años	-	6	9	2.5
Frecuencia de riego	Días	20	20	18-20	Según Balance Hídrico
Lámina bruta de riego Lamina neta de riego	MM/riego	125 75	125 75	67 47	13 11
Costo unitario de la lámina bruta aplicada	USD/MM	0.17	0.34	0.95	0.42

Nota:

* *Datos estadísticos de cinco años de producción de Ingenio La Unión en áreas con riego en finca Monte Alegre, (cuadro 31 A del apéndice).*

Fuente: INGENIO LA UNION S.A. 2003. Informe de gestión del Departamento de Ingeniería agrícola 2002-2003, Escuintla, Guatemala. 10 p

Una razón importante por la que se implementaron sistemas de aspersión en Ingenio La Unión S.A., es que las fuentes de agua superficial se han agotado, y se ha intensificado el aprovechamiento del acuífero libre superficial por medio de la utilización de pozas, las cuales en promedio producen un caudal sostenido que de 600 hasta 800 galones por minuto, los que son utilizados para el diseño de los módulos de riego por aspersión móvil que irrigan desde 80 hasta 100 hectáreas.

Otra ventaja de los sistemas de aspersión móvil es la facilidad de trasladarlos hacia otras fincas ó áreas donde sea requerido, esto brinda la opción de irrigar fincas arrendadas, o bien áreas de siembras durante el verano.

3.1.3 SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

El sistema por aspersión consiste en la aplicación de agua a semejanza de la lluvia natural; con la finalidad de evitar escorrentía el agua debe ser aplicada a una intensidad tal que no supere la infiltración mínima o básica del suelo. Además de lo anterior, la disposición de los rociadores debe hacerse de manera que pueda lograrse una buena distribución del agua aplicada. (10)

El sistema de riego de aspersión es una de los más versátiles, existen desde los sistemas más sencillos de baja presión y manuales, hasta los más complicados de alta presión y totalmente automáticos como el pivote central (10).

El sistema tiene ciertas ventajas y desventajas, las cuales se describen a continuación (9).

A) VENTAJAS DEL SISTEMA POR ASPERSIÓN

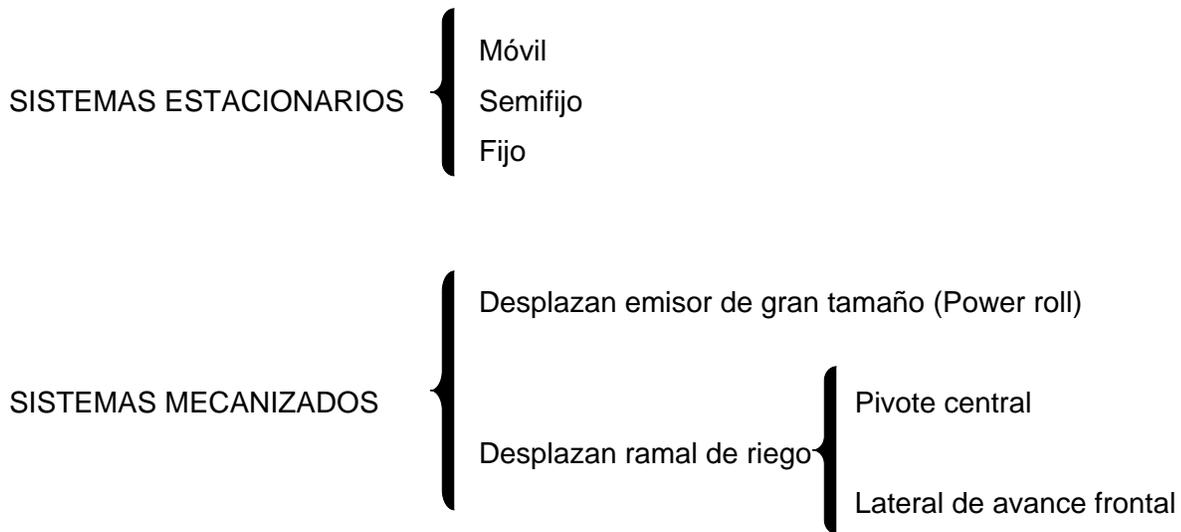
- Factibilidad de regar tierras que por sus características topográficas no pueden ser irrigadas con riego por superficie.
- No se requiere de nivelación de tierras.
- Puede prevenirse la escorrentía y consecuentemente la erosión.
- Mayor eficiencia en el uso del agua con relación a métodos de riego por superficie
- Pueden aprovecharse pequeños caudales de agua.
- Ahorro de mano de obra en el caso del pivote central.
- Mejor aplicación de fertilizantes.
- Mejor control de la humedad del suelo.
- Posibilidad de trasladar el equipo al dejar de utilizar la tierra.
- Se requiere menor tiempo para la implementación.

B) DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

- El costo de inversión inicial es alto.
- Alto requerimiento de energía, siendo mayor en el sistema de aspersión móvil que en el pivote central.
- Surgen inconvenientes al no disponer de un caudal continuo.
- La movilización del equipo en suelos saturados de agua es problemático.
- La distribución y eficiencia de aplicación se ve afectada por el viento.
- Requiere de mejores características y calidad química del agua, con relación a sistemas de riego por superficie.

3.1.3.1 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE ASPERSION

Los sistemas de riego por aspersión, se incluyen dentro de la clasificación de los sistemas a presión, y se subdividen de la siguiente manera:



Fuente: (web.eead.csic.es/oficinaregante/riego/a3/riego3.html)

El riego de aspersión móvil se encuentra dentro de la categoría de sistemas estacionarios y el pivote central en los mecanizados, lo cual hace referencia a la demanda de mano de obra para su operación.

3.1.3.2 SISTEMA DE RIEGO DE ASPERSION MOVIL

En este tipo de equipos, tanto la línea principal y líneas laterales, así como aspersores y planta de bombeo son portátiles (25).

El diseño de equipos de riego por aspersión totalmente portátiles, se hace con el objetivo de que una vez terminado el riego en la primera posición se cierra el paso del agua y las líneas laterales se desplazan a la segunda posición. Terminado el riego de todo el terreno, las tuberías así como la planta de bombeo pueden ser desplazadas a otra parcela, repitiéndose el procedimiento hasta regar toda la superficie, de ésta manera se hace un uso eficiente del equipo y esto trae como consecuencia que sea fácilmente amortizable (25).

Sin embargo, éste equipo tiene las mayores exigencias de mano de obra, deberá diseñarse de tal manera que pueda satisfacer la demanda de agua del período de mayor intensidad en la temporada de riego (25).

El sistema de aspersión móvil se compone de las partes que a continuación se detallan (22):

A. UNIDAD DE BOMBEO

El equipo de bombeo proporciona la presión necesaria para poder asperjar el agua en el terreno. Las instalaciones pueden ser fijas o móviles, la elección del tipo de bomba depende de la forma en que se capta el agua (pozo, río, embalse) del caudal y de la presión requerida. La elección del sistema de accionamiento de la bomba, motor eléctrico o combustión interna, depende lógicamente de la disponibilidad de energía eléctrica del lugar. La electricidad tiene las ventajas de menos costo de mantenimiento y equipos más económicos.

B. TUBERÍA PRINCIPAL

Sirve para transportar el agua a presión desde el lugar de bombeo hasta la parcela donde cumple la función de alimentar a las líneas laterales. Son tuberías desmontables, generalmente éstas son las de mayor diámetro del sistema. Son comunes materiales de PVC y aluminio. La más difundida en los sistemas de aspersión móvil en caña de azúcar, es de aluminio.

C. TUBERÍA LATERAL

Son generalmente de diámetros menores que las principales, sobre ellas están colocados los elevadores que sostienen a los aspersores, éstas son completamente desmontables.

D. ASPERSORES O ROCIADORES

El agua bombeada y conducida por los elementos de riego que se han descrito, es lanzada a la atmósfera en forma de gotas por los aspersores. Los aspersores pueden ser fijos o rotativos, los primeros son usados generalmente en jardines y en micro aspersión para árboles frutales y son los más utilizados en la agricultura, existiendo una gran variedad de ellos.

3.1.3.3 SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL

Son máquinas autopropulsadas de riego por aspersión, son diseñadas para regar campos circulares hasta superficies de 100 hectáreas (10).

Generalmente se alimentan de una fuente de agua que se encuentra en el centro del campo y el agua se traslada hacia un lateral rotatorio. La línea lateral está suspendida sobre el área cultivada por intermedio de estructuras metálicas en forma de "A" y espaciadas de 30 a 60 metros (9). A las estructuras en forma de "A" se les denomina torres, a la estructura intermedia entre dos torres se le conoce como tramo.

Toda la estructura del pivote, es construida de hierro galvanizado, las partes importantes son: la base del pivote, conocida también como punto pivote, los tramos, las torres y en la parte final se encuentra un tramo suspendido por cables tensores, al cual se le denomina voladizo. En algunos casos

el pivote consta de un cañón final o aspersor en el extremo del voladizo, cuyo objetivo es cubrir más área de riego.

Cada torre está equipada con dos ruedas propulsadas por motores eléctricos, los cuales se abastecen de energía producida por un generador eléctrico, el que se ubica en la parte central del pivote, o bien puede ser de una línea del tendido eléctrico.

La energía se conduce por un cable de 11 líneas, el cual sale desde el generador, pasando por un anillo colector que convierte el flujo vertical de corriente a flujo horizontal. El cable se conecta a un interruptor eléctrico, posicionado uno sobre cada torre, el cual permite que fluya energía al motor de la respectiva torre y éstos a su vez generan un movimiento rotativo que se conduce hacia cajas de engranajes por medio de transmisiones. Cada caja de engranajes está conectada a uno de los neumáticos o ruedas de las torres, de esa forma se genera el desplazamiento del pivote.

Un sistema de guías controla el movimiento de las torres, con la finalidad de que éstas se muevan a una velocidad que las mantenga alineadas con la unidad central. La última estructura es la que realiza el mayor recorrido y su velocidad controla la velocidad de todo el sistema (10).

Sobre el lateral existen una serie de salidas para cada uno de los aspersores o emisores, los cuales trabajan en un rango de presión de: 20 hasta 150 psi, así un pivote central puede trabajar con un caudal que va desde 198 a 1,200 galones por minuto (25).

3.1.3.4 COMPARACION ENTRE LOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DE ASPERSION MOVIL Y PIVOTE CENTRAL

Con la descripción de los sistemas de riego, se puede hacer una breve comparación de sus componentes, tal como se indica en el cuadro 4:

CUADRO 4: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DE PIVOTE CENTRAL Y ASPERSION MOVIL

COMPONENTE	ASPERSION MOVIL	PIVOTE CENTRAL
Fuente de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser fuente de agua superficial o subterránea. • No se requieren condiciones especiales de las características químicas. • Puede utilizarse agua con cierto contenido de sedimentos gruesos como arenas y restos de vegetales de hasta 2 cm. De diámetro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser fuente de agua superficial o subterránea. • No se requieren condiciones especiales de las características químicas del agua. • Puede utilizarse agua con cierto contenido de sedimentos gruesos como arenas de hasta 2.5 mm. De diámetro. • Requiere de un sistema de filtrado en la fuente de agua, no debe dejar pasar partículas mayores a 2.5 mm de diámetro.
Fuente de Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Motor diesel o energía eléctrica. • Puede demandar desde 98 caballos de fuerza mayor potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Motor diesel o energía eléctrica. • El sistema demanda menor potencia.
Sistema de distribución de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Constituido por tuberías principales y laterales de PVC y/o aluminio, pueden ser permanentes, móviles o semifijos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Constituido por un solo tubo lateral de hierro galvanizado. Es permanente a menos que el pivote completo se traslade a otra área.
Movilización del equipo	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de ser móvil o Semifijo, se necesita personal para movilizar aspersores y tuberías. En caso de ser fijo, no se requiere movilizarlo. 	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema es mecanizado, se moviliza en su propia estructura, la cual tiene unidades motrices accionadas con energía eléctrica, que hacen girar las ruedas.
Rociadores	<ul style="list-style-type: none"> • En caña de azúcar se utilizan aspersores tipo cañón que operan a una presión de 60 a 70 psi., descargan 200 gal/min cada uno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los rociadores que se utilizan trabajan entre 10 y 20 psi. Con caudales que van desde 0.5 hasta 11 gal/min cada uno.

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL AREA DE EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Los sistemas de riego de pivote central y aspersión móvil evaluados se localizan en la finca Monte Alegre del municipio de La Gomera, Escuintla, es propiedad de Ingenio La Unión S.A. y se encuentra en

las coordenadas 14°05'03" Latitud Norte y 91°02'55" Longitud Oeste a una altura de 35 metros sobre el nivel del mar. (6)

La finca Monte Alegre se encuentra localizada en la división fisiográfica del litoral pacífico con un relieve semiplano y que limita al sur con el Océano Pacífico, y está ubicada en la cuenca del Río Maria Linda (18). Como puede verse en la figura 2.

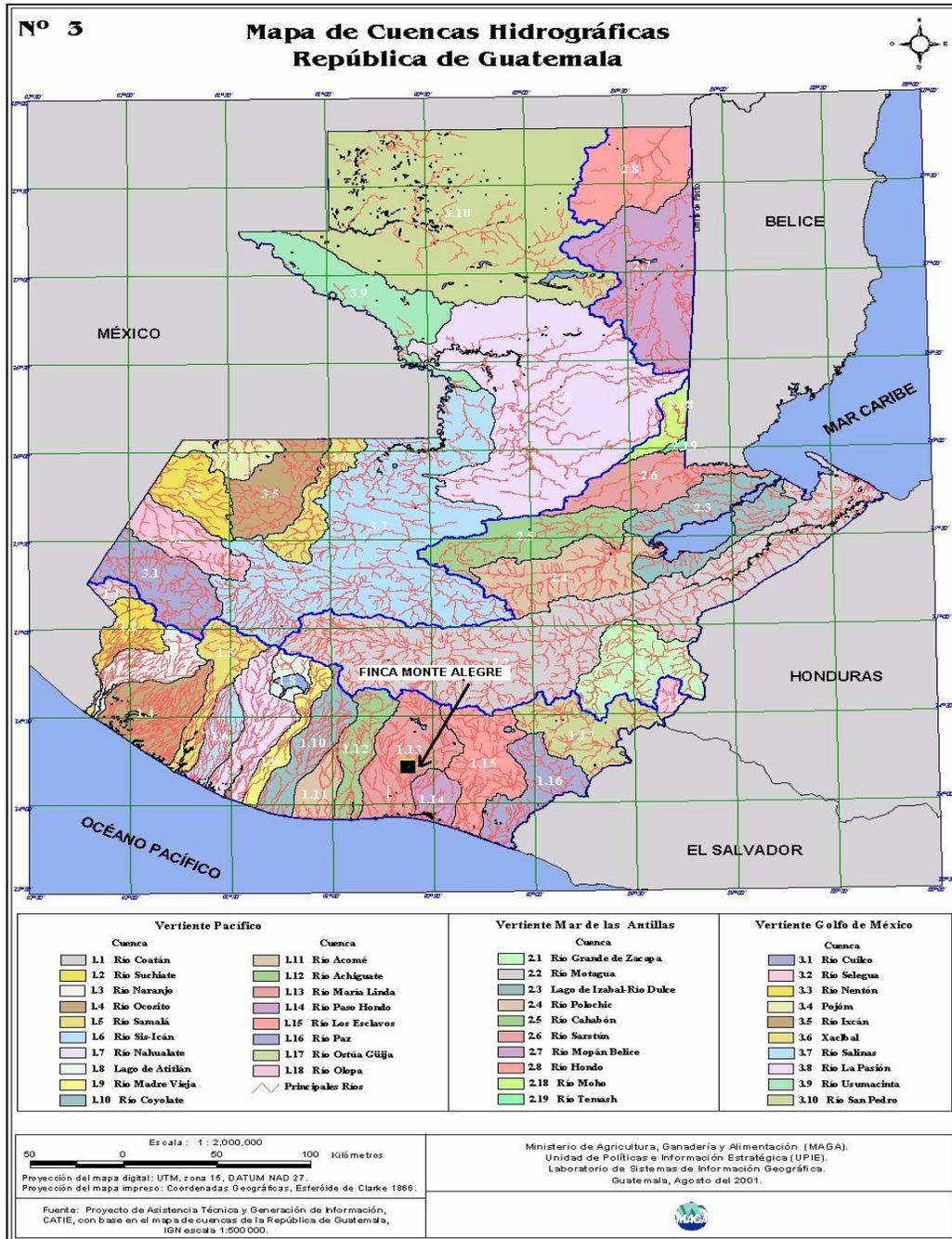


FIGURA 2: Mapa de cuencas hidrográficas, Republica de Guatemala

3.2.2 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA FINCA

La finca Monte Alegre colinda al Norte con la finca El Pique, al sur con la finca Lourdes y el río Acomé, al este con la aldea El Terrero y finca Anaité y al oeste con la finca Montevideo y el río Acomé, actualmente se cultiva caña de azúcar en 1,531.55 hectáreas que es la totalidad de su extensión, de las cuales cuentan con sistemas de riego 1,441.56 hectáreas (94%) divididas de la siguiente forma: con riego por aspersión 1,049.20 ha. (68% del área de la finca), 305.36 ha. Con bombeo gravedad que equivale al 20% del área cultivada y 87 ha. Del proyecto piloto de pivote central que equivalente a un 6% del área (21). El detalle de las colindancias y el área con riego con los diferentes métodos descritos pueden apreciarse en el anexo 3.

3.2.3 CLIMA

El área de la finca Monte Alegre pertenece al clima Cálido, sin estación fría bien definida, húmedo y con invierno seco, según el mapa climatológico y se clasifica con las siguiente identificación: **A'a'Bi**. (23).

3.2.4 TEMPERATURA

La temperatura media anual oscila entre 23 y 25 grados centígrados con una mínima de 16 °C y una máxima de 37 °C en los meses de marzo y abril (5). Lo anterior puede verse en la figura 3, que indica las Isolíneas de temperatura.

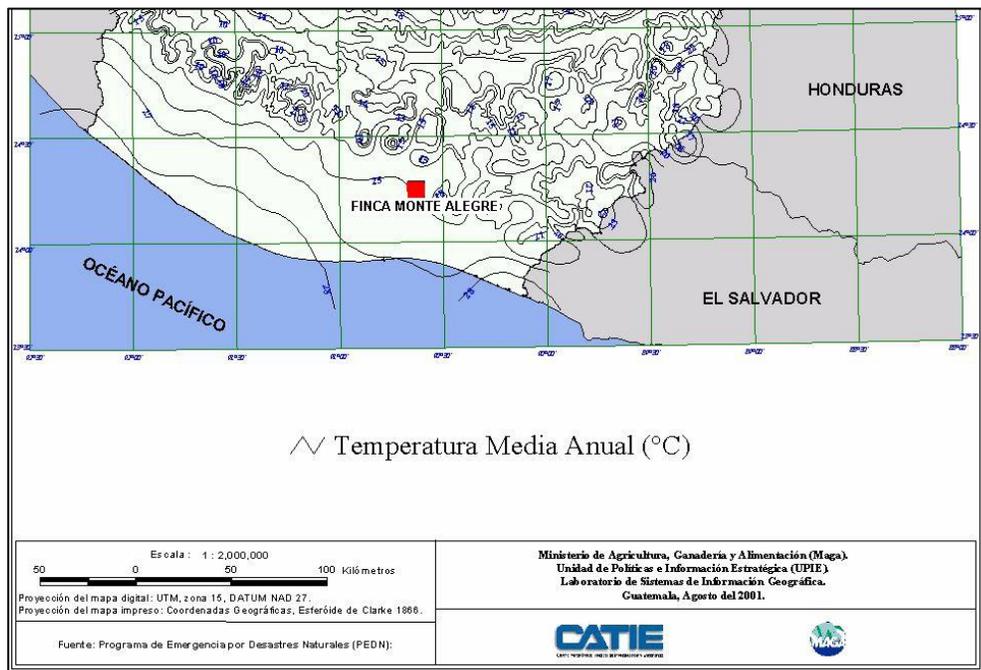


Figura 3: Isolíneas de temperatura media anual.

3.2.5 PRECIPITACIÓN PLUVIAL

La precipitación pluvial ocurre generalmente desde los meses de mayo a octubre, y en promedio anual llueven alrededor de 1,600 a 2,000 milímetros, lo cual puede observarse en la figura 4 que indica las Isolíneas de precipitación anual.

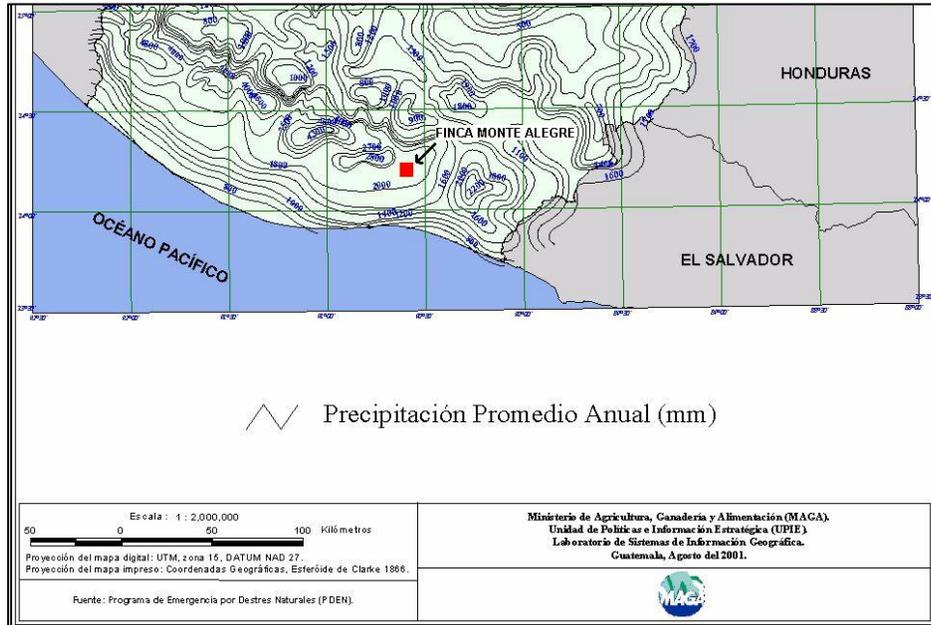
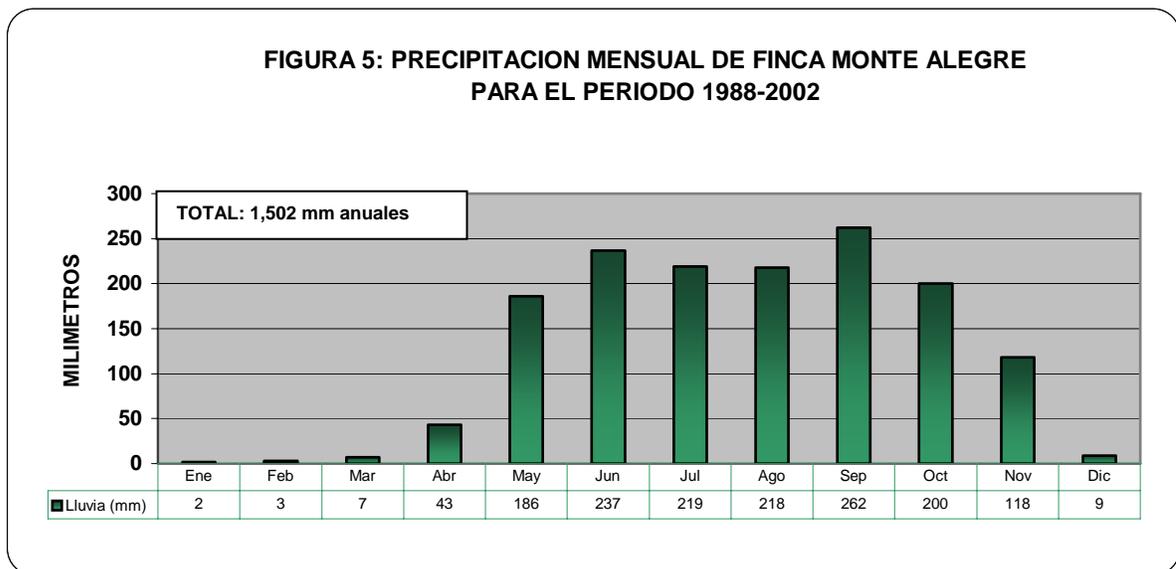


Figura 4: Isolíneas de precipitación promedio anual.

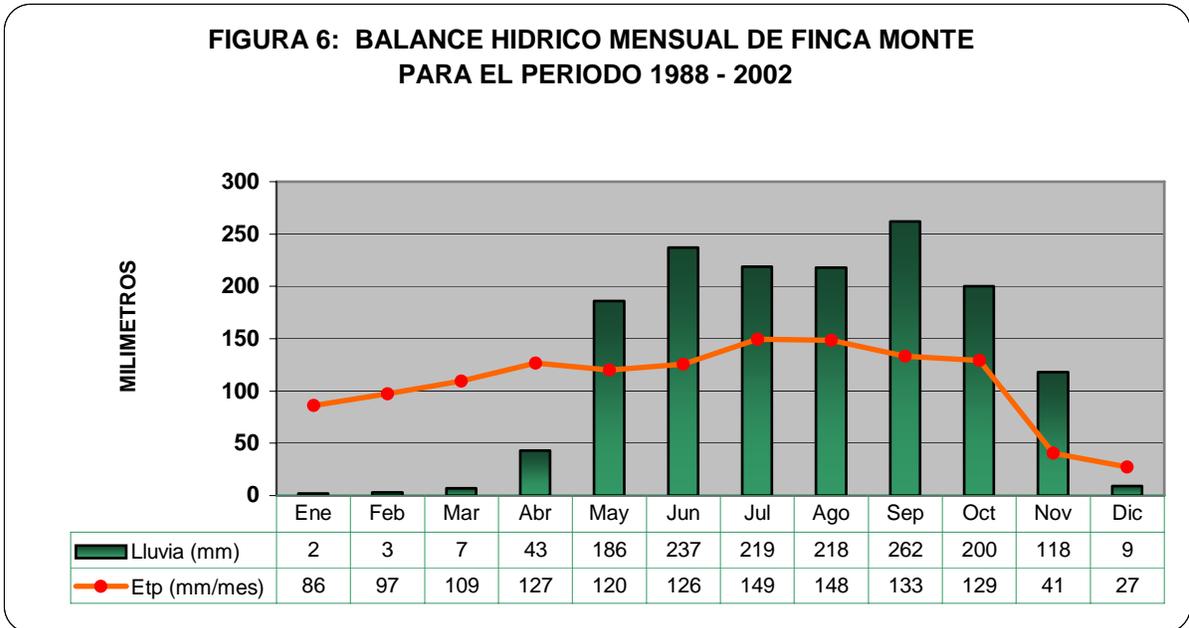
El régimen de lluvias mensual es característico de la zona baja de la zona cañera guatemalteca (10 – 35 msnm). El régimen mensual de lluvia para la finca Monte Alegre puede apreciarse en la figura 5.



Fuente: Datos meteorológicos registrados durante 15 años de fincas de Ingenio La Unión S.A. Departamento de Investigación, Área Agrícola.

3.2.6 BALANCE HÍDRICO

En los meses de diciembre a abril ocurre un déficit hídrico debido a la no ocurrencia de lluvias, durante este período se supe de agua al cultivo por medio de la aplicación de riego. En la figura 6 se grafican: a) la evapotranspiración potencial mensual; b) precipitación promedio mensual. La evapotranspiración potencial, equivale al producto del valor de la evaporación multiplicado por un Kp de 0.8.



*Fuente: Datos metereológicos registrados durante 15 años de fincas de Ingenio La Unión S.A. Departamento de Investigación, Área Agrícola. (Etp = Ev mm/dia * Kp = 0.8) La evaporación es medida en un tanque tipo A.*

3.2.7 ZONA DE VIDA

Según el sistema de clasificación de R. L. Holdridge el área se encuentra en la zona de vida bosque muy húmedo subtropical cálido bmh-S(c) (20), el cual puede observarse en la figura 7, en la cual se indican las zonas de vida del litoral del pacífico.

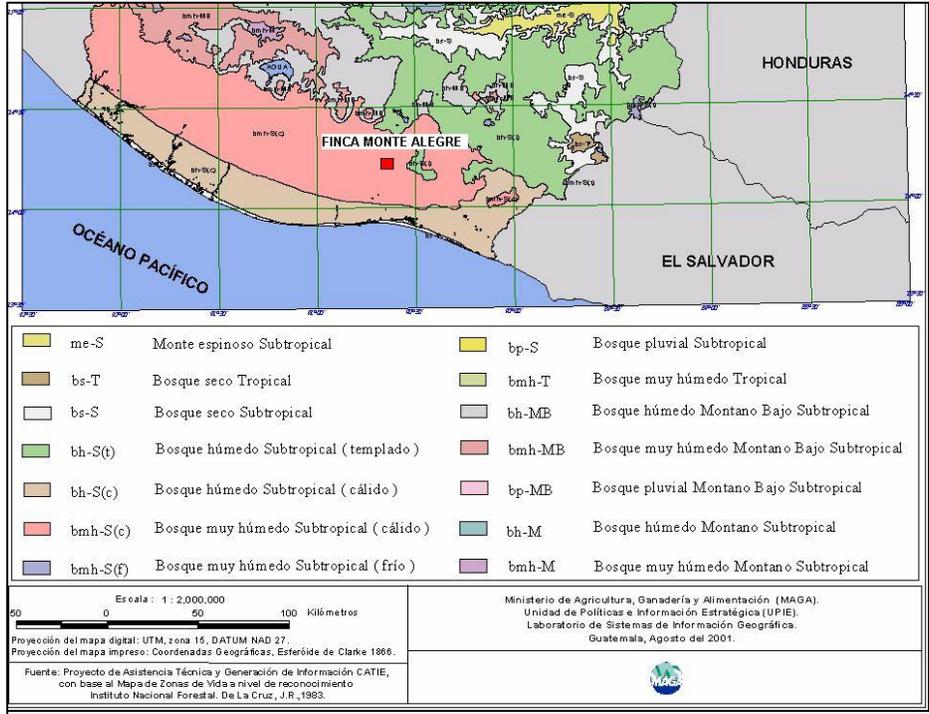


FIGURA 7: Zonas de vida de Holdridge

3.2.8 GEOMORFOLOGÍA

Los suelos han evolucionado a partir de sedimentos aluviales de origen volcánico, en la cual predominan arenas de diferentes granulometrías, además de la presencia de lentes de gravillas. Los materiales han sido sedimentados intermitentemente y con dinámica fluvial diferente, se pueden encontrar horizontes A que fueron sepultados anteriormente (4).

En el proceso sedimentario que conformó el piso de la finca Monte Alegre participaron actividades de los volcanes de Fuego y Acatenango, situados a más de 30 kilómetros al norte de la finca. En las faldas del volcán de fuego nacen los ríos Agüero y Acomé que se unen a la altura de la finca en una sola corriente que forma su lindero al oeste (1). La ubicación de la finca sobre la zona geológica puede apreciarse en la figura 8.

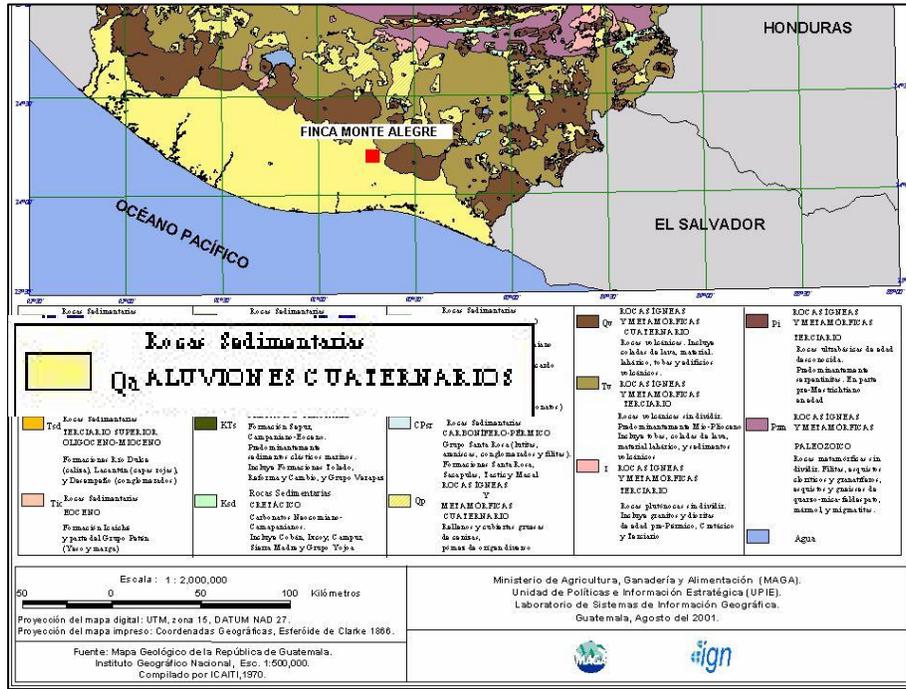


FIGURA 8: Mapa Geológico de la república de Guatemala

3.2.9 SUELO

Los suelos de la finca Monte Alegre pertenecen a la consociación Pacífico (PD), conjunto pacífico (Fluventic Hapludolls Franca Gruesa), suelos que se ubican en la parte media de los abanicos aluviales que conforman las llanuras costeras (4) y formados a partir del proceso de deposición de aluviones descrito en el inciso anterior.

Los suelos son profundos y moderadamente profundos, limitados por zonas de nivel freático, con buen drenaje natural, y la capacidad de retención de humedad es baja, lo cual se refleja en los análisis físico de suelos realizados a suelos de Monte Alegre, donde la máxima retención de agua a 60 centímetros de profundidad es de 50 milímetros.

El perfil característico de estos suelos es de tipo AC y en algunos sitios se identifica la presencia de un horizonte B incipiente; este puede apreciarse en la figura 9. La parte superior del perfil corresponde a un epipedón mólico y se presenta en dos horizontes, Ap disturbado por las labores de mecanización agrícola y un horizonte A que sumados alcanzan los 40 centímetros de profundidad.

Las características físicas del suelo se pueden resumir así: Color negro a gris muy oscuro, moderadamente estructurado y de consistencia friable, el horizonte B, cuando existe, corresponde a un cámbrico o B de alteración, presenta estructura débilmente desarrollada y alguna evolución de colores por la alteración de estructura débilmente desarrollada y alguna evolución de colores por la alteración de los materiales originales; el horizonte C se presenta en una sucesión de 3 o 4 capas arenosas, de colores pardo y gris oscuro, sin estructura y de límite claro a abrupto (4)

Los suelos son aptos para la mayoría de cultivos de la región, debido a su alto contenido de arena no se recomienda sembrar cultivos que necesiten anclarse pues el suelo no ofrece un buen medio para el soportar el anclaje amplio de especies arbóreas, en éste tipo de suelos no es necesario efectuar labores de preparación de suelos muy intensas (4). En general para la siembra de caña de azúcar se realiza un paso de rastro arado en suelos con un horizonte A no menor de 30 centímetros, de lo contrario se realiza un paso o dos de rastra pulidora con discos de 60 centímetros de diámetro y el surcado se realiza a una profundidad no mayor de 20 centímetros.

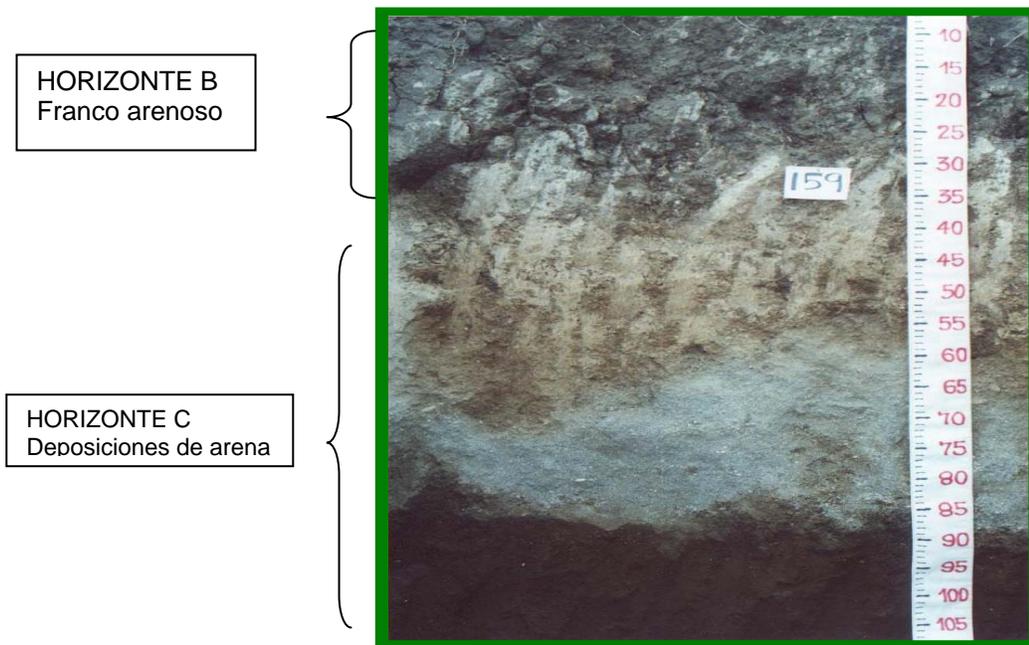


FIGURA 9: Perfil característico del suelo de finca Monte Alegre.

3.2.10 RECARGA HÍDRICA

Como puede apreciarse en la figura 10, Monte Alegre está ubicada en una zona clasificada como categoría “**zona de recarga 1**”, en la cual ocurren precipitaciones entre 1,000 y 2,000 milímetros anuales sobre sedimentos piro clásticos y aluviones (19). Esta característica favorece la certidumbre de disponibilidad de agua superficial, subterránea del acuífero profundo a más de 40 metros y la contenida en el acuífero libre superficial entre 5 y 10 metros, que se aprovecha actualmente con fines de riego, por medio de la construcción de cuerpos de captación y almacenamiento denominados pozas, las cuales se describen con más detalle en el siguiente inciso.

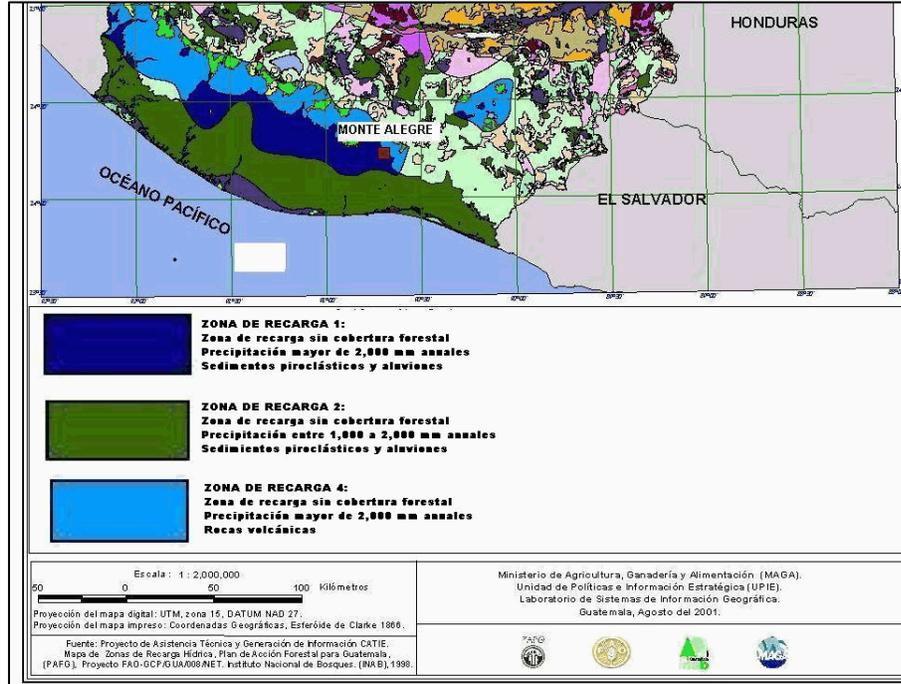


FIGURA 10: Mapa de recarga hídrica modificado de la república de Guatemala.

3.2.11 APROVECHAMIENTO DEL ACUÍFERO LIBRE SUPERFICIAL EN LA FINCA MONTE ALEGRE

Actualmente se aprovecha el acuífero libre superficial, por medio de la construcción de pozas de 20 por 100 metros, una de las cuales puede apreciarse en la figura 13. De éstos cuerpos se extraen continuamente alrededor de 800 galones por minuto (50 litros por segundo) de agua para riego, con este tipo de aprovechamiento se irrigan 1,049 hectáreas de la finca Monte Alegre, (68% del área total) utilizando para ello, equipos de aspersión móvil. Este sistema se utiliza de manera similar para regar otras 1,429 hectáreas en otras fincas de la empresa.

Debido a la importancia del aprovechamiento del acuífero libre superficial en la finca Monte Alegre y en otras áreas de la empresa, en los incisos siguientes se describen pormenores de las estructuras que se construyen para dicho aprovechamiento, así como de la cantidad y calidad de agua que producen. Las pozas se han construido lugares estratégicos para la ubicación y diseño económico de equipos de aspersión portátil. La poza se ubica al centro del área que riega cada equipo, con la finalidad de diseñar el equipo de aspersión móvil con la mínima cantidad de tubería. En la finca Monte Alegre, no se ha realizado ningún estudio del acuífero libre superficial, con el fin de determinar las zonas de mayor potencial acuífero, así como para determinar las dimensiones óptimas que garanticen una producción de caudal adecuado de manera sostenida.

Durante los años 1995 – 1998, se realizó un estudio freaticométrico en la finca Churubusco, localizada en el municipio de la Gomera, Escuintla. El objetivo fue conocer las características principales del acuífero, tales como: profundidad de los niveles freáticos y su variación a lo largo del año, dirección del flujo, comportamiento de los niveles freáticos cuando se extrae agua del acuífero y distanciamiento entre puntos de extracción que aseguren la no interferencia de los mismos. (3)

Los resultados del estudio en mención son: Para una extracción de 35.7 lps (566 gpm) durante un período de 72 horas, el acuífero tiene una capacidad específica de 37.2%, por lo cual en el trabajo es calificado como uno de los acuíferos con mayor capacidad específica de los acuíferos estudiados en el mundo. Otro resultado importante es que el acuífero es de tipo libre y recuperación cíclica, por el abatimiento causado en la época seca, se recupera en la época de lluvias; el movimiento general del acuífero es de Norte a Sur; el acuífero es capaz de proveer 371 mm de lámina aprovechable por metro de abatimiento; se determinó un abatimiento de 3 metros durante la toda la época seca, el cual se recupera en el período de lluvias siguiente. (3)

3.2.11.1 CAUDAL Y CALIDAD DEL AGUA DE UNA POZA

Durante la temporada de riego en la finca Monte Alegre, la que inicia en el mes de diciembre y finaliza en el mes de mayo, se extrae de cada poza un caudal de 50 litros por segundo (800 galones por minuto), este obedece a que todos los equipos de aspersión móvil, han sido diseñados para operar con éste caudal.

Durante el bombeo, ocurre el máximo abatimiento del nivel freático de las pozas, éste disminuye en 2.00 metros, con respecto al nivel inicial, por lo cual se ubica a 4.5 metros de profundidad desde el terreno natural de la finca. Este comportamiento indica que por cada metro que se abate el nivel freático, se producen 25 litros por segundo.

Durante el periodo de estiaje, se registra un descenso en todas las pozas de la finca, este ocurre en los meses de marzo y abril, por lo cual, las bombas se movilizan hacia la parte interna e inferior de la poza, con la finalidad de mantener la carga estática de succión de la bomba en niveles adecuados, este no debe ser mayor a 4.8 metros. La curva de desempeño de la bomba de los equipos de aspersión móvil puede apreciarse en el apéndice, figura 26 A.

Durante el año 2,003, se realizó un monitoreo del las pozas de la finca Monte Alegre, cuyos resultados indican que el agua es apta para utilizarse con fines de riego. La conductividad eléctrica es de 0.28 ds/m; la relación de adsorción de Sodio es 0.99; la dureza es de 63.5 ppm de CaCO_3 y la alcalinidad total total es de 120.5 ppm de CaCO_3 ; todos éstos parámetros se encuentran en dentro de rangos normales. El contenido de hierro que se encontró es alto, por lo que puede causar la formación de hidróxidos de hierro insolubles, lo que limita su uso en sistemas de riego por goteo, para lo cual debe darse un adecuado tratamiento. El agua se clasifica como C1S1 en el diagrama para la clasificación de las aguas para riego en el manual 60 de la Universidad de Riverside.

La clasificación C1, indica que el agua puede usarse para riego en la mayoría de cultivos, en cualquier tipo de suelo con poca probabilidad que desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero éste se logra en condiciones normales de riego. La clasificación S1, indica que el agua es baja en sodio, puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable (25). El resultado detallado del análisis químico puede verse en el cuadro 32 A , del apéndice.

3.2.11.2 ORIENTACION Y DIMENSIONES DE LAS POZAS

En la empresa se ha normado que la orientación de la parte longitudinal de las pozas es de Este a Oeste, con la idea de interceptar el flujo del acuífero libre superficial, que se ha asociado con la pendiente natural de la finca, el cual se orienta de Norte a Sur. Lo cual ha sido confirmado con el estudio citado anteriormente.

Las dimensiones de construcción son: 100 metros de longitud y 20 metros de ancho, que luego de la construcción se obtiene un espejo aproximado de 90 metros de largo por 10 metros de ancho y una profundidad total de 7 metros, aunque términos generales, el tirante del agua captada y almacenada dentro de la poza es de 4.5 metros y durante el bombeo se reduce a 2.5 metros. En el apéndice puede apreciarse el detalle de las dimensiones de una poza típica.

3.2.11.3 CONSTRUCCIÓN DE UNA POZA

La construcción de una poza se realiza con el uso excavadoras y tractores de oruga con buldózer, el primer paso consiste en marcar el área de excavación (100 m X 20 m) como se indicó anteriormente, posteriormente se inicia una excavación homogénea sobre toda el área destinada para la poza, hasta localizar el nivel freático, lo cual puede ser ente 1.75 y 2.25 metros, lo cual puede variar dependiendo de la ubicación y del potencial del acuífero libre. Dicho procedimiento puede apreciarse en la figura 11.

Posteriormente se inicia una excavación en la parte media de la poza, sobre toda su longitud, esta se realiza a la profundidad total a la que se proyecta construir la poza, generalmente es de 7 metros. Por último se realiza la excavación en los extremos norte y sur de la poza, durante lo cual se confeccionan las plataformas para limpieza, en la cual circularán excavadoras o tractores de oruga posteriormente.

El material de producto de la excavación, se deposita a los costados longitudinales de la poza. El procedimiento de la profundización total de la poza puede apreciarse en la figura 12 y una poza concluida en la figura 13.

En algunos casos en necesario utilizar bombas de caudal, con fines de achicar la poza para extraer el agua durante la excavación, la cual es de 2,500 galones por minuto, extrae el agua por un período de que oscila entre 6 y 8 horas, luego del cual la maquinaria puede continuar con la excavación.

Generalmente nunca se realizan pruebas de bombeo a una poza, sin embargo su funcionalidad se evalúa al momento de iniciar la extracción continua del agua con el equipo de riego de aspersión móvil.



Figura 11: Excavación inicial en una poza



Figura 12: Continuación de la Excavación de una poza



FIGURA 13: Aprovechamiento del acuífero libre superficial por medio de una poza, Finca Monte Alegre, La Gomera, Escuintla, 2,003.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar técnica y económicamente la inversión en equipos de riego de aspersión portátil y sistemas de riego de pivote central en el cultivo de caña de azúcar.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Comparar el costo por hectárea de riego con sistemas de riego de aspersión móvil y pivote central fijo de segundo uso.

Analizar el efecto de las características técnicas de diseño y operación de los sistemas de riego sistemas de riego de aspersión móvil y pivote central en la producción de caña de azúcar.

Evaluar comparativamente los indicadores económicos y financieros de los sistemas de riego de aspersión móvil y pivote central.

5. METODOLOGÍA

5.1 ASPECTOS AGRONOMICOS

En los siguientes incisos se desarrolla la descripción de las condiciones en que operan los sistemas de riego de aspersión móvil y pivote central que han sido evaluados. Inicialmente se calculan: Láminas bruta y neta de riego, frecuencias de riego, días de operación anual de los sistemas de riego, número de riegos por año a aplicar al cultivo y por último algunos rendimientos de ambos sistemas los cuales se expresan en hectáreas de riego por hora de operación.

El caudal para cada sistema de riego se determina por la disponibilidad del mismo para cada uno de los sistemas dentro del área piloto, siendo éste constante durante todo el ciclo de riego, al igual que el área de cobertura para cada uno.

Con las variables mencionadas anteriormente se procede a realizar el diseño hidráulico de cada uno de los sistemas de riego y la descripción de cada uno de sus componentes.

5.1.1 REQUERIMIENTO DE RIEGO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

El requerimiento y número de riegos a efectuar con cada uno de los sistemas evaluados, se programó en función del balance hídrico, el cual se calculó con las siguientes variables: edad del cultivo, evapotranspiración potencial de la zona, evapotranspiración máxima del cultivo y precipitación pluvial, el resultado final es el requerimiento de riego por el cultivo expresado en milímetros, el cual puede apreciarse en el siguiente cuadro.

CUADRO 5: BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN FINCA MONTE ALEGRE, PERIODO COMPRENDIDO DE DICIEMBRE DE 2002 A NOVIEMBRE DE 2003.

PERIODO	Duración del período (días)	Fecha		Mes y Evapotranspiración			Coeficiente Kc	Evapotranspiración Máxima (mm)	Lluvia (mm)	Balance Hídrico (mm)
		Inicio	Final	Mes	Días	Etp (mm/día)				
Establecimiento	60	02-Dic-02	31-Ene-03	Diciembre	29	4.6	0.2	27	9	-18
				Enero	31	4.7		29	2	-27
Macollamiento	88	01-Feb-03	30-Abr-03	Febrero	28	5.4	0.6	91	3	-88
				Marzo	31	5.9		109	7	-102
				Abril	30	6.0		109	43	-66
Elongación	152	01-May-03	30-Sep-03	Mayo	31	5.5	0.9	155	186	31
				Junio	30	5.2		142	237	95
				Julio	31	5.4		149	219	70
				Agosto	31	5.5		153	218	65
				Septiembre	30	5.0		134	262	128
Maduración	60	01-Oct-03	30-Nov-03	Octubre	31	4.6	0.2	29	200	171
				Noviembre	30	4.5		27	118	91
Total	360							1,153	1,504	

Referencias:

Etp (mm/día): Evapotranspiración potencial máxima de la zona, determinada por la fórmula de Hargreaves.

Coeficientes Kc: Coeficiente de cultivo, valores tomados de la figura 1.

Lluvia (mm): Precipitación pluvial registrada en la figura 5 y 6.

Balance Hídrico (mm): Lluvia (mm) – Evapotranspiración máxima (mm)

En el cuadro anterior se determina que los meses de déficit hídrico ocurren en los meses de diciembre a abril, por lo tanto es el período durante el cual se efectúa el riego, el número de riegos necesarios para cubrir dicho déficit se calcula en el cuadro 8, utilizando las variables: milímetros de déficit hídrico y lámina neta (mm/riego) con cada sistema.

CUADRO 6: NUMERO DE RIEGOS REQUERIDOS PARA CUBRIR EL DÉFICIT HÍDRICO CON LOS SISTEMAS DE PIVOTE CENTRAL Y ASPERSIÓN MOVIL.

PARAMETROS DE OPERACIÓN	Sistema de riego	
	Pivote Central	Aspersión Móvil
Lámina a reponer con riego (mm) de dic/02 a abr/03	301	301
Lámina neta (mm/riego)	11	47
Número de riegos requeridos	28	6

De donde:

$$\text{Número de riegos requeridos} = \frac{\text{Lámina a reponer con riego (mm)}}{\text{Lámina neta (mm/riego) (ver cuadro 8)}}$$

El cuadro anterior indica el número de riegos que deben dotarse al cultivo de caña de azúcar con cada sistema, sin embargo no permite definir con exactitud un calendario de riego, por lo que en la finca se registra el balance hídrico diario ocurrido a partir de las variables siguientes: Lámina de humedad aprovechable en el suelo (LHA), evaporación diaria del tanque tipo "A" y edad del cultivo para utilizar diferentes valores de coeficiente de cultivo (Kc). El desarrollo de dicho cálculo se desarrolla a continuación.

5.1.2 MANEJO DEL PIVOTE CENTRAL Y EL EQUIPO DE ASPERSION MOVIL EN EL AREA PILOTO

A continuación se determinan las condiciones de operación de los sistemas de riego pilotos evaluados. En la determinación de las condiciones de operación de ambos sistemas se utilizan las fórmulas contenidas en el cuadro 7.

CUADRO 7: FORMULAS DE CALCULO PARA LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO EVALUADOS.

Indicador	Pivote Central	Aspersión
Area de cobertura (Ha)	$\frac{(\text{Longitud del sistema m})^2 \times \pi}{10,000}$	La cantidad de materiales se han diseñado para cubrir un área de 98 hectáreas.
Tiempo de operación por vuelta o día en horas (Top)	Es el tiempo que da una vuelta en función de la velocidad de desplazamiento a la que se programe.	En promedio un equipo de aspersión trabaja 18 horas efectivas en un día.
Lámina bruta de riego (mm/riego)	$\frac{Q(\text{m}^3/\text{hora}) \times \text{Top}/\text{vuelta}(\text{hr}) \times 1000 \text{ mm/m}}{\text{Area del sistema (ha)} \times 10000 \text{ m}^2/\text{ha}}$	$\frac{Q(\text{m}^3/\text{hora}) \times \text{Top}/\text{dia}(\text{hr}) \times 1000 \text{ mm/m}}{\text{Area regada (ha}/\text{dia}) \times 10000 \text{ m}^2/\text{ha}}$
Eficiencia del sistema (%)	Evaluación de campo	Evaluación de campo

Indicador	Pivote Central	Aspersión
Lamina neta de riego (mm/riego)	$\frac{\text{Lámina bruta de riego} \times \text{Ef} (\%)}{100}$	$\frac{\text{Lámina bruta de riego} \times \text{Ef} (\%)}{100}$
Lámina bruta de riego (mm/día)	$\frac{\text{Lamina bruta de riego (mm/riego)}}{\text{F.R. (días)}}$	$\frac{\text{Lamina bruta de riego (mm/riego)}}{\text{F.R. (días)}}$
Lámina neta de riego (mm/día)	$\frac{\text{Lamina neta de riego (mm/riego)}}{\text{F.R. (días)}}$	$\frac{\text{Lamina neta de riego (mm/riego)}}{\text{F.R. (días)}}$
Frecuencia de riego F.R. (días)	$\frac{\text{Top/vuelta (hr)}}{24 \text{ hr/día}}$	Generalmente se asignan 20 días
Días de operación al año – DOA-	Se estiman días hábiles desde noviembre a abril	Se estiman días hábiles desde noviembre a abril
Numero de riegos al año -N.R.-	Ver cuadros 5 y 6	Ver cuadros 5 y 6
Area regada por día	$\frac{\text{Area de cobertura del sistema (ha)}}{\text{F.R.}}$	$\frac{\text{Area de cobertura del sistema (ha)}}{\text{F.R.}}$
Rendimiento del equipo (ha/hr)	$\frac{\text{Area de cobertura del sistema (ha)}}{\text{Top/vuelta (hr)}}$	$\frac{\text{Area regada/día (ha)}}{\text{Top/día (hr)}}$
Rendimiento del equipo (hr/ha)	$\frac{\text{Top/vuelta (hr)}}{\text{Area de cobertura del sistema (ha)}}$	$\frac{\text{Top/día (hr)}}{\text{Area de cobertura del sistema (ha)}}$

Los resultados de los cálculos de las condiciones de operación de los sistemas de riego de aspersión portátil y del pivote central se presentan a continuación.

CUADRO 8: CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DE PIVOTE CENTRAL Y ASPERSIÓN MOVIL

Indicador	Unidad de medida	Pivote Central	Aspersión
Caudal utilizado por un sistema de riego estándar	Galones por minuto	1,100	800
	Litros por segundo	69.39	50.47
	M. cúbicos por hora	249.81	181.68
Longitud del pivote central	Metros	526	-
Área de cobertura del sistema de riego	Hectáreas	87	98
Tiempo de operación: Horas para dar un giro de 360o en el pivote central y horas efectivas por día en el sistema de aspersión	Horas	41	18
Lámina bruta de riego	MM/ un riego	11.8	67
Eficiencia de aplicación del sistema de riego	Porcentaje	90%	70%
Lámina neta de riego	MM/ un riego	10.6	47
Lamina bruta de aplicación	MM/día	6.9	3.3
Lámina neta de aplicación	MM/día	6.2	2.3
Frecuencia de riego:	Días	1.7	20
Días de operación al año	Días	128	128

Indicador	Unidad de medida	Pivote Central	Aspersión
Número de riegos estimados en función del requerimiento hídrico del cultivo (ver cuadro 6)	Riegos	28	6
Lámina neta de aplicación por temporada (ver cuadro 5 y 6)	MM/año	301	301
Area regada por año	Hectáreas	3527	899
Area regada por día	Hectáreas/Día	50.88	4.89
Rendimiento del equipo de riego	Hectáreas/Hora	2.12	0.27
Rendimiento del equipo de riego	Horas/hectárea	0.47	3.68

La lámina neta de riego del pivote es de 6.2 mm/día según diseño, mientras que la de los sistemas de aspersión es de 2.3 mm/día en frecuencia de riego controlada. La lámina que se aplica con el sistema de aspersión es lo que el diseño del sistema permite aplicar, no así el requerimiento real del cultivo. Lo anterior indica que se aplica un 63% lámina de riego con el sistema de aspersión móvil evaluado. La característica importante de la operación del pivote consiste en que éste puede regar toda su área en un término de 41 horas dotando al cultivo de láminas pequeñas con una alta frecuencia, lo que permite mantener el contenido de humedad en el suelo entre capacidad de campo y el déficit permitido de manejo.

Lo anterior no ocurre con los sistemas de aspersión pues por su diseño no pueden tener frecuencias altas, lo que hace que la lámina neta aplicada al suelo en el momento del riego se agote en un 100% y el cultivo en muchas ocasiones al final del ciclo de riego, se encuentre con contenidos de humedad en el suelo cercanos al punto de marchites permanente.

Agotar el contenido de humedad del suelo hasta el déficit permitido de manejo garantiza que el cultivo no tendrá reducciones en su producción, tal es el caso del cultivo regado con pivote central.

5.1.3 DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN MOVIL EVALUADO

El sistema de aspersión móvil evaluado, es un módulo de diseño estándar, el cual está conformado por las siguientes componentes: fuente de agua, sistema de bombeo, tuberías de aluminio para conducción y distribución del agua, aspersores tipo cañón, hidrantes y válvulas de aluminio. Los componentes anteriores, cantidad de materiales y disposición en el campo, pueden apreciarse con detalle en el plano contenido en el apéndice, su desplazamiento en el campo para cubrir un área total con riego de 98 hectáreas puede apreciarse en el apéndice 8.

A continuación se describe con detalle el diseño hidráulico y características de cada una de los componentes del sistema de aspersión móvil evaluado.

A. ROCIADORES O ASPERSORES

En un sistema de aspersión móvil, se utilizan 4 aspersores con las siguientes características: Marca Nelson, serie F-150, los cuales son de círculo completo. Las condiciones de operación de los rociadores son las siguientes:

Caudal:	13 l/s = 205 gpm
Presión de operación:	50 psi = 35 metros de columna de agua.
Diámetro de mojado:	94.5 metros sin condiciones de viento.
Diámetro de boquilla:	1.0 pulgada = 0.0254 metros.

En el cuadro 33 A del apéndice puede observarse la tabla de desempeño y la figura del aspersor utilizado en el sistema de riego de aspersión móvil con las condiciones de operación previamente descritas.

El distanciamiento de los aspersores en el campo es de 45 metros entre laterales y 45 metros entre aspersores, tal y como puede verse en el plano que se presenta en el apéndice. A continuación se calcula la intensidad de riego (IR) con las anteriores condiciones.

$$IR \text{ (mm/hora)} = \frac{Q * 1,000 \text{ mm/m}}{DL * DA}$$

De donde:

IR = Intensidad de riego en milímetros por hora

Q = Caudal del aspersor (m³/hr)

DL = Distancia entre laterales (m)

DA = Distancia entre aspersores (m)

Sustituyendo:

$$IR = \frac{46.5 \text{ (m}^3\text{/hr)} * 1,000 \text{ (mm/m)}}{45 \text{ (m)} * 45 \text{ (m)}} = 23 \text{ mm/hr}$$

Para las condiciones de suelo franco arenosos del área de la finca y del área piloto, se considera una infiltración promedio de 25 mm/hora, por lo cual el valor de la Intensidad de riego es adecuada (25).

B. TUBERÍA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

La bomba impulsa el agua dentro de una tubería principal de conducción que en la mayoría de los casos es de aluminio de 150 ó 200 milímetros de diámetro y 9 metros de longitud, de ésta tubería se extienden laterales de aluminio 150 milímetros de diámetro, equivalente a 6 pulgadas, la longitud de las

tuberías principales y laterales depende de las dimensiones, forma y pendientes topográficas del terreno a irrigar. La disposición de la tubería de conducción y distribución en el campo puede apreciarse en los planos contenidos en el apéndice. La conexión de los tuberías se realiza con la utilización de los acoples de los extremos, los cuales pueden verse en el detalle contenido en el apéndice. La tubería del equipo de aspersión móvil evaluado es marca Wade Rain, fabricada en Estados Unidos. Así mismo se utilizan en el medio otras marcas, por ejemplo: Rain bow, Hastings, Urariego, Taíno y Boss.

Para las condiciones del sistema de riego evaluado se calculan las pérdidas de carga en las tuberías laterales y principales, para lo cual se utilizará la posición crítica, es cuando los aspersores se encuentran a mayor distancia de la unidad de bombeo. El cálculo se efectuará por medio de la fórmula de Hazen-Williams como sigue.

$$HF (m) = 1.131 \times 10^{-9} * (Q/C)^{1.852} * D^{-4.872} * L * F$$

De donde:

HF = pérdida de carga en metros

Q = caudal en la tubería (m³/hr)

C = coeficiente de fricción, para tuberías de aluminio el valor es 130

D = diámetro del tubo (mm)

L = longitud de la tubería en metros

F = factor debido a salidas múltiples, en el caso de tubería lateral (2 salidas, F=0.634)

Sustituyendo para la tubería lateral:

Caudal a utilizar = 410 gpm = 93 m³/hr, en cada lateral

Diámetro de la tubería = 150 mm, 6 pulgadas.

Longitud de tubería = 342 metros

$$HF (m) = 1.131 \times 10^{-9} * (93 \text{ m}^3/\text{hr}/130)^{1.852} * (150 \text{ mm})^{-4.872} * (342 \text{ m}) * 0.634$$

HF (m) = 3.3, equivalente a 4.7 psi

Pérdidas menores (10% HF) = 0.33 m, equivalente a 0.47 psi

Con los datos anteriores se obtiene el valor de la carga requerida a la entrada del lateral, utilizando la siguiente ecuación:

$$H_e (m) = P_o + HF \text{ lateral} + \text{Dif altura} + h_e + h_m$$

De donde:

He (m) = carga requerida a la entrada de la tubería lateral

Po = presión de operación del aspersor en metros (35 metros)

HF lateral = pérdidas de carga en tubería lateral (m)

Dif altura = diferencia de altura entre la entrada del lateral y último aspersor (0.7 m), para una pendiente natural del terreno de 2 metros por mil, pendiente natural de la zona.

he = altura del elevador (m), en este caso se utilizan de 1.00 m.

hm = pérdidas de carga menores en la tubería lateral

$$He (m) = 35 (m) + 3.3 (m) + 0.7 (m) + 1.0 (m) + 0.33 (m)$$

He (m) = 40.33 m, equivalente a 57 psi.

Sustituyendo para la tubería principal:

Caudal a utilizar = 820 gpm = 186 m³/hr,

Diámetro de la tubería = 150 mm, 6 pulgadas.

Longitud de tubería = 504 metros

$$HF (m) = 1.131 \times 10^9 * (186 \text{ m}^3/\text{hr}/130)^{1.852} * (150 \text{ mm})^{-4.872} * (504 \text{ m})$$

HF (m) = 28, equivalente a 39 psi

Pérdidas menores (10% HF) = 2.8 m, equivalente a 4 psi

C. UNIDAD DE BOMBEO

Los sistemas de aspersión móvil están conformados principalmente de una bomba centrífuga accionada por un motor eléctrico o de combustión interna utilizando diesel como combustible, éste último es el más común. Al conjunto de motor y bomba generalmente se le conoce como motobomba. La elección de la bomba y potencia del motor se calcula de la siguiente manera:

Inicialmente se calcula la carga dinámica total (CDT) en metros con la siguiente ecuación:

$$CDT (m) = He + HF \text{ en la principal} + 0.1 HF \text{ en la principal} + Ce$$

De donde:

He = carga requerida a la entrada de la tubería lateral (m)

HF en la principal = pérdidas de carga en la tubería principal (m)

0.1 HF = pérdidas de carga menores en la tubería principal (m)

Ce = carga estática, diferencia de altura entre el nivel del agua en la fuente y el nivel del terreno en la entrada del lateral más alto (m), se asume una diferencia de 1.00 m. Desde la salida de la bomba hasta el lateral más alto y 4.50 m desde el espejo de agua cuando se encuentra en su nivel más bajo (nivel dinámico de una poza), haciendo un total de 5.5 m. (ver plano de una poza en el apéndice).

Sustituyendo:

$$\text{CDT (m)} = 40.33 \text{ (m)} + 28 \text{ (m)} + 0.28 \text{ (m)} + 5.5 \text{ (m)}$$

$$\text{CDT (m)} = 74.11, \text{ equivalente a } 105 \text{ psi y a } 243 \text{ pies}$$

Luego para el cálculo de la potencia para operar la bomba se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{HP} = \frac{Q * \text{CDT}}{76 * E_b}$$

De donde:

Hp = caballos de fuerza requeridos para operar la bomba

CDT = carga dinámica total (m)

Q = caudal del sistema (litros por segundo)

Eb = eficiencia de la bomba (decimales)

Sustituyendo:

$$\text{HP} = \frac{51.7 \text{ (l/s)} * 74.11 \text{ (m)}}{76 * 0.68}$$

$$\text{HP} = 74$$

Si se considera que un motor diesel puede tener una pérdida de un 20% en la transferencia de energía, se puede ajustar el requerimiento de la siguiente manera:

$$\text{HP del motor} = 74 / 0.8 = 92.5 \text{ Hp.}$$

En base a los cálculos anteriores, se utiliza equipo de bombeo con las siguientes características:

Características de la bomba:

Marca: Berkeley

Lugar de fabricación: Estados Unidos

Modelo: B4EYRMBM (ver curva de desempeño en la figura 26 A del apéndice)

Tipo de bomba:	Centrífuga
Diámetro del impulsor:	454 milímetros, equivalente a 17.875 pulgadas
Caudal:	820 galones por minuto, equivalente a 51.7 litros por segundo
Carga dinámica total:	102.13 metros de columna de agua, equivalente a 145 psi.
Revoluciones por minuto:	1,800
Eficiencia de operación:	68%

Características del motor:

Marca:	John Deere
Lugar de fabricación:	Estados Unidos
Modelo:	4045 TF 250 (ver curva de desempeño en la figura 27 A del apéndice)
Tipo de combustible:	Diesel
Potencia:	98 caballos de fuerza (Hp)
Revoluciones por minuto:	1,800

El motor y bomba se acoplan en una sola unidad, la cual es montada sobre un trailer remolcable de un eje, en su estructura está contenido un depósito de combustible de 200 galones de capacidad.

D. VÁLVULAS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

El sistema posee un juego de hidrantes y válvulas de aluminio que permiten la movilización de los aspersores de una posición a otra sin apagar la unidad de bombeo, cada posición de aspersores puede tener una duración de 1, 2, 2.5 o hasta 3 horas, en función del requerimiento de agua del cultivo, etapa fenológica y condiciones de humedad prevaletientes al momento de aplicar el riego. Pueden apreciarse fotografías en el apéndice.

E. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ASPERSIÓN MOVIL

El sistema se ha utilizado generalmente para abastecer de 2.8 milímetros diarios al cultivo de caña de azúcar, cerca de un 50% los requerimientos hídricos en la época de mayor uso consuntivo, ya que durante los meses de marzo y abril el cultivo puede tener una edad de 150 a 180 días y su valor de Kc es de 1 (ver figura 1), en ese tiempo la evaporación diaria llega hasta 6 milímetros diarios (ver cuadro 5), por lo tanto el valor máximo de evapotranspiración del cultivo puede ser de 6 milímetros por día.

Con éste sistema se puede dotar al cultivo del 100% de su requerimiento hídrico, para lo cual debe reducirse el área que riega cada sistema, aproximadamente en un 50%, lo cual resulta contraproducente porque las utilidades del cultivo en esas condiciones no cubren el costo adicional de riego. La operación y movimientos de los aspersores y tuberías del sistema de riego, así como el listado de materiales, puede apreciarse en los listados presentados en los planos del apéndice).



Figura 14: Vista aérea de un campo
Regado por aspersión.



Figura 15: aspersor tipo cañón

5.1.4 DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO DE PIVOTE CENTRAL EVALUADO

El pivote central es un sistema de segundo uso con 20,000 horas de trabajo, se estima que la vida útil de un pivote central fijo es de 40,000 horas. El sistema es conformado por una estructura de hierro galvanizado cuyo soporte principal lo constituye la tubería de conducción del agua a lo largo de todo el sistema, esta parte queda sobre la superficie del suelo a una altura adecuada para cada tipo de cultivo, a este despeje se le denomina libranza que en el caso de caña de azúcar es de 3.75 metros, el pivote posee unas estructuras denominadas torres, sobre las cuales van soportadas las unidades motrices constituidas por motores eléctricos y neumáticos.

El sistema se acciona con energía eléctrica que se produce alternamente por medio de un generador eléctrico accionado por el mismo motor de la bomba centrífuga que alimenta el sistema de riego.

La energía acciona motores eléctricos de 1.5 Hp por medio de una transmisión ó cardán que a la vez acciona los neumáticos para el desplazamiento del pivote, el funcionamiento de los motores se regula por un sistema electrónico ubicado sobre cada una de las torres, el cual detecta la desalineación que ocurre entre un tramo y el siguiente, al llegar al límite de desalineación permitido, la torre desalineada se desplaza para buscar su alineación, de esa manera se repite el proceso en el resto de torres, lo que da como producto el movimiento o desplazamiento circular del pivote. En el apéndice puede apreciarse el detalle de partes del pivote central.

El pivote da vueltas a la derecha o izquierda sobre su eje o punto pivote, el cual es constituido por una estructura metálica en forma de pirámide, éste punto es fijado a una base de concreto, y es donde se ubica el panel de control del equipo. El pivote forma un círculo mojado al efectuar el riego. En el apéndice puede observarse una plano de planta del área irrigada con el pivote central.



FIGURA 16: Punto pivote



FIGURA 17: Area regada por un pivote

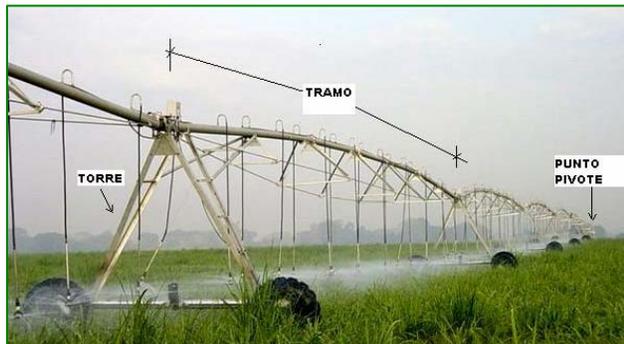


Figura 18: Vista de una parte del pivote central



Figura 19: Ultima torre y voladizo

A. CAUDAL DE DISEÑO DEL PIVOTE CENTRAL

El diseño del pivote está en función de la lámina de aplicación de riego o del caudal disponible, la resultante es la longitud del equipo, para lo cual se decide el número de tramos y la longitud de cada uno. Cada tramo puede tener desde 45 hasta 65 metros de longitud. Entre un tramo y el siguiente se ubica una torre, las torres se numeran desde el centro del pivote hacia la parte distal, las dos últimas torres se conocen como penúltima y última torre, y el resto como torres intermedias.

Para el cálculo del caudal requerido para el sistema de riego de pivote central se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{E_{tm} * \pi * R^2}{864 * E_a}$$

De donde :

Q = Caudal a utilizar por el sistema de riego de pivote central (l/s)

E_{tm} = Evapotranspiración máxima diaria del cultivo (mm/día)

R = radio del campo irrigado o longitud del pivote central (m)

Ea= Eficiencia de aplicación (%)

Para el presente caso se disponía de un pivote central de 525 metros de longitud, además se estiman evapotranspiraciones máximas del cultivo de hasta 6.3, la cual se calcula de la siguiente manera.

$$E_{tm} = E_{tp} * K_c$$

$$E_{tp} = E_v * 0.8$$

De donde:

E_v = Evaporación de tanque tipo A, máximos valores registrados en la zona 7.9 mm/día

E_{tp} = Evapotranspiración potencial (mm/día)

K_c = Uso consuntivo del cultivo de caña de azúcar, se asume $K_c = 1.00$

E_{tm} = Evapotranspiración máxima del cultivo

Sustituyendo para calculo de la E_{tm} :

$$E_{tp} = 7.9 \text{ (mm/día)} * 0.8$$

$$E_{tp} = 6.3 \text{ mm}$$

$$E_{tm} = 6.3 \text{ (mm/día)} * 1.00$$

$$E_{tm} = 6.3 \text{ mm/día}$$

Sustituyendo para calcular el caudal a utilizar por el pivote central:

$$Q = \frac{6.3 \text{ mm/día} * 3.1416 * (525 \text{ m})^2}{864 * 92\%}$$

$Q = 69 \text{ l/s}$, Equivalente a 1,100 galones por minuto y a 250 m³/hora.

B. ASPERSORES DEL PIVOTE CENTRAL

Sobre el tubo de conducción existen salidas para cada uno de los aspersores del sistema, distanciadas entre sí 1.50 metros, según sea el diseño de la lámina de aplicación y tipo de aspersores seleccionados, pueden estar activas en un 100% o bien dejar algunas inactivas a todo lo largo de la tubería.

Los aspersores o emisores del pivote, se eligen en función de la lámina de aplicación, tipo de suelo (velocidad de infiltración) y condiciones de viento, en el presente caso, se realizó un diseño del tipo, caudales y diámetros de boquillas para cada uno de los aspersores del pivote, para lo cual se utilizó un programa de diseño propiedad del fabricante de los pivotes centrales. En el cuadro 34 A del apéndice puede apreciarse el detalle de la distribución, caudal, presión de operación, color y ubicación de los 209 aspersores.

La intensidad de riego es mayor en los aspersores distales del pivote central, debido a que la velocidad de desplazamiento de estos tramos es mayor, se calcula con la siguiente ecuación.

$$IR = \frac{E_{tm} \text{ (mm/día)} * 2 * \pi * R}{0.24 * E_a * W}$$

De donde:

IR = intensidad de riego (mm/hr)

R = radio del campo irrigado o longitud del pivote central (m)

Ea= Eficiencia de aplicación (%)

W= El diámetro de mojado del último aspersor del pivote central (m)

Sustituyendo:

$$IR = \frac{6.3 \text{ mm/día} * 2 * 3.1416 * 525 \text{ m}}{0.24 * 92\% * 20 \text{ m}}$$

$$IR = 47 \text{ mm/hr}$$

La presión de operación de los aspersores es de 20 psi, equivalente a 14 metros de columna de agua, para logra una buena uniformidad en todos los aspersores a lo largo del pivote, cada emisor tiene instalado un regulador de presión. A continuación puede apreciarse el esquema de los aspersores y patrón de mojado.

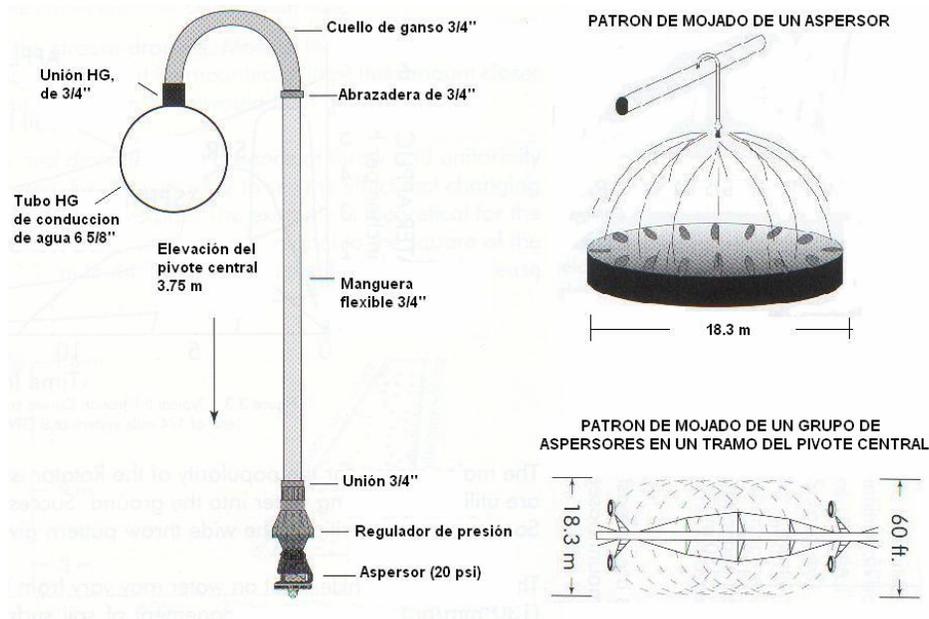


Figura 20: Esquema de instalación de aspersores y patrones de mojado en un pivote

C. PERDIDAS DE CARGA EN LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL PIVOTE CENTRAL

El agua circula por un tubo de 168 o 218 milímetros de diámetro y la longitud total del pivote central, en el inicio de la tubería de conducción el agua ingresa con una carga hidráulica equivalente a 24 metros de columna de agua para un pivote de 525 metros de longitud total, sin embargo esta carga varía en función de cuanto mayor o menor sea la longitud del equipo, el objetivo es que todos los aspersores dispongan de una carga que va de 7 a 14 metros de columna de agua .

Para el cálculo de pérdidas de carga en la tubería principal, utilizamos la ecuación de Hazen Williams y un factor de salidas múltiples de Christiansen.

$$HF (m) = 1.131 \times 10^{-9} * (Q/C)^{1.852} * D^{-4.872} * L * F$$

De donde:

HF (m) = pérdida de carga en metros

Q = caudal en la tubería (m³/hr)

C = coeficiente de fricción, para tuberías de aluminio el valor es 130

D = diámetro del tubo (mm)

L = longitud de la tubería en metros

F = factor debido a salidas múltiples, para más de 100 salidas, F=0.345)

Sustituyendo:

Caudal a utilizar = 1,100 gpm, equivalente a 249.81m³/hr y a 69 lps.

Diámetro de la tubería = 168 mm, 6 5/8 “.

Longitud de tubería = 525 metros

$$HF (m) = 1.131 \times 10^{-9} * (249 \text{ m}^3/\text{hr}/130)^{1.852} * (168 \text{ mm})^{-4.872} * (525 \text{ m}) * 0.345$$

HF (m) = 9.8, equivalente a 14 psi

Pérdidas menores (10% HF) = 0.98 m, equivalente a 1.4 psi

D. PERDIDAS DE CARGA EN LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DE LA BOMBA HACIA EL PIVOTE CENTRAL

La fuente de agua del pivote central es el río Acomé, el que se encuentra a un costado del área irrigada por el pivote, la ubicación de la bomba que lo alimenta es en el área adyacente del mismo, el agua es conducida hacia el centro del pivote central por medio de una tubería de PVC de 8” de diámetro y una longitud de 600 metros. El detalle puede apreciarse en el plano adjunto en el apéndice.

Las pérdidas de carga ocasionadas por la conducción del agua en esta tubería se calculan haciendo uso de la fórmula de Hazen-Williams, misma que ha sido utilizada en los cálculos anteriores.

Datos para el calculo de pérdidas de carga:

Caudal (Q) = 249.81 m³/hr

Coefficiente de rugosidad (C) = 150

Diámetro de la tubería (D) = 150 mm

Longitud (L) = 600 m

Sustituyendo:

$HF (m) = 1.131 \times 10^{-9} * (249.81 \text{ m}^3/\text{hr}/150)^{1.852} * (200 \text{ mm})^{-4.872} * (600 \text{ m})$

HF (m) = 10, equivalente a 14 psi

Pérdidas menores (10% HF) = 1.0 m, equivalente a 1.4 psi

Internamente la velocidad del flujo es de 2.14 m/seg, lo cual es adecuado.

E. DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO

La unidad de bombeo que alimenta el pivote central, tiene la función de extraer 1,100 galones por minuto (249.81 m³/hr, equivalente a 69.4 litros por segundo), de la fuente de agua, conducirla por la tubería descrita en el inciso anterior y hacerla llegar hasta el punto pivote (centro del pivote central) con la carga hidráulica suficiente para vencer las pérdidas de carga ocasionadas en la tubería de conducción de agua del pivote, por último llegar hasta la el último aspersor con una presión de 14 metros de columna de agua, equivalente a 20 psi.

Para el diseño de la unidad de bombeo, inicialmente se determina la carga dinámica total con la siguiente ecuación:

$$CDT (m) = P_o + HF (lateral) + HF (principal) + H_m (lateral) + H_m (principal) + H_{pp} + C_e$$

De donde:

P_o = presión de operación de los aspersores (m)

HF (lateral) = pérdida de carga en tubería de distribución del pivote central (m)

HF (principal) = pérdidas de carga en la tubería de conducción hacia el punto pivote (m)

H_m (lateral) = pérdidas de carga menores en la tubería lateral (m), 10% de HF (lateral)

H_m (principal) = pérdidas de carga menores en tubería principal (m), 10% de HF (principal)

H_{pp} = altura del punto pivote (3.75 m)

Ce = carga estática, diferencia de altura entre el nivel del agua en la fuente y el nivel del terreno en la base del punto pivote (3.25 m). Ver figura 28 A en el apéndice.

Sustituyendo:

$$\text{CDT (m)} = 14.0 \text{ (m)} + 9.8 \text{ (m)} + 10 \text{ (m)} + 0.98 \text{ (m)} + 1.0 \text{ (m)} + 3.75 \text{ (m)} + 3.90 \text{ (m)}$$

$$\text{CDT (m)} = 43.4 \text{ m, equivalente a 62 psi y a 142 pies}$$

Para el cálculo de la potencia requerida para operar la bomba se utiliza la siguiente ecuación, la cual fue utilizada previamente en el diseño de la unidad de bombeo para el sistema de aspersión móvil.

$$\text{HP} = \frac{Q * \text{CDT}}{76 * E_b}$$

Sustituyendo:

$$\text{HP} = \frac{69.4 \text{ (l/s)} * 43.4 \text{ (m)}}{76 * 0.81}$$

$$\text{HP} = 49$$

Si se considera que un motor diesel puede tener una pérdida de un 20% en la transferencia de energía, se puede ajustar el requerimiento de la siguiente manera:

$$\text{HP del motor} = 49 / 0.8 = 61 \text{ Hp.}$$

En base a los cálculos anteriores, se utiliza equipo de bombeo con las siguientes características:

Características de la bomba:

Marca:	Berkeley
Lugar de fabricación:	Estados Unidos
Modelo:	B6JRMBM (ver curva de desempeño en la figura 29 A del apéndice)
Tipo de bomba:	Centrífuga
Diámetro del impulsor:	316 milímetros, equivalente a 12.438 pulgadas
Caudal:	1,100 galones por minuto, equivalente a 69 litros por segundo
Carga dinámica total:	45.7 metros de columna de agua, equivalente a 65 psi.
Revoluciones por minuto:	1,800
Eficiencia de operación:	81%

Características del motor:

Marca:	John Deere
Lugar de fabricación:	Estados Unidos
Modelo:	4045 DF 150 (ver curva de desempeño en la figura 30 A del apéndice)
Tipo de combustible:	Diesel
Potencia:	62 caballos de fuerza (Hp)
Revoluciones por minuto:	1,800

F. PARTES DEL SISTEMA DE RIEGO DEL PIVOTE CENTRAL

El número de componentes del sistema de pivote central, dependen especialmente de la longitud del mismo, para el caso del pivote central de 525, que se describe en este documento, se compone de los materiales listados en el cuadro 35 A del apéndice.

5.1.5 BALANCE HÍDRICO Y PROGRAMA DE RIEGO

Las áreas bajo riego tienen las siguientes características físicas y constantes de humedad, con las cuales se calculan la lámina de humedad aprovechable a una profundidad radicular de 60 centímetros y cuyo valor se calcula en el siguiente cuadro.

CUADRO 9: CONSTANTES DE HUMEDAD DEL SUELO Y LAMINA DE HUMEDAD APROVECHABLE

PROFUNDAD DEL SUELO (cms)	COMPONENTES %			% DE HUMEDAD		DENSIDAD APARENTE gr/cc	Textura	LHA (cm)
	ARCILLA	LIMO	ARENA	CC	PMP			
0-20	8.39	10.18	81.43	16.51	9.9	1.19	Arena franca	1.57
20-40	8.37	10.16	81.46	13.27	8.18	1.28	Arena franca	1.30
40-60	8.48	41.15	50.37	27.29	16.09	0.97	Franco	2.17
TOTAL								5.04

$$\text{LHA} = \frac{(\text{CC} - \text{PMP}) * \text{Da} * \text{PR}}{100}$$

De donde:

LHA = Lámina de humedad aprovechable (cm)

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cc)

PR = Profundidad radicular del cultivo (cm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchites permanente (%)

La caña de azúcar concentra más del 80% de sus raíces a los 60 centímetros de profundidad, en este caso el suelo a esta profundidad tendrá una lámina disponible de 50 milímetros (29).

En el presente caso, el pivote central móvil se maneja con un 20% de déficit permitido de manejo, o sea que la lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA) es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{LHRA} &= \text{LHA (mm)} * \text{DPM} \\ \text{LHRA} &= 50 \text{ mm} * (20\%/100) = 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

De donde:

LHA = Lámina de humedad aprovechable (mm)

DPM = Déficit permitido de manejo (%)

Lo anterior indica que se permite que la evapotranspiración agote 10 milímetros de la lámina disponible en el suelo a 60 centímetros de profundidad, el riego se inicia en el momento en que la lámina de humedad disponible en el suelo llegue a ser de 40 mm.

El programa de riego del sistema de aspersión móvil, obedece a una programación preestablecida que contempla una frecuencia controlada de riego fija de 20 días, la cual se ha adoptado para facilitar la operación del sistema de riego móvil en la empresa.

El control del contenido de humedad en el suelo se realiza diariamente por medio del balance hídrico, en el cual se utiliza la siguiente ecuación.

$$\text{LHA (mm)} = \text{LHA del día anterior (mm)} - \text{ETM (mm)} + \text{LLUVIA (mm)} + \text{RIEGO (mm)}$$

De donde:

LHA = Lámina de humedad aprovechable (mm)

ETM = Evapotranspiración máxima (mm) = ETP (mm) * Kc

ETP = Evapotranspiración potencial (mm) = EV * Kp

EV = Evaporación en tanque tipo A

Kp = Coeficiente para la región (0.8)

Kc = Coeficiente del cultivo en función de su etapa fenológica

LLUVIA = Lluvia durante el día (mm)

RIEGO = Lámina neta aportada por el sistema de riego durante el día

El inicio del programa de riego se efectúa por medio de la determinación del contenido de humedad gravimétrica en el suelo, para lo cual se realizó un muestreo aleatorio del suelo a una profundidad de 60 centímetros, la programación del suelo se realizó para adicionar la lámina de agua que el suelo requiere para llegar a capacidad de campo. Los resultados se aprecian en el siguiente cuadro.

CUADRO 10: CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO AL INICIO DEL RIEGO

Profundidad de muestreo (cm)	% DE HUMEDAD GRAVIMETRICA						LHA (mm)
	Pante 1.08	Pante 1.10	Pante 1.13	Pante 1.19	Pante 3.04	MEDIA	
0-20	15.14	14.44	16.24	10.85	14.63	14.26	10.38
20-40	16.51	13.68	19.63	10.72	16.01	15.31	18.25
40-60	12.57	10.21	14.17	7.23	13.09	11.45	7.74
TOTAL							36.37

El riego con el pivote central, se programa para aplicar una lámina neta de 14 milímetros para llegar el suelo a capacidad de campo, cada día de operación el pivote aplica una lámina de 6 milímetros netos (ver cuadro 8), por lo cual para aplicar los 14 milímetros requeridos el pivote realizó 2 riegos.

El primer riego con el sistema de aspersion móvil, se efectuó con una duración de 2 horas, aplicando una lámina neta de 31 milímetros, especialmente con la finalidad de realizar la primera aplicación de herbicida, posteriormente se efectuaron riegos cada 20 días.

El comportamiento y cálculo de la lámina de humedad aprovechable en el suelo, producto de realizar diariamente el balance hídrico para ambos sistemas de riego analizados, puede observarse en el cuadro 36 A del apéndice.

El comportamiento del balance hídrico y la LHA del resto del programa de riego, puede visualizarse en las gráficas 21 y 22, en la cual podrá notarse que durante los últimos días del mes de abril del 2003 se estableció el invierno, y por lo se dejó de regar. Durante el período analizado, ocurrieron eventos de lluvia que hacían que el valor obtenido de LHA fuese mayor de 50 milímetros, sin embargo éstos valores superiores fueron despreciados debido a que superan la capacidad de retención de humedad en el suelo, lo que sugiere que éstos excedentes son escorrentía o percolaciones a profundidades mayores donde las raíces del cultivo no extraen agua.

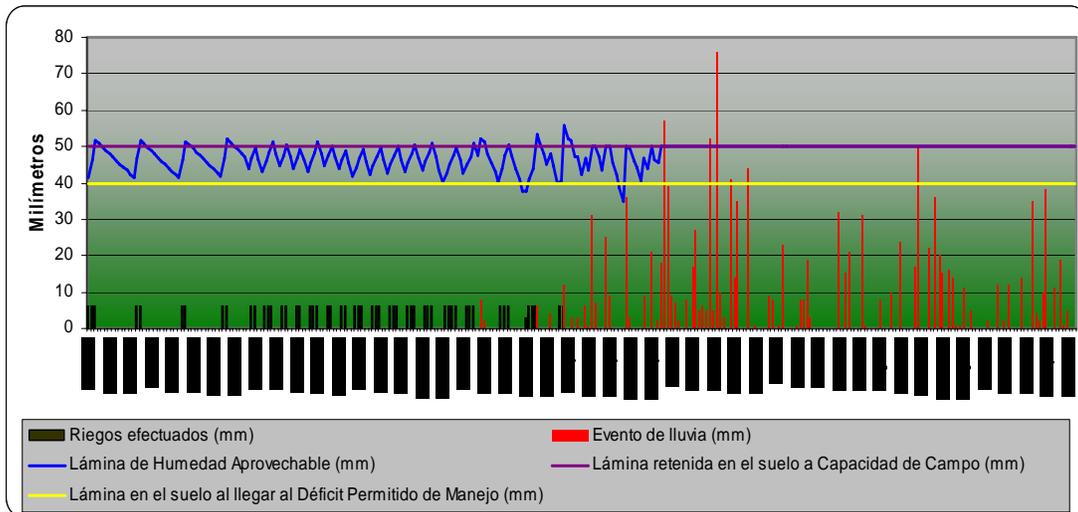


FIGURA 21: BALANCE HÍDRICO Y PROGRAMA DE RIEGO CON EL PIVOTE CENTRAL

En la gráfica anterior puede observarse que el contenido de humedad del suelo se mantuvo siempre entre capacidad de campo (CC) y déficit permitido de manejo (DPM), cuyos valores corresponden a un contenido de 50 y 40 milímetros de lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA).

El contenido de humedad del suelo irrigado con el sistema de aspersión móvil, durante el mismo período, puede observarse en la siguiente figura.

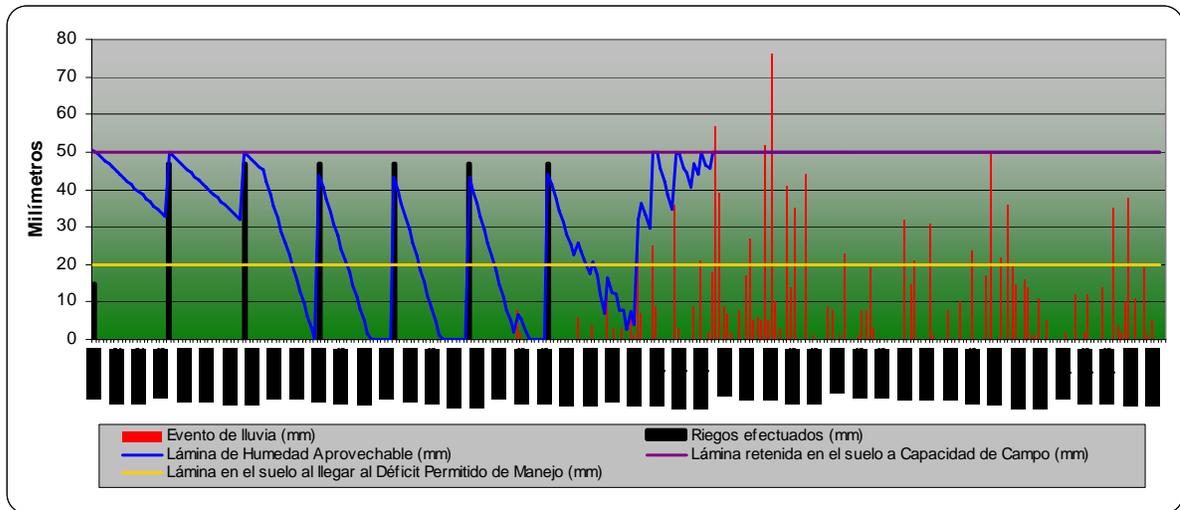


FIGURA 22: BALANCE HÍDRICO Y PROGRAMA DE RIEGO CON EL SISTEMA DE RIEGO DE ASPERSIÓN MOVIL

El contenido de agua en el suelo, se mantuvo entre un 60% y 100% de lámina de humedad aprovechable durante el período de macollamiento, el cual comprendió aproximadamente desde inicios de Diciembre de 2002, hasta finales del mes de enero de 2003, en éste período se utilizó un Kc de 0.2. Posteriormente, la demanda hídrica del cultivo aumentó considerablemente al iniciar su período de elongación con un Kc de 0.6, el cual se mantuvo hasta septiembre. Por lo anterior, el cultivo se mantuvo con láminas de humedad poco disponible durante los meses de febrero, marzo y abril, la mayor parte del tiempo con un abatimiento mayor al 60% de la lámina de humedad aprovechable, lo que equivale a que el suelo tenga disponible una lámina no mayor de 20 milímetros. A esta situación se ha atribuido que el cultivo de caña de azúcar en el área de la finca Monte Alegre regado por aspersión, no tenga los mismos niveles de producción que la que se ha irrigado con el pivote central.

5.2 ASPECTOS ECONOMICOS

En este capítulo se reúne la forma de cálculo de los costos de riego utilizando sistemas de aspersión móvil y pivote central, así mismo con las estimaciones de los egresos, ingresos e índices económicos al producir caña de azúcar con riego.

5.2.1 COSTOS DE LA APLICACIÓN DE RIEGO

Los costos de la aplicación del riego se resumen en: a) costos de inversión, b) los costos de depreciación de la inversión y b) los costos de operación que incluyen: mano de obra, combustible, mantenimientos, transporte, reparación y administración.

5.2.1.1. COSTOS DE INVERSIÓN DE LOS MODULOS DE RIEGO DE PIVOTE CENTRAL Y ASPERSION MOVIL

Para calcular la depreciación de los equipos es necesario iniciar con la cuantificación de la inversión que se efectúa para el establecimiento de cada uno de los sistemas de riego, especialmente porque el abastecimiento de agua para el sistema de pivote central requiere de obras adicionales con respecto a un equipo de aspersión.

CUADRO 11: INVERSIÓN EN SISTEMAS DE RIEGO DE PIVOTE CENTRAL Y ASPERSIÓN MOVIL

CONCEPTO	INVERSIÓN EN DOLARES AMERICANOS (USD)	
	PIVOTE CENTRAL	ASPERSIÓN MOVIL
ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL SISTEMA:		
• Sistema de bombeo en la fuente de agua superficial	13,159	
• Tubería de conducción de la fuente de agua hacia el pivote (PVC, 8" de diámetro, 600 mts. De longitud)	6,738	
• Instalación de la tubería	<u>4,080</u>	
Total del abastecimiento de agua del sistema	23,977	
EQUIPO DE RIEGO:		
• Sistema de riego	22,505	38,000
• Generador eléctrico para el pivote central	<u>7,872</u>	
Total del equipo de riego	30,377	38,000
VALOR TOTAL DE LA INVERSIÓN	54,355	38,000
AREA A CUBRIR CON EL SISTEMA DE RIEGO (ha) *	87	98
VALOR DE LA INVERSIÓN (USD/ha)	625	388

* Ver planos en el apéndice.

El cálculo de depreciaciones que se presenta en el cuadro 12, toma en cuenta tres factores: a) Valor de la inversión del equipo, b) Vida útil en horas efectivas de trabajo esperadas del equipo y c)

Rendimiento del sistema de riego en horas / hectárea, el cual fue calculado en el cuadro 6, dicho valor está en función sus respectivas condiciones de operación.

CUADRO 12: CALCULO DE DEPRECIACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO EN USD/HA REGADA

DESCRIPCIÓN	EQUIPO A DEPRECIAR			
	Sistema de abastecimiento de agua del pivote central	Generador Eléctrico del pivote central	Sistema de riego de pivote central	Sistema de riego de aspersión móvil
Costo de inversión USD	23,977	7,872	22,505	38,000
Vida útil (horas)**	20,000	20,000	30,000	16,500*
Vida util (años)	7	7	10	7
Costo unitario USD/hr	1.20	0.39	0.75	2.30
Rendimiento hr/ha	0.47	0.47	0.47	3.68
Costo unitario USD/ha	0.57	0.32	0.35	8.48

REFERENCIAS:

*Costo unitario USD/ha = Costo unitario USD/hr * Rendimiento hr/ha*

Costo unitario USD/hr = Costo de inversión USD/vida útil (horas)

** Vida útil promedio en la empresa. ** Condiciones actuales de uso*

5.2.1.2. COSTOS DE OPERACIÓN

En la operación del riego, los rubros más importantes lo constituyen en su orden: mano de obra, combustible, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo de los equipos de riego. Para cada rubro se realizan los siguientes resúmenes de cálculo. Ver cuadro 13.

CUADRO 13: INTEGRACIÓN DEL COSTO DE MANO DE OBRA PARA RIEGO POR ASPERSIÓN

DESCRIPCIÓN	VALOR (USD/ha)
Mano de obra directa de 3 regadores y 1 operador de motobombas cada turno de 24 horas	13.42
Mano de obra indirecta (operadores de tractores agrícolas para movimientos y traslados de bombas y tuberías de aluminio)	0.88
Prestaciones laborales y sociales	4.39
Total mano de obra para aplicar una lámina bruta de 67 mm	18.69

FUENTE: Valor estándar de riego por aspersión, Ingenio La Unión S.A. 2003.

En el sistema de riego de pivote central, participan 2 personas por turno (2 hombres cada 24 horas), uno de ellos opera el sistema de bombeo que abastece de agua el sistema de riego y el segundo es el operador del panel de control de pivote central. El costo de mano de obra se presenta en cuadro 14.

CUADRO 14: CALCULO DEL COSTO DE MANO DE OBRA PARA RIEGO CON PIVOTE CENTRAL

DESCRIPCIÓN	VALORES
No. De personas que participan operando el sistema	4
Valor de salarios mensuales incluyendo prestaciones laborales y sociales (USD)	1,000
Valor del salario USD/día	33.3
Hectáreas regadas por día (ver cuadro 6)	50.88
Costo unitario USD/Ha para aplicar una lámina bruta de 11.8 mm	0.66

REFERENCIAS:

Tasa de cambio: USD 1.00 es equivalente a Q 8.00

Días laborables del mes: 30 días

Costo unitario USD/ha = Valor del salario USD/día / Area regada ha/día

El costo de consumo de combustible para el generador eléctrico y el motor del sistema de aspersión móvil, es en base a estadísticas de operación. El consumo para el motor de la bomba del pivote central, se calcula en función de la potencia requerida de la bomba, los cálculos y resultados se presentan en cuadro 15.

CUADRO 15: CALCULO DEL COSTO DE COMBUSTIBLE PARA LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN Y PIVOTE CENTRAL

DESCRIPCIÓN	PIVOTE CENTRAL			ASPERSIÓN
	Sistema de bombeo	Generador Eléctrico	Total	
Potencia requerida Hp (ver incisos 6.1.2.C y 6.1.3.E)	61	7.2	79.2	92.5
Rendimiento de combustible gl/hr	2.96	0.35	3.31	4.00*
Costo USD/gal	1.079	1.079	1.079	1.079
Costo USD/hr	3.19	0.38	3.57	4.31
Rendimiento hr/ha	0.47	0.47	0.47	3.68
Costo de combustible USD/ha	1.51	0.18	1.69	15.86

REFERENCIAS:

*Rendimiento para el pivote central = 0.34 lb. Diesel – hp/hr * Potencia motor (hp) / 7 lb./gal diesel*

**Rendimiento para el equipo de aspersión: Estadísticas de 5 años de operación.*

*Costo unitario USD/ha = Costo USD/hr * Rendimiento hr/ha*

El cálculo del costo de mantenimiento de los motores de los sistemas de riego, se basan en la tarifa que se encuentra vigente en la empresa en USD/hr, la cual se multiplica por el rendimiento de riego de cada uno de los sistemas. Los resultados se presentan en el cuadro 16.

CUADRO 16: CALCULO DEL COSTO DE MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES DE SISTEMAS DE RIEGO

DESCRIPCIÓN	PIVOTE CENTRAL			ASPERSIÓN
	Sistema de bombeo	Generador Eléctrico	Total	
*Costo de mantenimiento USD/hr	0.17	0.35	0.52	0.17
Rendimiento hr/ha	0.47	0.47	0.47	3.68
Costo de mantenimiento USD/ha	0.08	0.17	0.25	0.63

REFERENCIAS:

**Costo de mantenimiento de motores USD/hr: tarifa establecida en taller automotriz de la empresa*

*Costo de mantenimiento USD/ha = Costo de mantenimiento USD/hr * Rendimiento hr/ha*

5.2.1.3. COSTO TOTAL DE APLICACION DEL RIEGO

Los valores calculados anteriormente en los cuadros 12, 13, 14, 15 y 16, se resumen en el cuadro 17, en el cual se calcula el valor de aplicar un riego en una hectárea y el valor de cada milímetro de agua aplicado, el sistema de riego de pivote central en un riego aplica 11.8 mm, mientras que en un riego de aspersión se aplican 67 mm. Lo anterior es una manera de comparar el costo unitario de riego. Adicionalmente se presenta el costo anual de la aplicación de riego durante un año en una hectárea de cultivo de caña de azúcar.

CUADRO 17: COSTO TOTAL DE APLICACION DE RIEGO ANUAL POR HECTÁREA RIEGO

CONCEPTO	COSTO (USD/HA)	
	PIVOTE CENTRAL	ASPERSIÓN MOVIL
COSTOS DE DEPRECIACIÓN:		
Abastecimiento de agua del sistema de riego	0.57	0.00
Sistema de generación de energía eléctrica	0.32	0.00
Depreciación del equipo de riego	<u>0.35</u>	<u>8.48</u>
Total de depreciación	1.24	8.48
COSTOS DE OPERACIÓN:		
Mano de obra	0.66	18.69
Combustible en sistema de bombeo	1.51	15.88
Combustible en generador eléctrico	0.18	0.00
Mantenimiento de sistemas de riego	0.25	0.63
Reposición de partes de sistema de riego *	<u>0.00</u>	<u>0.77</u>
Total de operación	2.60	35.97
COSTO POR EFECTUAR UN RIEGO	3.84	44.44
NUMERO DE RIEGOS ESTIMADOS EN UN AÑO **	28	6
COSTO ANUAL DE RIEGO (USD)***	108.82	266.64
LAMINA BRUTA APLICADA POR RIEGO (mm)	11.8	67
COSTO UNITARIO USD/mm APLICADO	0.32	0.66

REFERENCIAS:

*Reposición de partes del sistema de riego: 9% del valor de la inversión durante su vida útil

$USD\ 38,000 * 0.09 / (16,500\ hr / 3.68\ hr / ha)$

**Numero de riegos estimados en un año, en función del balance hídrico. Ver cuadro 7

Tasa de cambio = USD 1.00 = Q 8.00

***Costo anual de riego (USD) = Costo por efectuar un riego USD/Ha * No. Riegos estimados en un año.

5.2.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN Y UTILIDADES DEL CULTIVO

La aplicación de riego con ambos sistemas de riego, originarán diferentes costos de producción, los cuales serán básicamente dependientes de la productividad durante cada año del ciclo de cultivo evaluado.

Para el presente análisis se utilizaron los datos estadísticos de los últimos seis años de producción del área irrigada con el pivote central, la primera cosecha de caña producida con riego del pivote central es la efectuada durante la zafra 2003-2004, en la cual la producción fue de 127 toneladas de caña / ha. Anteriormente el área de referencia era irrigada por aspersión, como punto de referencia se tomó la producción obtenida durante la zafra 1998-1999, que fue de 108 toneladas de caña /ha. En ambos períodos, el cultivo tenía un año de edad (caña planta). El incremento obtenido es de 19 toneladas de caña / ha, el cual se atribuye a que con el pivote central se aplicó la lámina que demanda el cultivo en el momento oportuno, así también a una mejor uniformidad de la lámina de riego. Al mismo tiempo se obtuvo el mismo incremento con respecto al área que se irrigó con el sistema de aspersión móvil durante el año 2003. En la figura 23, se puede apreciar el comportamiento de la producción del área que ahora se irriga con el pivote central.

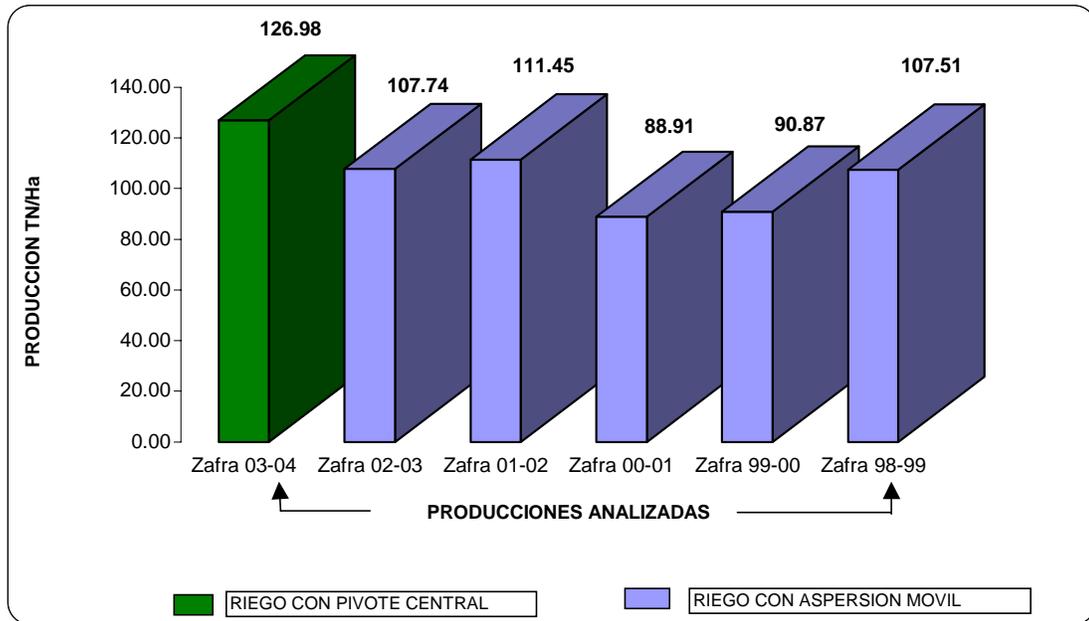


FIGURA 23: HISTORICO DE PRODUCCIÓN DEL AREA IRRIGADA CON EL PIVOTE CENTRAL, ZAFRAS 1998-1999 A 2003-2004

La producción del área sin riego, es el dato estadístico de los últimos cinco años de las áreas que no poseen riego, la producción de partida para el primer año es de 73 toneladas por hectárea. En general para el área con riego y sin riego se proyecta un incremento de cinco toneladas de caña/ha/año hasta el tercer año, luego declina en la misma proporción del cuarto hasta el séptimo año de cultivo, dicho comportamiento se atribuye a la edad en años del cultivo.

Adicionalmente se calcula el costo de producción debido a la ejecución de labores agrícolas durante el ciclo de cultivo aplicando riego con aspersión, pivote central y produciendo sin riego, lo cual puede apreciarse en el cuadro 18.

CUADRO 18: COSTOS GENERALES DE PRODUCCIÓN Y UTILIDADES DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR PRODUCIDA CON Y SIN RIEGO (QUETZALES Y DOLARES AMERICANOS)

ACTIVIDADES	Costo de labores Q/ha Y USD/ha					
	CAÑA PLANTA (1 er. Año)			CAÑA SOCA (del 2º al 6º año)		
	RIEGO ASPERSION	RIEGO PIVOTE CENTRAL	SIN RIEGO	RIEGO ASPERSION	RIEGO PIVOTE CENTRAL	SIN RIEGO
• Estudio topográfico	98	98	98			
• Diseño y trazo de campo	97	97	97			
• Muestreo de roedores (2 veces)	188	188	188	188	188	188
• Control químico de roedores (2 veces)	117	117	117	117	117	117
• Volteo	184	184	184			
• Pulido	52	52	52			
• Surqueo	57	57	57			100
• Siembra	2,442	2,442	2,442			2,000
• Resiembra (50% en areas sin riego)				400		
• Resiembra (20% en areas con riego/aspersión)						
• Herbicida preemergente con aguilón	341	341	341			
• Herbicida preemergente con mochila				431	431	431
• Fercultivo aplicando urea 46%	642	642	642	642	642	
• Fertilización manual urea 46%						496
• Herbicida postemergente con aguilón	374	374	374	374	374	374
• Control de bejuco	182	182	182	182	182	182
• Limpia manual (2 veces en areas sin riego)	470	470	940	470	470	940
Costo total de labores (Q)	5,245	5,245	5,716	2,805	2,405	4,829
Costo total de labores (USD)	656	656	714	351	301	604
Costo anual de riego (USD) (ver cuadro 17)	266	108		266	108	
Costo total (USD/ha)	922	764	714	617	409	604
Producción Tn/ha	108	127	73	109	128	74
Costo de producción en el campo USD/Tn	8.54	6.02	9.79	5.67	3.20	8.19
Costo de la cosecha, alce y transporte hacia el Ingenio (USD)	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10
Costo total de una tonelada de caña (USD)	12.64	10.12	13.89	9.78	7.31	12.29
Valor de una tonelada de caña de 235 lbs de azúcar (USD)	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69
Utilidad neta por tonelada (USD)	0.05	2.57	-1.20	2.91	5.38	0.40
Rentabilidad por tonelada de caña producida (%)	0%	25%	-9%	30%	74%	3%

REFERENCIAS:

Costo total (USD/ha) = Costo anual de riego (USD) + Costo total de labores (USD)

Costo de cosecha, alce y transporte (CAT) = tarifa establecida para la finca Monte Alegre

Costo total de producción (USD/tn) = CAT(USD/tn) + costo de producción en campo (USD/tn)

Utilidad neta (USD/tn) = Valor comercial (USD/tn) – Costo total de producción (USD/tn)

*Rentabilidad por tonelada (%) = Utilidad neta (USD/tn)/Costo total de producción (USD/tn) * 100*

Los costos en que se incurren en el cultivo del segundo año en adelante son similares hasta el séptimo año, luego del cual en la mayoría de casos debe realizarse nuevamente la renovación, sin embargo la producción en toneladas de caña por hectárea se aumenta entre el primer y tercer año y luego empieza a declinar, lo que hace que las utilidades del cultivo varíen notablemente, este comportamiento se puede apreciar en los cuadros 19, 20 y 21, en los cuales se calcula el efecto de la variación anual de la producción sobre las utilidades, en dichos cuadros se realizarán las siguientes operaciones.

- Costo de producción (USD/ha): (cuadro 18)
- Costo de producción (USD/tn) =
$$\frac{\text{Costo de producción (USD/ha)}}{\text{Producción (tn/ha)}}$$
- Valor de la cosecha, alce y transporte, CAT (USD/tn) = Tarifa de la finca Monte Alegre en función de la distancia.
- Costo total de producción (USD/tn) = Costo de producción + CAT
- Valor comercial (USD/tn) = U.S.D. 0.054 * 235 (lb de azúcar/tn)
- Beneficio neto (USD/tn) = Valor comercial (USD/tn) – Costo total de producción (USD/tn)
- Total Ingresos USD = Valor comercial (USD/ha) * Area de cultivo (ha) * Producción (tn/ha)
- Total Egresos USD = Costo total producción (USD/tn) * Area de cultivo (ha) * Producción (tn/ha)
- Beneficio neto del proyecto USD = Total Ingresos USD – Total Egresos USD

CUADRO 19: EGRESOS, INGRESOS Y UTILIDADES NETAS DEL CULTIVO DE CAÑA, AL PRODUCIR SIN RIEGO, DURANTE UN CICLO DE 7 AÑOS

CONCEPTO	AÑO DE PRODUCCIÓN						
	1	2	3	4	5	6	7
Costo de producción (USD/ha)	714.4	603.6	603.6	603.6	603.6	603.6	603.6
Producción (tn/ha)	73	78	83	78	73	68	63
Costo de producción (USD/tn)	9.79	7.74	7.27	7.74	8.27	8.88	9.58
Valor de la cosecha, alce y transporte (USD/tn)	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10
Costo total de producción (USD/tn)	13.89	11.84	11.37	11.84	12.37	12.98	13.68
Valor comercial de la caña (USD/tn)	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69
Beneficio neto (USD/tn)	-1.20	0.85	1.32	0.85	0.32	-0.29	-0.99
INGRESOS, EGRESOS Y BENEFICIO EN 87 ha.*							
Total Ingresos (USD)	80,594	86,114	91,634	86,114	80,594	75,074	69,554
Total egresos (USD)	88,195	80,340	82,124	80,340	78,557	76,773	74,990
Beneficio neto del proyecto (USD)	-7,601	5,774	9,511	5,774	2,038	-1,699	-5,436
INGRESOS, EGRESOS Y BENEFICIO EN 98 ha.**							
Total Ingresos (USD)	90,784	97,002	103,220	97,002	90,784	84,566	78,348
Total egresos (USD)	99,347	90,498	92,507	90,498	88,489	86,480	84,471
Beneficio neto del proyecto (USD)	-8,562	6,504	10,713	6,504	2,295	-1,914	-6,123

REFERENCIAS DEL CUADRO 19:

**Esta es el área de cobertura de un pivote central*

***Esta es el área de cobertura de un sistema de aspersión móvil*

El cuadro anterior incluye los beneficios de producir caña de azúcar en áreas equivalentes a los que pueden cubrir los sistemas de riego de pivote central y aspersión móvil, con la finalidad de comparar posteriormente los beneficios marginales que se obtienen con cada uno de los sistemas de riego en estudio.

En el cuadro 20 se calculan los egresos, ingresos y utilidades que se obtienen al producir caña de azúcar en un área de 87 hectáreas irrigadas con el pivote central. Se estima que la producción anual será 20 toneladas de caña por hectárea más que la producción que se obtendrá producir caña irrigando con aspersión móvil, lo cual se sustenta en el análisis realizado a los datos estadísticos de la figura 23. Dicho incremento se estima de manera sostenida para los siguientes 6 años de producción.

CUADRO 20: EGRESOS, INGRESOS Y UTILIDADES NETAS DEL CULTIVO DE CAÑA, AL PRODUCIR CON RIEGO DE PIVOTE CENTRAL, DURANTE UN CICLO DE 7 AÑOS EN UN AREA DE 87 HECTAREAS

CONCEPTO	AÑO DE PRODUCCIÓN						
	1	2	3	4	5	6	7
Costo de producción (USD/ha) (Cuadro 19)	764.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5	409.5
Producción (tn/ha)	127	132	137	132	127	122	117
Costo de producción (USD/tn)	6.02	3.10	2.99	3.10	3.22	3.36	3.50
Valor de la cosecha, alce y transporte (USD/tn)	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10
Costo total de producción (USD/tn)	10.12	7.20	7.09	7.20	7.32	7.46	7.60
Valor comercial de la caña (USD/tn)	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69
Beneficio neto (USD/tn)	2.57	5.49	5.60	5.49	5.37	5.23	5.09
Area de cobertura del proyecto de riego (ha)	87	87	87	87	87	87	87
Total Ingresos (USD)	140,212	145,732	151,252	145,732	140,212	134,692	129,172
Total egresos (USD)	111,809	82,708	84,492	82,708	80,925	79,141	77,358
Beneficio neto del proyecto (USD)	28,402	63,024	66,760	63,024	59,287	55,550	51,814

En el cuadro 21 se calculan los egresos, ingresos y utilidades que se obtienen al producir caña de azúcar en un área de 98 hectáreas irrigadas con el sistema de riego de aspersión móvil. Se estima que la producción anual será 35 toneladas de caña por hectárea más que la producción que se obtendrá al producir caña sin riego, según registros estadísticos de las producciones de las últimas cinco zafas de la empresa.

CUADRO 21: EGRESOS, INGRESOS Y UTILIDADES NETAS DEL CULTIVO DE CAÑA, AL PRODUCIR CON RIEGO DE ASPERSIÓN MOVIL, DURANTE UN CICLO DE 7 AÑOS, EN UN AREA DE 98 HECTAREAS

CONCEPTO	AÑO DE PRODUCCIÓN						
	1	2	3	4	5	6	7
Costo de producción (USD/ha)	922.3	617.3	617.3	617.3	617.3	617.3	617.3
Producción (tn/ha)	108	113	118	113	108	103	98
Costo de producción (USD/tn)	8.54	5.46	5.23	5.46	5.72	5.99	6.30
Valor de la cosecha, alce y transporte (USD/tn)	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10
Costo total de producción (USD/tn)	12.64	9.56	9.33	9.56	9.82	10.09	10.40
Valor comercial de la caña (USD/tn)	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69	12.69
Beneficio neto (USD/tn)	0.05	3.13	3.36	3.13	2.87	2.60	2.29
Área de cobertura del proyecto de riego (ha)	98	98	98	98	98	98	98
Total Ingresos (USD)	134,311	140,529	146,747	140,529	134,311	128,093	121,875
Total egresos (USD)	133,780	105,900	107,909	105,900	103,891	101,882	99,873
Beneficio neto del proyecto (USD)	531	34,629	38,838	34,629	30,420	26,211	22,002

Los cuadros 20 y 21 muestran los beneficios económicos al producir caña de azúcar en condiciones de riego, siendo éstos mayores al utilizar sistemas de pivote central, así mismo en el cuadro 19 se demuestra que el cultivo de caña de azúcar sin riego, puede ocasionar pérdidas económicas. En la figura 24, puede apreciarse gráficamente el comportamiento del beneficio neto obtenido por tonelada de caña producida al irrigar con los sistemas de riego analizados y sin riego, lo cual es un resumen de los últimos tres cuadros.

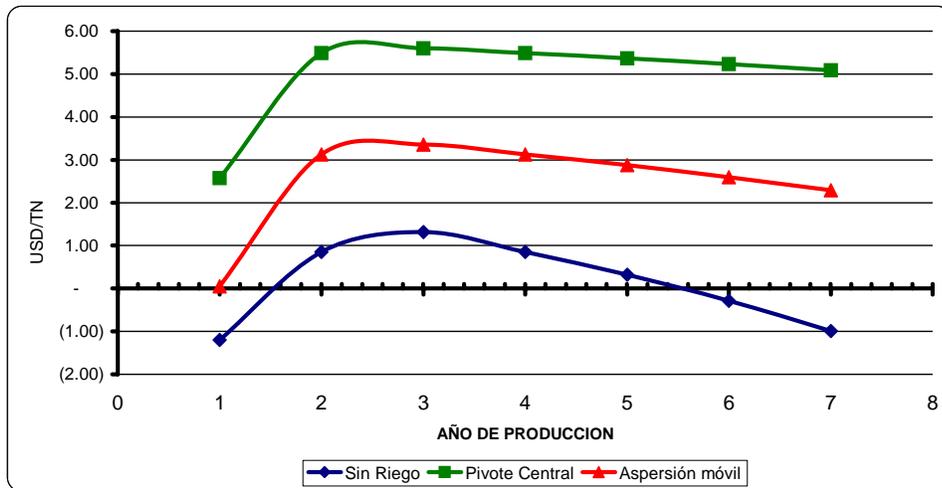


FIGURA 24: ESTIMADO DEL BENEFICIO NETO EN USD/TN DE CAÑA PRODUCIDA EN UN CICLO DE SIETE AÑOS, SIN RIEGO Y CON RIEGO DE ASPERSION MOVIL Y PIVOTE CENTRAL

5.2.3 INDICADORES FINANCIEROS

En los siguientes incisos se calculan los indicadores financieros de la producción de caña de azúcar y la inversión en los sistemas de riego evaluados, para lo cual se utiliza un período de evaluación de 7 años.

5.2.3.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El valor actual neto de los flujos de caja que se obtendrán durante los 7 años del ciclo de cultivo, son las sumas monetarias equivalentes al dinero del primer año de ejercicio luego de haber sustraído de cada uno de los beneficios anuales el efecto de una tasa de interés, el VAN es el resultado de restar de esta sumatoria el valor de la inversión realizada en la implementación del sistema de riego en estudio.

Si el resultado del VAN es positivo, indica que el retorno sobre la inversión efectuada en el sistema de riego es mayor que la tasa de interés utilizada para actualizar los valores anuales de beneficio neto, si por el contrario el VAN fuera negativo, indica que es más apropiado no invertir en el sistema de riego pues produce más utilidad el invertirlo en un proyecto alternativo que genere la tasa de interés utilizada para actualizar el valor del dinero, por ejemplo: depositarlo en un banco, recuperar el valor adquisitivo por el efecto de la inflación, u otro tipo de proyecto de inversión.

La tasa de descuento a utilizar para el cálculo del VAN es de un 8%, en función de la tasa inflacionaria en Guatemala, promedio durante el período 1995 a 2003, la cual puede apreciarse en el cuadro 37 A del apéndice. La tasa inflacionaria será el único componente que se toma en cuenta en el presente análisis, con el fin de fijar una Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento del capital a invertir en equipos de riego.

El valor actual neto en este caso se calculara durante un período de 7 años, en términos generales es el tiempo de un ciclo de total del cultivo antes de su renovación. En éste período se asume que se realizará una renovación cada 7 años, por lo cual en el octavo año ocurrirá un egreso similar al del primer año del ciclo por concepto de siembra.

El valor actual neto que se calcula, es del beneficio marginal obtenido en el cultivo de caña de azúcar al implementar el sistema de riego, en otras palabras al beneficio adicional que se obtiene debido al incremento de la producción por efecto de la aplicación de riego. El Valor Actual Neto se calcula para la producción de caña de azúcar con riego de pivote central y aspersión móvil se calcula en los cuadros 22 y 23 respectivamente.

CUADRO 22: VALOR ACTUAL NETO PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR UTILIZANDO PIVOTE CENTRAL EN UN AREA DE 87 HECTAREAS

AÑO	INVERSIÓN (USD)	UTILIDADES NETAS (USD)			FACTOR DE ACTUALIZACION	VAN (USD)	VAN ACUMULADO (USD)
		CON RIEGO	SIN RIEGO	MARGINAL			
0	54,355						
1		28,402	-7,601	36,004	0.9259	33,337	-21,018
2		63,024	5,774	57,249	0.8573	49,082	28,064
3		66,760	9,511	57,249	0.7938	45,446	73,510
4		63,024	5,774	57,249	0.7350	42,080	115,590
5		59,287	2,038	57,249	0.6806	38,963	154,553
6		55,550	-1,699	57,249	0.6302	36,077	190,630
7		51,814	-5,436	57,249	0.5835	33,404	224,034

REFERENCIAS:

Utilidades netas: tomadas de los cuadros 19 y 20

Valor de actualización = $1 / (1 + \text{tasa de descuento})^n$; n= año del cultivo y tasa de descuento = 8%

*VAN = Utilidad neta marginal (USD) * Factor de actualización*

VAN ACUMULADO= Inversión en el año cero – Van año 1..VAN acumulado año ant – VAN año actual.

CUADRO 23: VALOR ACTUAL NETO PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR UTILIZANDO SISTEMAS DE ASPERSIÓN MOVIL EN UN AREA DE 98 HECTAREAS

AÑO	INVERSIÓN (USD)	UTILIDADES NETAS (USD)			FACTOR DE ACTUALIZACION	VAN (USD)	VAN ACUMULADO (USD)
		CON RIEGO	SIN RIEGO	MARGINAL			
0	38,000.00						
1		531	-8,562	9,093	0.9259	8,420	-29,580
2		34,629	6,504	28,125	0.8573	24,113	-5,468
3		38,838	10,713	28,125	0.7938	22,326	16,859
4		34,629	6,504	28,125	0.7350	20,673	37,531
5		30,420	2,295	28,125	0.6806	19,141	56,673
6		26,211	-1,914	28,125	0.6302	17,723	74,396
7		22,002	-6,123	28,125	0.5835	16,411	90,807

REFERENCIAS:

Utilidades: tomadas de los cuadros 19 y 21

Valor de actualización = $1 / (1 + \text{tasa de descuento})^n$; n= año del cultivo y tasa de descuento = 8%

*VAN = Utilidad neta marginal (USD) * Factor de actualización*

VAN ACUMULADO= Inversión en el año cero – Van año 1..VAN acumulado año ant – VAN año actual.

Los resultados anteriores indican que la rentabilidad del cultivo con ambos sistemas es positivo, mayor que la tasa de descuento utilizada en el presente cálculo que es de un 8%, siendo mayor el VAN

del sistema de riego de pivote central. Sin embargo este dato no nos indica que tanto mayor es esta rentabilidad, por lo que el cálculo de la Tasa Interna de Retorno nos proporciona un parámetro complementario.

5.2.3.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno, nos proporciona la tasa real de rendimiento de la inversión. Con el criterio de aceptación que emplea el método de la TIR; si ésta es mayor que la tasa de descuento aplicada al cálculo del Valor Actual Neto, la inversión debe aceptarse; es decir, si el rendimiento de la actividad de producir caña con riego es mayor que el mínimo fijado como aceptable (8%), la inversión es económicamente rentable.

El procedimiento de cálculo se realiza por tanteo, en la cual se determinan los VAN con dos tasas de interés diferentes, de tal forma que uno de los resultados sea VAN positivo y el segundo sea VAN negativo, cuidando que la diferencia entre ambas tasas no sea mayor de 5 puntos porcentuales, posteriormente se determina la TIR del proyecto de la siguiente forma.

$$TIR = I_1 + \frac{V_p (I_2 - I_1)}{V_p + V_n}$$

De donde:

I_1 = Tasa de interés menor

I_2 = Tasa de interés mayor

V_p = VAN positivo

V_n = VAN negativo

A continuación en el cuadro 24, se calculan los valores de VAN acumulado con diferentes factores de actualización, los que se utilizarán posteriormente en la fórmula de cálculo de la Tasa Interna de Retorno de la producción de caña con riego de pivote central.

CUADRO 24: CALCULO DE VALORES ACTUALES NETOS CON DIFERENTES TASAS DE DESCUENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA TASA INTERNA DE RETORNO DEL SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL

AÑO	VAN POSITIVO				VAN NEGATIVO		
	Flujo Neto (USD)	Factor de actualización (85%)	VAN con tasa de descuento menor	VAN acumulado	Factor de actualización (90%)	VAN con tasa de descuento mayor	VAN acumulado
1	36,004	0.5405	19,461	-34,894	0.5263	18,949	-35,406
2	57,249	0.2922	16,727	-18,166	0.2770	15,859	-19,547
3	57,249	0.1579	9,042	-9,124	0.1458	8,347	-11,201
4	57,249	0.0854	4,887	-4,237	0.0767	4,393	-6,808
5	57,249	0.0461	2,642	-1,595	0.0404	2,312	-4,496
6	57,249	0.0249	1,428	-167	0.0213	1,217	-3,279
7	57,249	0.0135	772	605	0.0112	640	-2,638

Con los valores calculados anteriormente en el tanteo con tasas de interés mayor y menor, se sustituye en la fórmula de TIR para determinar su valor.

$$\text{TIR} = 85\% + \frac{772 (90\% - 85\%)}{772 + 2,638} = 87\%$$

En el cuadro 25, se calculan los Valores Actuales Netos a diferentes tasas de actualización, con lo que posteriormente se obtendrá la Tasa Interna de Retorno de los flujos netos al producir caña de azúcar con riego por aspersión móvil.

CUADRO 25: CALCULO DE VALORES ACTUALES NETOS CON DIFERENTES TASAS DE DESCUENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA TASA INTERNA DE RETORNO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN MOVIL

AÑO	VAN POSITIVO				VAN NEGATIVO		
	Flujo Neto (USD)	Factor de actualización (52%)	VAN con tasa de descuento menor	VAN acumulado	Factor de actualización (57%)	VAN con tasa de descuento mayor	VAN acumulado
1	9,093	0.6579	5,982	-32,018	0.6369	5,792	-32,208
2	28,125	0.4328	12,173	-19,844	0.4057	11,410	-20,798
3	28,125	0.2848	8,009	-11,836	0.2584	7,268	-13,530
4	28,125	0.1873	5,269	-6,567	0.1646	4,629	-8,901
5	28,125	0.1232	3,466	-3,101	0.1048	2,948	-5,953
6	28,125	0.0811	2,281	-820	0.0668	1,878	-4,075
7	28,125	0.0533	1,500	680	0.0425	1,196	-2,879

Con los valores calculados anteriormente en el tanteo con tasas de interés mayor y menor, se sustituye en la fórmula de TIR para determinar su valor.

$$\text{TIR} = 52\% + \frac{680 (57\% - 52\%)}{680 + 2,879} = 55.4\%$$

Los resultados anteriores indican que el invertir en un sistema de pivote central para producir caña de azúcar, la tasa real de rendimiento del capital invertido, es del orden de un 87 % con el sistema de riego por pivote central y de un 55.4% con aspersión móvil, ambos son aceptables pues son mayores a la tasa de descuento del 8%. En otras palabras estos resultados indican que por cada USD 100.00 invertidos en el sistema de pivote central, se generan USD 87.0 adicionales sobre la utilidad que se obtiene si no se aplica riego. Así mismo la inversión de cada USD 100.00 en equipos de aspersión produce USD 55.40 adicionales sobre la utilidad que se obtiene si no se riega.

5.2.3.3. RELACION BENEFICIO COSTO (B/C)

La relación Beneficio Costo para la producción de caña de azúcar irrigada con un sistema de pivote central de 87 hectáreas y un sistema de riego por aspersión móvil de 98 hectáreas, se calculan utilizando los datos de costos y beneficios contenidos en los cuadros 19, 20 y 21. El cálculo completo de la relación Beneficio Costo se presenta en los cuadros 26 y 27.

CUADRO 26: RELACION BENEFICIO COSTO DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZUCAR IRRIGADA CON UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL, EN UN AREA DE 87 HECTAREAS.

AÑO	COSTOS USD/AÑO/87 HECTAREAS			BENEFICIOS USD/AÑO/87 HECTAREAS			Factor de actualización (8% de descuento)	VALORES MARGINALES ACTUALIZADOS (USD/AÑO)		RELACION BENEFICIO COSTO
	Regando con	Sin Riego	Costo	Regando con	Sin Riego	Beneficio		COSTOS	BENEFICIOS	
	Pivote Central		Marginal	Pivote Central						
1	111,809	88,195	23,614	140,212	80,594	59,618	0.9259	21,865	55,202	
2	82,708	80,340	2,368	145,732	86,114	59,618	0.8573	2,030	51,113	
3	84,492	82,124	2,368	151,252	91,634	59,618	0.7938	1,880	47,326	
4	82,708	80,340	2,368	145,732	86,114	59,618	0.7350	1,741	43,821	
5	80,925	78,557	2,368	140,212	80,594	59,618	0.6806	1,612	40,575	
6	79,141	76,773	2,368	134,692	75,074	59,618	0.6302	1,492	37,569	
7	77,358	74,990	2,368	129,172	69,554	59,618	0.5835	1,382	34,786	
TOTAL	599,142	561,318	37,824	987,003	569,679	417,323		32,002	310,391	9.7

CUADRO 27: RELACION BENEFICIO COSTO DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZUCAR IRRIGADA CON UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION MOVIL, EN UN AREA DE 98 HECTAREAS.

AÑO	COSTOS USD/AÑO/98 HECTÁREAS			BENEFICIOS USD/AÑO/98 HECTAREAS			Factor de actualización (8% descuento)	VALORES MARGINALES ACTUALIZADOS (USD/AÑO)		RELACION BENEFICIO COSTO
	Regando con	Sin Riego	Costo	Regando con	Sin Riego	Beneficio		COSTOS	BENEFICIOS	
	Aspersión Móvil		Marginal	Aspersión Móvil						
1	133,780	99,347	34,434	134,311	90,784	43,527	0.9259	31,883	40,303	
2	105,900	90,498	15,402	140,529	97,002	43,527	0.8573	13,205	37,317	
3	107,909	92,507	15,402	146,747	103,220	43,527	0.7938	12,226	34,553	
4	105,900	90,498	15,402	140,529	97,002	43,527	0.7350	11,321	31,993	
5	103,891	88,489	15,402	134,311	90,784	43,527	0.6806	10,482	29,624	
6	101,882	86,480	15,402	128,093	84,566	43,527	0.6302	9,706	27,429	
7	99,873	84,471	15,402	121,875	78,348	43,527	0.5835	8,987	25,397	
TOTAL	759,133	632,289	126,844	946,395	641,708	304,687		97,809	226,616	2.3

En los resultados de la relación Beneficio Costo, el sistema de pivote central ofrece una razón mayor que la del sistema de riego por aspersión móvil. La relación beneficio costo, indica la relación que existe entre los beneficios económicos sujetos a una tasa de descuento, por cada unidad de dinero invertida, en otras palabras, por cada dólar invertido en la producción de caña de azúcar irrigada con un sistema de pivote central, se obtendrán USD 7.30 adicionales a los beneficios que se obtenidos si la producción se lleva a cabo con un sistema de aspersión móvil.

5.2.3.4. TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Un parámetro importante que determina la conveniencia económica del proyecto, es el período de tiempo en el cual el monto de la inversión en el establecimiento de los sistemas de riego es cubierto en su totalidad, con las utilidades marginales acumuladas generadas, ésta apreciación puede observarse en la siguiente gráfica.

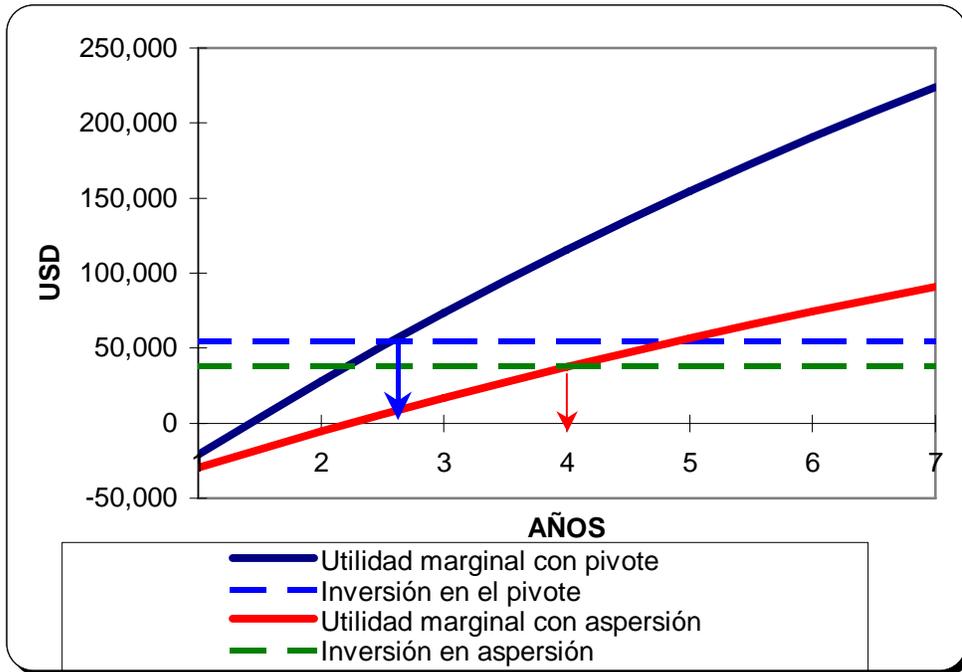


FIGURA 25: PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Como puede observarse con los valores acumulados netos para cada uno de los sistemas de riego evaluados, (valores de los cuadros 22 y 23), la inversión que se realiza en el pivote central se recupera entre el segundo y tercer año, mientras que la inversión en el sistema de aspersión móvil entre el tercer y cuarto año, lo que indica que ambos sistemas de riego poseen condiciones económicas de recuperación de la inversión. Aunque como puede observarse al final del período, tal y como se calculó en el VAN, las utilidades generadas por el sistema de pivote central son significativamente mayores.

A continuación en el cuadro 28, se presenta un resumen de los Indicadores Financieros calculados en los incisos anteriores.

CUADRO 28: RESUMEN DE INDICADORES FINANCIEROS DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR CON RIEGO DE PIVOTE CENTRAL Y ASPERSIÓN MOVIL.

INDICADOR FINANCIERO PARA UN PERIODO DE 7 AÑOS	SISTEMA DE RIEGO A UTILIZAR		
	PIVOTE CENTRAL (a)	ASPERSIÓN MOVIL (b)	DIFERENCIA (a - b)
Valor Actual Neto (USD), con tasa de descuento del 8%	224,034	90,807	132,227
Tasa Interna de Retorno (%)	87	55.4	31.6
Relación Beneficio / Costo	9.7	2.3	7.4
Tiempo de Recuperación de la Inversión (rango de años)	2 a 3 años	3 a 4 años	1 año

6. CONCLUSIONES

- a) El sistema de aspersión móvil utiliza un caudal de 50 litros por segundo, aplica una lámina bruta de 67 milímetros en un área de 4.89 hectáreas en 18 horas de operación, la frecuencia de riego es fija y controlada de 20 días debido a aspectos administrativos. El sistema irriga un total de 98 hectáreas; el equipo bajo estas condiciones irriga 0.27 hectáreas por hora de operación.
- b) El sistema de pivote central fijo utiliza un caudal de 69 litros por segundo, aplica una lámina bruta de 11 milímetros en un área de 87 hectáreas durante 41 horas de operación, la frecuencia de riego se programa en función del balance hídrico. El sistema irriga un total de 87 hectáreas; el equipo bajo estas condiciones irriga 2.12 hectáreas por hora de operación.
- c) El sistema de riego de aspersión móvil no se diseña para requerimiento de agua en máxima demanda del cultivo, mientras que el sistema de riego de pivote central fijo si puede abastecer las evapotranspiraciones máximas del cultivo.
- d) El sistema de pivote central tiene requerimientos mínimos de energía y mano de obra, los aspersores del sistema de aspersión móvil funcionan con una presión de operación 60 libras por pulgada cuadrada, mientras que los aspersores del pivote central 20 libras por pulgada cuadrada. Durante un turno de 24 horas de riego, el sistema de aspersión móvil utiliza 6 operarios mientras que el pivote central únicamente 2 operadores.
- e) La operación del sistema de riego de pivote central evaluado requiere 61 Hp de potencia, mientras que el sistema de aspersión móvil 92.5 Hp, por lo que la demanda de energía es menor en 52% al utilizar el pivote central, por lo que los costos por consumo de combustible para regar anualmente una hectárea aplicando una lámina de 301 milímetros fue la siguiente; con el pivote central USD 42.28 mientras que con el sistema de aspersión móvil es de USD 92.28. La reducción del costo es de 54%.
- f) El costo anual de mano de obra para regar una hectárea de caña de azúcar, aplicando una lámina de 301 milímetros fue de USD 18.48 con el pivote central y USD 112.14 con aspersión móvil, lo cual hace que éste sea uno de los rubros donde se reduce el costo en 84%.
- g) El costo de operación de riego con el sistema de riego de pivote central tiene un costo de USD 0.32 / mm aplicado, mientras que con el sistema de aspersión móvil es de USD 0.66 /mm, esto se debe a los bajos costos de energía y mano de obra. La reducción del costo al utilizar el pivote central respecto al sistema tradicional es de 52%.

- h) El costo total de riego para aplicar 301 milímetros de agua fue el siguiente; con el pivote central USD 108 /Ha, mientras que con el sistema de aspersión móvil fue de USD 266 /Ha. Siendo un 60% la reducción del costo al utilizar el pivote central.
- i) La aplicación oportuna del riego durante el primer año de funcionamiento del pivote y sin duda otros aspectos de manejo del cultivo relacionados con el buen contenido de humedad en el suelo, incrementaron la producción en 19 Tn de caña/Ha, respecto a la producción de la zafra 1998-1999, el cual consistió en una plantía regada por aspersión móvil; el mismo incremento se obtuvo con respecto al área irrigada con aspersión móvil durante el año 2003 que fue el primer año de evaluación.
- j) En base a los costos de operación estimados, costo de inversión y las estimaciones de diferenciales de producción entre ambos sistemas para siete años de cultivo de caña, los valores actuales netos (VAN) calculados son de USD 224,034 para pivote y aspersión móvil de USD 90,807. Lo anterior indica que la producción de caña de azúcar con riego es viable con una tasa de descuento del 8%. La tasa interna de retorno (TIR) obtenidas en el cálculo para la producción de caña de azúcar con riego es de 87% al regar con pivote central y 55.4% al regar el cultivo con aspersión móvil, superando la tasa de descuento del 8% utilizada para el análisis financiero. La relación beneficio costo de la producción de caña de azúcar con riego son; al regar con pivote central 9.7, mientras que al aplicar riego con aspersión móvil es de 2.3, lo cual indica que al invertir en sistemas de riego de pivote central para producir caña de azúcar, se obtiene USD 7.40 dólares adicionales por cada dólar de costo de producción. Para el pivote central que irriga 87 hectáreas, el período de recuperación de la inversión es de 2 a 3 años, mientras que para el de un módulo de aspersión móvil de 98 hectáreas de riego es de 3 a 4 años.

7. RECOMENDACIONES

- a) Sensibilizar el presente análisis técnico-económico con las producciones reales de cada año de producción, a partir del segundo año.
- b) En función de las ventajas que ofrece el sistema de riego de pivote central, por los bajos costos de combustible, mano de obra y de operación de riego, se recomienda su uso para riego en el cultivo de caña de azúcar.
- c) Al iniciar un proyecto de establecimiento de cultivo de caña de azúcar deberá tomarse en consideración preferentemente se utilice riego de pivote central siempre que la topografía y el relieve del terreno lo permitan, pues debido a su potencial de incrementar la producción por unidad de área, permite diluir costos fijos tal como el arrendamiento de la tierra, costo de inversión, costos de mano de obra, combustible, mantenimiento y administración.
- d) Implementar en el pivote central, un sistema de fertirrigación y evaluar el efecto sobre la producción y costos, éste se facilita debido a la alta frecuencia con que puede aplicarse agua de riego al cultivo, permite la división de las aplicaciones de nutrientes en igual número de riegos o bien realizarlo en la etapa crítica de crecimiento, al momento en que con los métodos convencionales de fertilización ésta sería imposible de realizar.
- e) Utilizar el sistema de aspersión móvil en áreas con relieve irregular, especialmente con porcentajes de pendiente mayores al 30%, éstos son lugares donde el pivote central no puede desplazarse.
- f) Si se tiene establecido un sistema de riego por aspersión móvil, debe llevarse a cabo un estricto manejo, cuidando que su funcionamiento, instalación y operación sea el más adecuado, con el fin de garantizar una buena aplicación de la lámina de riego, ya que debido a su elevado costo de mano de obra y combustible una leve disminución de la lámina aplicada en cada riego, aumentará considerablemente el costo de producción.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguas Subterráneas , CO. 2002. Estudio hidrogeológico y geoelectrico para exploración de aguas subterráneas de la finca Monte Alegre. Guatemala. 51 p.
2. Alfaro P, R. 2000. Programa de producción de semilla básica mejorada de caña de azúcar. *In* Congreso de Atalac (5., 2000, San José, CR); Congreso de Ataca (13., 2000, San José, CR); Congreso de Atacori (14., 2000, San José, CR). Memorias. San José, Costa Rica. 6 p.
3. Barahona, R. 2001. Estudio y aprovechamiento para riego del acuífero superficial de la zona baja de la costa sur de Guatemala. *In* Congreso Nacional de la Caña de Azúcar (10., 2001, GT); Simposio Nacional de Plagas (2., 2001, GT). Memoria. Guatemala. p. 115-121.
4. CENGICANÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. 242 p.
5. _____. 2003. Análisis de la zafra 2003-2004, variedades. Guatemala. 23 p.
6. _____. 2003. Sistema de información metereológica de la zona cañera de Guatemala. Guatemala. 10 p.
7. _____. 2003. Análisis de resultados de la zafra 2001-2002. *In* Simposio (7., 2003, GT). Guatemala. p. 6-9.
8. Chaparro, AJ. 2002. Preparación de tierras. *In* Seminario de Adecuación de Tierras (2002, CO). Memoria. Cali, CO, TECNICAÑA. p. 16-20.
9. China, MA; Rodríguez, LE. 1994. Enfermedades de la caña de azúcar. La Habana, Cuba, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. 100 p.
10. CIDIAT (Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, VE). 1986. Manual de riego por aspersión. Venezuela. 135 p.
11. Daza, OH. 2002. Conceptos de adecuación de tierras. *In* Seminario de Adecuación de Tierras (2002, CO). Memoria. Cali, CO, TECNICAÑA. p. 9-23.
12. Guerra, G. 1992. Manual de administración de empresas agropecuarias. San José CR, IICA. 579 p.
13. Haeckel F, MA. 2002. Efecto de la presencia de *Clavibacter xyli* en el rendimiento de caña de azúcar variedad CP 72-2086 por aplicación de termo hidroterapia a sus yemas. Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala. p. 26.
14. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1983. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja cartográfica La Gomera no. 1968-II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.

15. Ingenio La Unión, GT. 2002. Informe de gestión 2001-2002 del área de campo. Escuintla, Guatemala. 65 p.
16. Juárez, D *et al.* 1998. Requerimientos de riego de la caña de azúcar en la Costa Sur de Guatemala estudio exploratorio. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 63 p. (Documento Técnico no. 15).
17. Leonardo, A. 1998. Manual para la identificación y manejo de las principales malezas en caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA. 131 p.
18. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001 Mapa de cuencas hidrográficas de la república de Guatemala. Esc. 1:2,000,000. Color.
19. _____. 2001. Mapa de recarga hídrica modificado de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:2,000,000. Color
20. _____. 2001. Mapa de zonas de vida de Holdridge de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:2,000,000. Color.
21. _____. 2003. Informe de gestión del departamento de ingeniería agrícola 2002-2003. Escuintla, Guatemala. 10 p.
22. Marquez, JM. 2003. Estimación de pérdidas causadas por el barrenador del tallo (*Diatraea* spp.) en las variedades CP72-2086 y PR87-2080. Guatemala, CENGICAÑA. 177 p.
23. Obiols Del Cid, R. 1980. Mapa climatológico de la república de Guatemala, según el sistema Thornthwaite. Guatemala. Esc. 1:1,000,000.
24. Orozco, H *et al.* 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) en Guatemala con fines de investigación en variedades. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 33 p. (Documento Técnico no. 6).
25. Queme, JL *et al.* 2003. Comportamiento de la floración de 306 variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en dos cortes evaluadas en dos estratos altitudinales de la zona cañera de Guatemala. *In* Presentación de Resultados de Investigación, Zafra 2002-2003; CENGICAÑA (2003, GT). Memoria. Guatemala, CENGICAÑA. 7 p.
26. Sandoval I, J. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC. 345 p.
27. Sandoval I, J. 2002. Proyecto: investigación en riego y drenaje; propuesta al Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Guatemala, CENGICAÑA. 25 p.
28. Soto, G; Orozco, H; Ovalle, W. 1998. Semilleros de caña de azúcar de alta calidad para la agroindustria azucarera de Guatemala. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 10 p.
29. Soto, GJ. 1995. Prototipo varietal de caña de azúcar para la agroindustria azucarera guatemalteca. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. (Documento Técnico no. 5).
30. Subiros, RF. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, CR, Editorial Universidad a Distancia. 441 p.

31. Toledo, R; Badilla, FF. 1996. Patogenicidad de *Metarhizium anisopliae* en adultos de *Aeneolamia albofasciata* y *Prosapia* spp. en el ingenio La Unión S.A. Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala. 36 p.

9. APENDICES

CUADRO 29 A: PLAGAS DE IMPORTANCIA ECONOMICA EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR EN GUATEMALA.

NOMBRE COMUN	NOMBRE TÉCNICO	DAÑO QUE OCASIONA AL CULTIVO	CONTROL
Chinche salivosa	<i>Aeneolamia postica</i> <i>Prosapia simulans</i>	Necrosamiento del área foliar, provocando fitotoxemia, disminuye la capacidad fotosintética y por ende el proceso formativo de sacarosa (31)	<ul style="list-style-type: none"> • Control biológico con el hongo <i>Metarhizium anisopliae</i>. • Labores culturales como drenaje, aporque y desaporque. • Control etológico con trampas. • Control químico.
Barrenadores del tallo	<i>Diatraea spp.</i>	Deterioro de la calidad del jugo, asociado con proliferación de muermo rojo (<i>Colletotricum falcatum</i>) que produce una reducción en el pol y brix y un aumento de fibra (22)	<ul style="list-style-type: none"> • Control biológico con parasitorides: <i>Lydella minense</i> y <i>Paratheresia claripalpis</i>
Plagas del suelo <ul style="list-style-type: none"> • Gallina Ciega • Gusano alambre • Chinche hedionda 	<i>Phyllophaga spp.</i> <i>Agriotes spp.</i> <i>Scaptocoris talpa</i>	Daño radicular	<ul style="list-style-type: none"> • Control químico • Se investiga el control biológico con nematodos <i>Heterorhabditis spp.</i> Y <i>Diplogasteritus spp.</i> • Control biológico con <i>Metarhizium anisopleae</i>.
Roedores	<i>Sigmodon hispidus</i>	Roen los entrenudos basales hasta una altura de 45 cm, provocando la muerte del tallo (22).	<ul style="list-style-type: none"> • Control de lugares de refugio. • Protección y fomento de depredadores. • Trampas • Rodenticidas anticoagulantes.

CUADRO 30 A: ENFERMEDADES DE IMPORTANCIA ECONOMICA EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR EN GUATEMALA

NOMBRE COMUN	NOMBRE TÉCNICO	DAÑO QUE OCASIONA AL CULTIVO	CONTROL
Carbón	<i>Ustilago scitaminea</i>	Muerte del meristemo aplicar del tallo, ocasionando brotes en forma de látigo (9).	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia varietal
Raquitismo de las socas	<i>Clavibacter xyli</i>	Evita el movimiento de agua y nutrimentos originando un pobre desarrollo de entrenudos (14).	<ul style="list-style-type: none"> Tratamiento hidrotérmico
Roya	<i>Puccinia melanocephala</i>	Reducción del rendimiento de hasta 21 th/ha (29). Produce una muerte necrótica de la hoja, disminuyendo su actividad fotosintética (9)	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia varietal
Escaldadura foliar	<i>Xanthomonas albilineans</i>	Clorosis longitudinal en las hojas, paralelas a la nervadura central, acortamiento de entre nudos y muerte de la cepa (9 y 29).	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia varietal
Raya Roja	<i>Pseudomonas rublilineans</i>	Pudrición y muerte del cogollo así como del tercio superior del tallo (9).	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia varietal

CUADRO 31 A: DATOS HISTORICOS DE PRODUCCIÓN DE AREAS CON RIEGO EN FINCA MONTE ALEGRE.

Precipitación pluvial 2179 mm

Zafra 98-99 (Primera soca)			
Pante	Ton/Mz	Conv.	Ton/Ha
1.08	62	1.4311	88.73
1.09	64	1.4311	91.59
1.10	88	1.4311	125.94
1.13	73	1.4311	104.47
1.14	65	1.4311	93.02
1.15	65	1.4311	93.02
1.18	108	1.4311	154.56
1.19	76	1.4311	108.76
Promedio			107.51

Precipitación pluvial 1730 mm

Zafra 03-04 (Primera soca) Irrigado con Pivote			
Pante	Total/Ton	Area	Ton/Ha
1.08	979.38	7.54	129.89
1.09	960.60	7.68	125.08
1.10	1,097.17	7.58	144.74
1.13	950.83	7.55	125.94
1.14	938.86	7.62	123.21
1.15	933.97	7.49	124.70
1.18	805.64	6.57	122.62
1.19	781.96	6.63	117.94
Promedio	7,448.40	58.66	126.98

Precipitación pluvial 1632 mm

Zafra 99-00			
Pante	Ton/Mz	Conv.	Ton/Ha
1.08	78	1.4311	111.63
1.09	50	1.4311	71.56
1.10	75	1.4311	107.33
1.13	73	1.4311	104.47
1.14	64	1.4311	91.59
1.15	60	1.4311	85.87
1.18	62	1.4311	88.73
1.19	46	1.4311	65.83
Promedio			90.87

Precipitación pluvial 1203 mm

Zafra 00-01			
Pante	Ton/Mz	Conv.	Ton/Ha
1.08	78	1.4311	111.63
1.09	58	1.4311	83.00
1.10	84	1.4311	120.21
1.13	62	1.4311	88.73
1.14	55	1.4311	78.71
1.15	61	1.4311	87.30
1.18	68	1.4311	97.31
1.19	31	1.4311	44.36
Promedio			88.91

Precipitación pluvial 1148 mm

Zafra 01-02			
Pante	Total/Ton	Area	Ton/Ha
1.08	705.86	7.28	96.96
1.09	689.06	7.53	91.51
1.10	979.93	7.61	128.77
1.13	743.59	7.39	100.62
1.14	651.66	7.55	86.31
1.15	858.3	6.94	123.67
1.18	834.64	5.11	163.33
1.19	799.33	6.78	117.90
Promedio	6262.37	56.19	111.45

Precipitación pluvial 958 mm

Zafra 02-03			
Pante	Total/Ton	Area	Ton/Ha
1.08	823.35	7.54	109.20
1.09	859.07	7.68	111.86
1.10	855.75	7.4	115.64
1.13	784.74	7.5	104.63
1.14	553.65	7.62	72.66
1.15	921.45	6.61	139.40
1.18	728.51	6.57	110.88
1.19	674.13	6.63	101.68
Promedio	6200.65	57.55	107.74

CUADRO 32 A: ANÁLISIS QUÍMICO DE AGUA DE LAS POZAS DE LA FINCA MONTE ALEGRE, MAYO DE 2003.

PARAMETRO	RESULTADO	OBSERVACIONES
Ph	7.3	
Conductividad Eléctrica	0.28 ds/m	Ubicada dentro del rango normal
Relación de Adsorción de sodio (RAS)	0.99	Ubicada dentro del rango normal
Dureza CaCO ₃	63.4 ppm	Adecuada
Alcalinidad Total CaCO ₃	120.5 ppm	Adecuada
N-NO ₃	1.8 ppm	
Fósforo	0.1 ppm	
Potasio	4.2 ppm	
Calcio	11.3 ppm	
Magnesio	8.6 ppm	
Boro	0.1 ppm	
Cobre	0.1 ppm	
Hierro	0.2 ppm	Pueden formarse hidróxidos de Fe
Manganeso	0.4 ppm	Puede acumularse en el suelo
Zinc	0.1 ppm	
Sodio	18.1 ppm	
CO ₃	5 ppm	
HCO ₃	148 ppm	

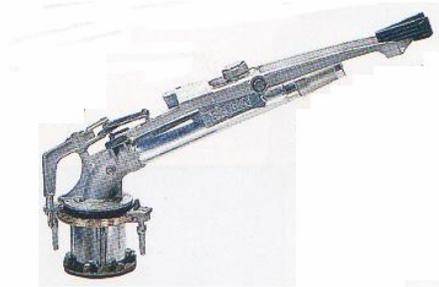
Fuente: Análisis químico realizado en los laboratorios de Soluciones Analíticas S.A.

CUADRO 33 A: TABLA DE DESEMPEÑO DEL ASPERSOR NELSON F-150, DEL SISTEMA DE RIEGO DE ASPERSIÓN MOVIL

150 SERIES BIG GUN - 24° TRAJECTORY - TAPER BORE NOZZLE

P.S.I.	Nozzle .7"		Nozzle .8"		Nozzle .9"		Nozzle 1.0"		Nozzle 1.1"		Nozzle 1.2"	
	GPM	DIA.	GPM	DIA.	GPM	DIA.	GPM	DIA.	GPM	DIA.	GPM	DIA.
50	100	250'	130	270'	165	290'	205	310'	255	330'	300	345'
60	110	265'	143	285'	182	305'	225	325'	275	345'	330	365'
70	120	280'	155	300'	197	320'	245	340'	295	360'	355	380'
80	128	290'	165	310'	210	335'	260	355'	315	375'	380	395'
90	135	300'	175	320'	223	345'	275	365'	335	390'	405	410'
100	143	310'	185	330'	235	355'	290	375'	355	400'	425	420'
110	150	320'	195	340'	247	365'	305	385'	370	410'	445	430'
120	157	330'	204	350'	258	375'	320	395'	385	420'	465	440'

Condiciones de operación del aspersor



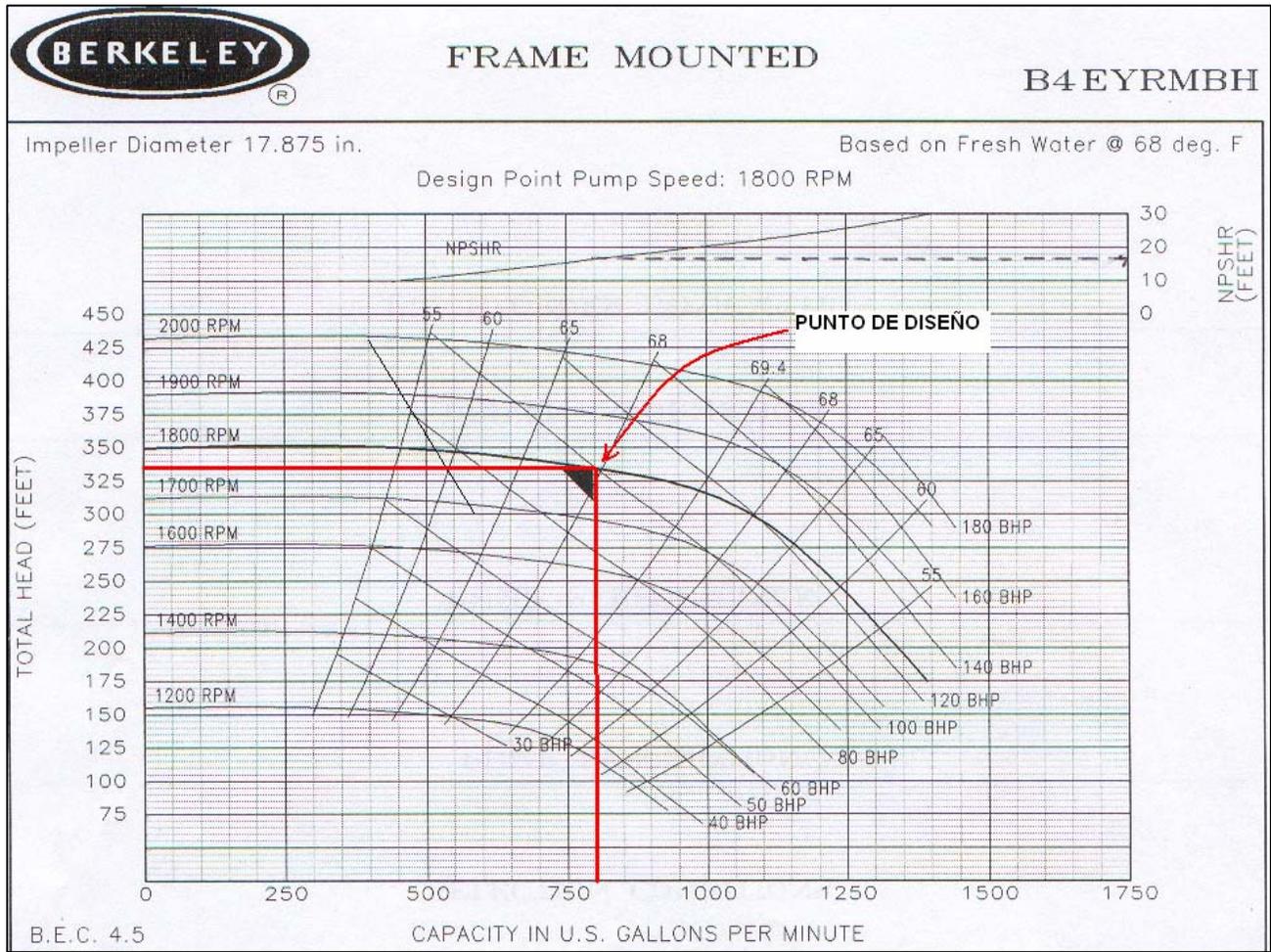


FIGURA 26 A: CURVA DE DESEMPEÑO DE LA BOMBA DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN MOVIL, MODELO B4EYRMBH.



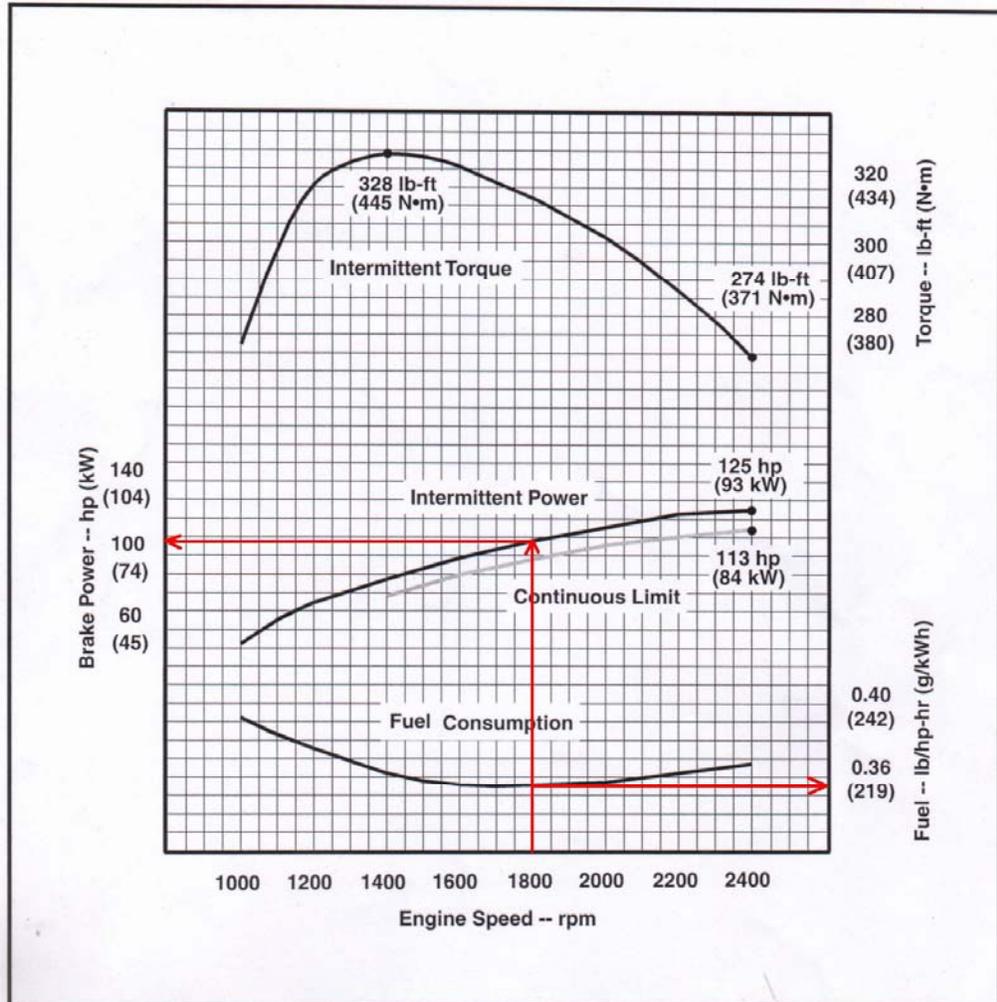
Engine Performance Curve

POWERTECH 4.5L Engine
Model: 4045TF250

Rating: Gross Power

Application: Industrial
 Intermittent / Continuous

[Option 1606 / 1683]
 125 hp @ 2400 rpm
 93 kW @ 2400 rpm



Air Intake Restriction -- 12 in.H₂O (3 kPa) Exhaust Back Pressure -- 30 in.H₂O (7.5 kPa)

Gross* power guaranteed within + or - 5 % at SAE J1995 and ISO 3046
 conditions: 77 °F (25 °C) air inlet temperature
 29.31 in.Hg (99 kPa) barometer
 104 °F (40 °C) fuel inlet temperature
 0.853 fuel specific gravity @ 60 °F (15.5 °C)
 Conversion factors: Power: kW = hp x 0.746
 Fuel: 1 gal = 7.1 lb, 1 L = 0.85 kg
 Torque: Nm = lb-ft x 1.356

Emission Certifications:
 CARB; EEC; EPA
 Ref: Engine Emission Label

Certified by:
Neal Lopez
 15 Dec 95

Curve:
 4045TF250125I
 Date: 12-95
 Sheet 1 of 2
 * Revised Data

All values are from currently available data and are subject to change without notice.

FIGURA 27 A: CURVA DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DEL SISTEMA DE RIEGO DE ASPERSIÓN MOVIL, JOHN DEERE 4045 TF 250

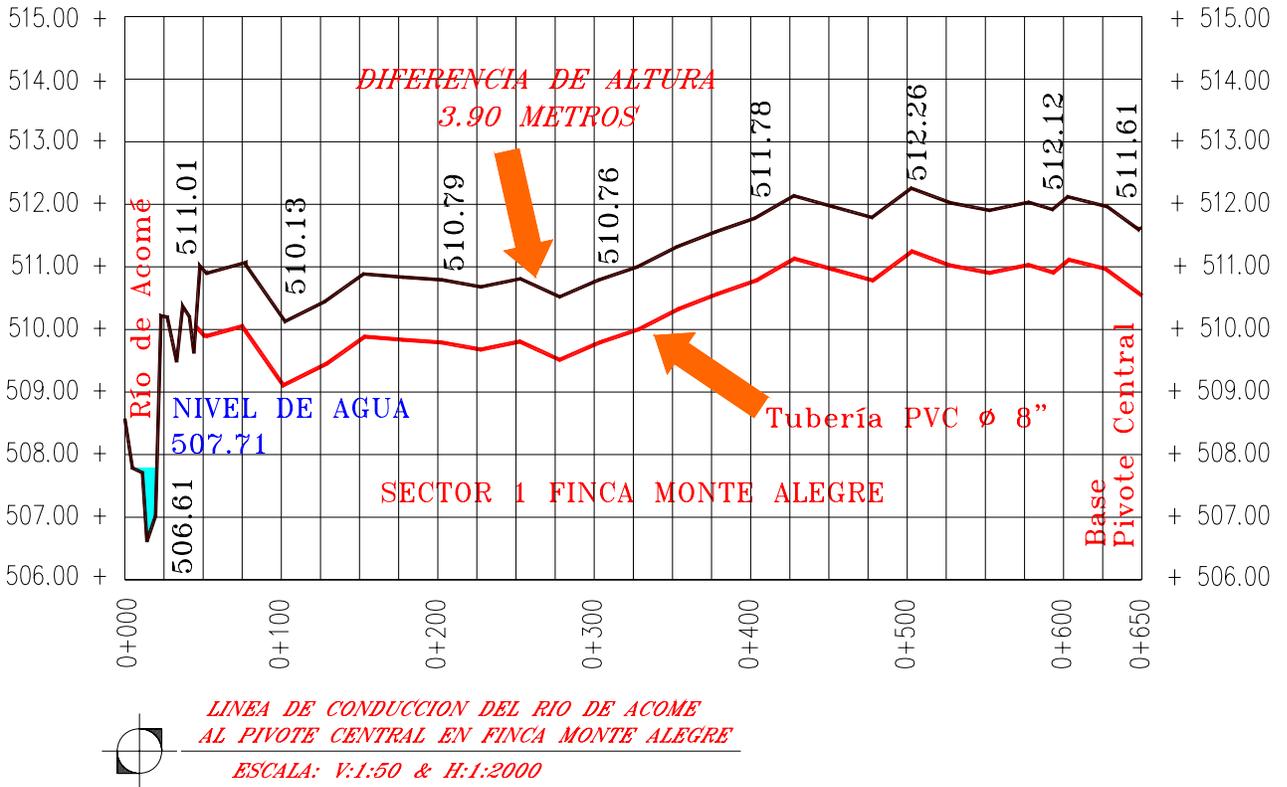


FIGURA 28 A: PERFIL DE TUBERÍA DE CONDUCCIÓN DEL RIO ACOMÉ HACIA EL PUNTO PIVOTE CENTRAL

CUADRO 34 A: CARTILLA DE DISTRIBUCIÓN DE ASPERSORES DEL PIVOTE CENTRAL, VALMONT INT'L CORP

Parent Order#: Order No: LaUnion01
 Dealer: 00008100/VALMONT INT'L CORP. Customer: VALMONT INT'L CORP.
 Field Name: Ingenio La Union

Cpl No	Dist From Pivot	Spk No	Dist Last Spk	Nozzle Size	Color	Wear Pad	Drop Length	Regulator	Spk PSI	Act GPM	

1	6.72			Gauge							
Sprinkler: Senninger Super Spray Spray											

2	15.13	1		4	Light Blue	FlatMed36	191	PMR 20L	21.67	0.51	
3	23.54	2	8.41	4	Light Blue	FlatMed36	194	PMR 20L	21.67	0.51	
4	31.95	3	8.41	4	Light Blue	FlatMed36	197	PMR 20L	21.66	0.51	
5	40.36	4	8.41	4	Light Blue	FlatMed36	199	PMR 20L	21.66	0.51	
6	48.77	5	8.41	4	Light Blue	FlatMed36	200	PMR 20L	21.66	0.51	
7	57.18	6	8.41	4	Light Blue	FlatMed36	201	PMR 20L	21.66	0.51	
8	65.59	7	8.41	4	Light Blue	FlatMed36	202	PMR 20L	21.66	0.51	
9	74.00	8	8.41	4	Light Blue	FlatMed36	202	PMR 20L	21.66	0.51	
10	82.41	9	8.41	4	Light Blue	FlatMed36	201	PMR 20L	21.66	0.51	
11	89.73	10	7.32	4	Light Blue	FlatMed36	200	PMR 20L	21.66	0.51	
12	97.05	11	7.32	4.5	Lt Blue/Beige	FlatMed36	198	PMR 20L	21.65	0.63	
13	104.37	12	7.32	4.5	Lt Blue/Beige	FlatMed36	196	PMR 20L	21.65	0.63	
14	111.69	13	7.32	4.5	Lt Blue/Beige	FlatMed36	194	PMR 20L	21.65	0.63	
15	120.16	14	8.47	5	Beige	FlatMed36	190	PMR 20L	21.64	0.80	
16	128.63	15	8.47	5.5	Beige/Gold	FlatMed36	186	PMR 20L	21.64	0.99	
17	137.10	16	8.47	5.5	Beige/Gold	FlatMed36	182	PMR 20L	21.64	0.99	
18	145.57	17	8.47	5.5	Beige/Gold	FlatMed36	177	PMR 20L	21.64	0.99	
148.72 Tower Number: 1				Span Length: 147.70							

19	152.70	18	7.13	5.5	Beige/Gold	FlatMed36	177	PMR 20L	21.64	0.99	
20	161.16	19	8.46	5.5	Beige/Gold	FlatMed36	181	PMR 20L	21.63	0.99	
21	169.62	20	8.46	6	Gold	FlatMed36	185	PMR 20L	21.62	1.20	
22	178.08	21	8.46	6	Gold	FlatMed36	189	PMR 20L	21.62	1.19	
23	186.54	22	8.46	6	Gold	FlatMed36	191	PMR 20L	21.61	1.19	
24	195.00	23	8.46	6.5	Gold/Lime	FlatMed36	194	PMR 20L	21.60	1.41	
25	203.46	24	8.46	6.5	Gold/Lime	FlatMed36	195	PMR 20L	21.60	1.41	
26	211.92	25	8.46	6.5	Gold/Lime	FlatMed36	196	PMR 20L	21.60	1.41	
27	220.38	26	8.46	7	Lime	FlatMed36	197	PMR 20L	21.59	1.64	
28	228.84	27	8.46	6.5	Gold/Lime	FlatMed36	196	PMR 20L	21.60	1.41	
29	236.16	28	7.32	6.5	Gold/Lime	FlatMed36	196	PMR 20L	21.60	1.41	
30	243.48	29	7.32	6.5	Gold/Lime	FlatMed36	195	PMR 20L	21.60	1.41	
31	250.80	30	7.32	6.5	Gold/Lime	FlatMed36	193	PMR 20L	21.59	1.41	
32	258.12	31	7.32	7	Lime	FlatMed36	191	PMR 20L	21.57	1.63	
33	266.59	32	8.47	7.5	Lime/Lavender	FlatMed36	189	PMR 20L	21.55	1.86	
34	275.06	33	8.47	7.5	Lime/Lavender	FlatMed36	185	PMR 20L	21.54	1.86	
35	283.52	34	8.46	8	Lavender	FlatMed36	181	PMR 20L	21.53	2.11	
36	291.99	35	8.47	7.5	Lime/Lavender	FlatMed36	177	PMR 20L	21.54	1.86	
296.14 Tower Number: 2				Span Length: 147.42							

37	300.12	36	8.13	8	Lavender	FlatMed36	177	PMR 20L	21.52	2.11	
38	308.58	37	8.46	8	Lavender	FlatMed36	181	PMR 20L	21.51	2.11	
39	317.04	38	8.46	8	Lavender	FlatMed36	185	PMR 20L	21.50	2.11	
40	325.50	39	8.46	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	189	PMR 20L	21.49	2.41	
41	333.96	40	8.46	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	191	PMR 20L	21.49	2.41	
42	342.42	41	8.46	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	194	PMR 20L	21.49	2.41	
43	350.88	42	8.46	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	195	PMR 20L	21.49	2.41	
44	359.34	43	8.46	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	196	PMR 20L	21.48	2.41	
45	367.80	44	8.46	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	197	PMR 20L	21.47	2.41	
46	376.26	45	8.46	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	196	PMR 20L	21.47	2.41	
47	383.58	46	7.32	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	196	PMR 20L	21.49	2.41	

Cpl No	Dist From Pivot	Spk No	Dist Last Spk	Nozzle Size	Color	Wear Pad	Drop Length	Regulator	Spk PSI	Act GPM
48	390.90	47	7.32	8	Lavender	FlatMed36	195	PMR 20L	21.50	2.10
49	398.22	48	7.32	8.5	Lavender/Gray	FlatMed36	193	PMR 20L	21.47	2.41
50	405.54	49	7.32	9	Gray	FlatMed36	191	PMR 20L	21.44	2.64
51	414.01	50	8.47	9.5	Gray/Turq	FlatMed36	189	PMR 20L	21.39	2.94
52	422.48	51	8.47	9.5	Gray/Turq	FlatMed36	185	PMR 20L	21.39	2.94
53	430.94	52	8.46	9.5	Gray/Turq	FlatMed36	181	PMR 20L	21.38	2.94
54	439.41	53	8.47	9.5	Gray/Turq	FlatMed36	177	PMR 20L	21.38	2.94
443.56 Tower Number: 3				Span Length: 147.42						
55	447.54	54	8.13	9.5	Gray/Turq	FlatMed36	177	PMR 20L	21.37	2.94
56	456.00	55	8.46	10	Turquoise	FlatMed36	181	PMR 20L	21.33	3.26
57	464.46	56	8.46	10	Turquoise	FlatMed36	185	PMR 20L	21.33	3.26
58	472.92	57	8.46	10	Turquoise	FlatMed36	189	PMR 20L	21.33	3.26
59	481.38	58	8.46	10	Turquoise	FlatMed36	191	PMR 20L	21.32	3.25
60	489.84	59	8.46	10	Turquoise	FlatMed36	194	PMR 20L	21.30	3.25
61	498.30	60	8.46	10.5	Turq/Yellow	FlatMed36	195	PMR 20L	21.27	3.51
62	506.76	61	8.46	10.5	Turq/Yellow	FlatMed36	196	PMR 20L	21.27	3.51
63	515.22	62	8.46	10.5	Turq/Yellow	FlatMed36	196	PMR 20M	22.03	3.57
64	523.68	63	8.46	10	Turquoise	FlatMed36	196	PMR 20L	21.30	3.25
65	531.00	64	7.32	10	Turquoise	FlatMed36	196	PMR 20L	21.33	3.26
66	538.32	65	7.32	10	Turquoise	FlatMed36	195	PMR 20L	21.33	3.26
67	545.64	66	7.32	10	Turquoise	FlatMed36	193	PMR 20L	21.33	3.26
68	552.96	67	7.32	10.5	Turq/Yellow	FlatMed36	191	PMR 20L	21.26	3.51
69	561.43	68	8.47	11	Yellow	FlatMed36	188	PMR 20M	22.00	3.94
70	569.90	69	8.47	11	Yellow	FlatMed36	185	PMR 20M	22.00	3.93
71	578.36	70	8.46	11	Yellow	FlatMed36	181	PMR 20M	21.99	3.93
72	586.83	71	8.47	11	Yellow	FlatMed36	176	PMR 20M	21.99	3.93
590.98 Tower Number: 4				Span Length: 147.42						
73	594.96	72	8.13	11	Yellow	FlatMed36	176	PMR 20M	21.98	3.93
74	603.42	73	8.46	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	181	PMR 20M	21.97	4.26
75	611.88	74	8.46	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	185	PMR 20M	21.97	4.26
76	620.34	75	8.46	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	188	PMR 20M	21.96	4.26
77	628.80	76	8.46	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	191	PMR 20M	21.96	4.25
78	637.26	77	8.46	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	193	PMR 20M	21.95	4.25
79	645.72	78	8.46	12	Red	FlatMed36	195	PMR 20M	21.93	4.67
80	654.18	79	8.46	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	196	PMR 20M	21.94	4.25
81	662.64	80	8.46	12	Red	FlatMed36	196	PMR 20M	21.92	4.67
82	671.10	81	8.46	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	196	PMR 20M	21.95	4.25
83	678.42	82	7.32	11	Yellow	FlatMed36	195	PMR 20M	21.98	3.93
84	685.74	83	7.32	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	194	PMR 20M	21.97	4.26
85	693.06	84	7.32	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	193	PMR 20M	21.97	4.26
86	700.38	85	7.32	11.5	Yellow/Red	FlatMed36	191	PMR 20M	21.94	4.25
87	708.85	86	8.47	12.5	Red/White	FlatMed36	188	PMR 20M	21.88	5.09
88	717.32	87	8.47	12.5	Red/White	FlatMed36	185	PMR 20M	21.89	5.09
89	725.78	88	8.46	12	Red	FlatMed36	181	PMR 20M	21.89	4.66
90	734.25	89	8.47	12.5	Red/White	FlatMed36	176	PMR 20M	21.88	5.09
738.40 Tower Number: 5				Span Length: 147.42						
91	742.38	90	8.13	12.5	Red/White	FlatMed36	176	PMR 20M	21.88	5.09
92	750.84	91	8.46	12.5	Red/White	FlatMed36	181	PMR 20M	21.86	5.09
93	759.30	92	8.46	12.5	Red/White	FlatMed36	185	PMR 20M	21.85	5.09
94	767.76	93	8.46	13	White	FlatMed36	188	PMR 20M	21.84	5.52
95	776.22	94	8.46	12.5	Red/White	FlatMed36	191	PMR 20M	21.85	5.09
96	784.68	95	8.46	13	White	FlatMed36	193	PMR 20M	21.82	5.52
97	793.14	96	8.46	13	White	FlatMed36	195	PMR 20M	21.82	5.52
98	801.60	97	8.46	13	White	FlatMed36	196	PMR 20M	21.82	5.52
99	810.06	98	8.46	13	White	FlatMed36	196	PMR 20M	21.81	5.52
100	818.52	99	8.46	12.5	Red/White	FlatMed36	196	PMR 20M	21.85	5.09
101	825.84	100	7.32	12.5	Red/White	FlatMed36	195	PMR 20M	21.88	5.09
102	833.16	101	7.32	12.5	Red/White	FlatMed36	194	PMR 20M	21.88	5.09
103	840.48	102	7.32	12.5	Red/White	FlatMed36	193	PMR 20M	21.88	5.09

Cpl No	Dist From Pivot	Spk No	Dist Last Spk	Nozzle Size	Color	Wear Pad	Drop Length	Regulator	Spk PSI	Act GPM
104	847.80	103	7.32	13	White	FlatMed36	191	PMR 20M	21.84	5.52
105	856.27	104	8.47	13.5	White/Blue	FlatMed36	188	PMR 20M	21.79	5.95
106	864.74	105	8.47	13.5	White/Blue	FlatMed36	185	PMR 20M	21.79	5.95
107	873.20	106	8.46	13.5	White/Blue	FlatMed36	181	PMR 20M	21.78	5.95
108	881.67	107	8.47	13.5	White/Blue	FlatMed36	176	PMR 20M	21.78	5.95
885.82		Tower Number: 6		Span Length: 147.42						
109	889.80	108	8.13	13.5	White/Blue	FlatMed36	176	PMR 20M	21.77	5.94
110	898.26	109	8.46	13.5	White/Blue	FlatMed36	181	PMR 20M	21.75	5.94
111	906.72	110	8.46	14	Blue	FlatMed36	185	PMR 20M	21.73	6.41
112	915.18	111	8.46	14	Blue	FlatMed36	188	PMR 20M	21.73	6.41
113	923.64	112	8.46	14	Blue	FlatMed36	191	PMR 20M	21.73	6.41
114	932.10	113	8.46	14	Blue	FlatMed36	193	PMR 20M	21.73	6.41
115	940.56	114	8.46	14	Blue	FlatMed36	195	PMR 20M	21.72	6.41
116	949.02	115	8.46	14	Blue	FlatMed36	196	PMR 20M	21.71	6.41
117	957.48	116	8.46	14	Blue	FlatMed36	196	PMR 20M	21.69	6.40
118	965.94	117	8.46	14	Blue	FlatMed36	196	PMR 20M	21.73	6.41
119	973.26	118	7.32	13	White	FlatMed36	195	PMR 20M	21.79	5.51
120	980.58	119	7.32	13.5	White/Blue	FlatMed36	194	PMR 20M	21.77	5.94
121	987.90	120	7.32	13.5	White/Blue	FlatMed36	193	PMR 20M	21.77	5.94
122	995.22	121	7.32	14	Blue	FlatMed36	191	PMR 20M	21.71	6.41
123	1003.69	122	8.47	14.5	Blue/Dk Brown	FlatMed36	188	PMR 20M	21.64	6.88
124	1012.16	123	8.47	14.5	Blue/Dk Brown	FlatMed36	185	PMR 20M	21.63	6.87
125	1020.62	124	8.46	14.5	Blue/Dk Brown	FlatMed36	181	PMR 20M	21.62	6.87
126	1029.09	125	8.47	14.5	Blue/Dk Brown	FlatMed36	176	PMR 20M	21.62	6.87
1033.24		Tower Number: 7		Span Length: 147.42						
127	1037.22	126	8.13	15	Dark Brown	FlatMed36	176	PMR 20M	21.61	7.35
128	1045.68	127	8.46	15	Dark Brown	FlatMed36	181	PMR 20M	21.60	7.35
129	1054.14	128	8.46	15	Dark Brown	FlatMed36	185	PMR 20M	21.61	7.35
130	1062.60	129	8.46	15	Dark Brown	FlatMed36	188	PMR 20M	21.60	7.35
131	1071.06	130	8.46	15	Dark Brown	FlatMed36	191	PMR 20M	21.60	7.35
132	1079.52	131	8.46	15	Dark Brown	FlatMed36	193	PMR 20M	21.59	7.35
133	1087.98	132	8.46	15	Dark Brown	FlatMed36	195	PMR 20M	21.58	7.34
134	1096.44	133	8.46	15	Dark Brown	FlatMed36	196	PMR 20M	21.56	7.34
135	1104.90	134	8.46	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	196	PMR 20M	21.54	7.86
136	1113.36	135	8.46	14.5	Blue/Dk Brown	FlatMed36	196	PMR 20M	21.62	6.87
137	1120.68	136	7.32	14.5	Blue/Dk Brown	FlatMed36	195	PMR 20M	21.66	6.88
138	1128.00	137	7.32	14.5	Blue/Dk Brown	FlatMed36	194	PMR 20M	21.67	6.88
139	1135.32	138	7.32	14.5	Blue/Dk Brown	FlatMed36	193	PMR 20M	21.67	6.88
140	1142.64	139	7.32	15	Dark Brown	FlatMed36	191	PMR 20M	21.60	7.35
141	1151.11	140	8.47	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	188	PMR 20M	21.52	7.86
142	1159.58	141	8.47	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	185	PMR 20M	21.51	7.86
143	1168.04	142	8.46	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	181	PMR 20M	21.49	7.85
144	1176.51	143	8.47	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	176	PMR 20M	21.49	7.85
1180.66		Tower Number: 8		Span Length: 147.42						
145	1184.64	144	8.13	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	176	PMR 20M	21.48	7.85
146	1193.10	145	8.46	16	Orange	FlatMed36	181	PMR 20M	21.44	8.39
147	1201.56	146	8.46	16	Orange	FlatMed36	185	PMR 20M	21.44	8.40
148	1210.02	147	8.46	16	Orange	FlatMed36	188	PMR 20M	21.44	8.40
149	1218.48	148	8.46	16	Orange	FlatMed36	191	PMR 20M	21.44	8.39
150	1226.94	149	8.46	16	Orange	FlatMed36	193	PMR 20M	21.43	8.39
151	1235.40	150	8.46	16	Orange	FlatMed36	195	PMR 20M	21.42	8.39
152	1243.86	151	8.46	16	Orange	FlatMed36	196	PMR 20M	21.40	8.39
153	1252.32	152	8.46	16.5	Orange/Dk Grn	FlatMed36	196	PMR 20M	21.38	8.89
154	1260.78	153	8.46	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	196	PMR 20M	21.48	7.85
155	1268.10	154	7.32	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	195	PMR 20M	21.54	7.86
156	1275.42	155	7.32	15	Dark Brown	FlatMed36	194	PMR 20M	21.55	7.34
157	1282.74	156	7.32	15.5	Dk Brn/Orange	FlatMed36	193	PMR 20M	21.53	7.86
158	1290.06	157	7.32	16	Orange	FlatMed36	191	PMR 20M	21.45	8.40
159	1298.53	158	8.47	16.5	Orange/Dk Grn	FlatMed36	188	PMR 20M	21.36	8.88

Cpl No	Dist From Pivot	Spk No	Dist Last Spk	Nozzle Size	Color	Wear Pad	Drop Length	Regulator	Spk PSI	Act GPM
160	1307.00	159	8.47	16.5	Orange/Dk Grn	FlatMed36	185	PMR 20M	21.35	8.88
161	1315.46	160	8.46	16.5	Orange/Dk Grn	FlatMed36	181	PMR 20M	21.33	8.88
162	1323.93	161	8.47	16.5	Orange/Dk Grn	FlatMed36	176	PMR 20M	21.34	8.88
1328.08		Tower Number: 9			Span Length: 147.42					
163	1332.06	162	8.13	17	Dark Green	FlatMed36	176	PMR 20M	21.32	9.40
164	1340.52	163	8.46	17	Dark Green	FlatMed36	181	PMR 20M	21.32	9.40
165	1348.98	164	8.46	17	Dark Green	FlatMed36	185	PMR 20M	21.32	9.40
166	1357.44	165	8.46	17	Dark Green	FlatMed36	188	PMR 20M	21.32	9.40
167	1365.90	166	8.46	17	Dark Green	FlatMed36	191	PMR 20M	21.32	9.40
168	1374.36	167	8.46	17	Dark Green	FlatMed36	193	PMR 20M	21.31	9.39
169	1382.82	168	8.46	17	Dark Green	FlatMed36	195	PMR 20M	21.29	9.39
170	1391.28	169	8.46	17	Dark Green	FlatMed36	196	PMR 20M	21.28	9.39
171	1399.74	170	8.46	17	Dark Green	FlatMed36	196	PMR 20M	21.25	9.38
172	1408.20	171	8.46	16.5	Orange/Dk Grn	FlatMed36	196	PMR 20M	21.32	8.88
173	1415.52	172	7.32	16	Orange	FlatMed36	195	PMR 20M	21.40	8.39
174	1422.84	173	7.32	16.5	Orange/Dk Grn	FlatMed36	194	PMR 20M	21.39	8.89
175	1430.16	174	7.32	16	Orange	FlatMed36	193	PMR 20M	21.42	8.39
176	1437.48	175	7.32	17	Dark Green	FlatMed36	191	PMR 20M	21.30	9.39
177	1445.95	176	8.47	17.5	Dk Grn/Purple	FlatMed36	188	PMR 20M	21.20	9.89
178	1454.42	177	8.47	17.5	Dk Grn/Purple	FlatMed36	185	PMR 20M	21.18	9.89
179	1462.88	178	8.46	17.5	Dk Grn/Purple	FlatMed36	181	PMR 20M	21.16	9.88
180	1471.35	179	8.47	17.5	Dk Grn/Purple	FlatMed36	176	PMR 20M	21.17	9.88
1475.50		Tower Number: 10			Span Length: 147.42					
181	1479.48	180	8.13	18	Purple	FlatMed36	176	PMR 20M	21.16	10.44
182	1487.94	181	8.46	18	Purple	FlatMed36	181	PMR 20M	21.15	10.44
183	1496.40	182	8.46	18	Purple	FlatMed36	185	PMR 20M	21.16	10.44
184	1504.86	183	8.46	18	Purple	FlatMed36	188	PMR 20M	21.16	10.44
185	1513.32	184	8.46	18	Purple	FlatMed36	191	PMR 20M	21.16	10.44
186	1521.78	185	8.46	18	Purple	FlatMed36	193	PMR 20M	21.15	10.44
187	1530.24	186	8.46	18	Purple	FlatMed36	195	PMR 20M	21.14	10.43
188	1538.70	187	8.46	18	Purple	FlatMed36	196	PMR 20M	21.12	10.43
189	1547.16	188	8.46	18	Purple	FlatMed36	196	PMR 20M	21.10	10.42
190	1555.62	189	8.46	17.5	Dk Grn/Purple	FlatMed36	196	PMR 20M	21.19	9.89
191	1562.94	190	7.32	17	Dark Green	FlatMed36	195	PMR 20M	21.29	9.39
192	1570.26	191	7.32	17	Dark Green	FlatMed36	194	PMR 20M	21.29	9.39
193	1577.58	192	7.32	17	Dark Green	FlatMed36	193	PMR 20M	21.28	9.39
194	1584.90	193	7.32	18	Purple	FlatMed36	191	PMR 20M	21.16	10.44
195	1593.37	194	8.47	18.5	Purple/Black	FlatMed36	188	PMR 20M	21.05	10.94
196	1601.84	195	8.47	18.5	Purple/Black	FlatMed36	185	PMR 20M	21.03	10.93
197	1610.31	196	8.47	18.5	Purple/Black	FlatMed36	181	PMR 20M	21.02	10.93
198	1618.78	197	8.47	18.5	Purple/Black	FlatMed36	176	PMR 20M	21.03	10.93
1622.70		Tower Number: 11			Span Length: 147.20					
199	1626.88	198	8.10	18.5	Purple/Black	FlatMed36	176	PMR 20M	21.02	10.93
200	1635.39	199	8.51	19	Black	FlatMed36	180	PMR 20M	20.96	11.45
201	1643.90	200	8.51	19	Black	FlatMed36	184	PMR 20M	20.96	11.45
202	1652.41	201	8.51	19	Black	FlatMed36	188	PMR 20M	20.96	11.45
203	1660.92	202	8.51	19	Black	FlatMed36	192	PMR 20M	20.95	11.45
204	1669.43	203	8.51	19	Black	FlatMed36	196	PMR 20M	20.93	11.45
205	1677.94	204	8.51	19	Black	FlatMed36	201	PMR 20M	20.91	11.44
206	1686.45	205	8.51	19.5	Black/Dk Turq	FlatMed36	205	PMR 20M	20.89	11.97
207	1694.96	206	8.51	19.5	Black/Dk Turq	FlatMed36	209	PMR 20M	20.90	11.97
208	1703.47	207	8.51	18.5	Purple/Black	FlatMed36	213	PMR 20M	21.02	10.93
Sprinkler: Senninger Directional Spray										
209	1705.26	208	1.79	21	Mustard				21.17	14.27
1706.26		Overhang			Span Length: 83.56					

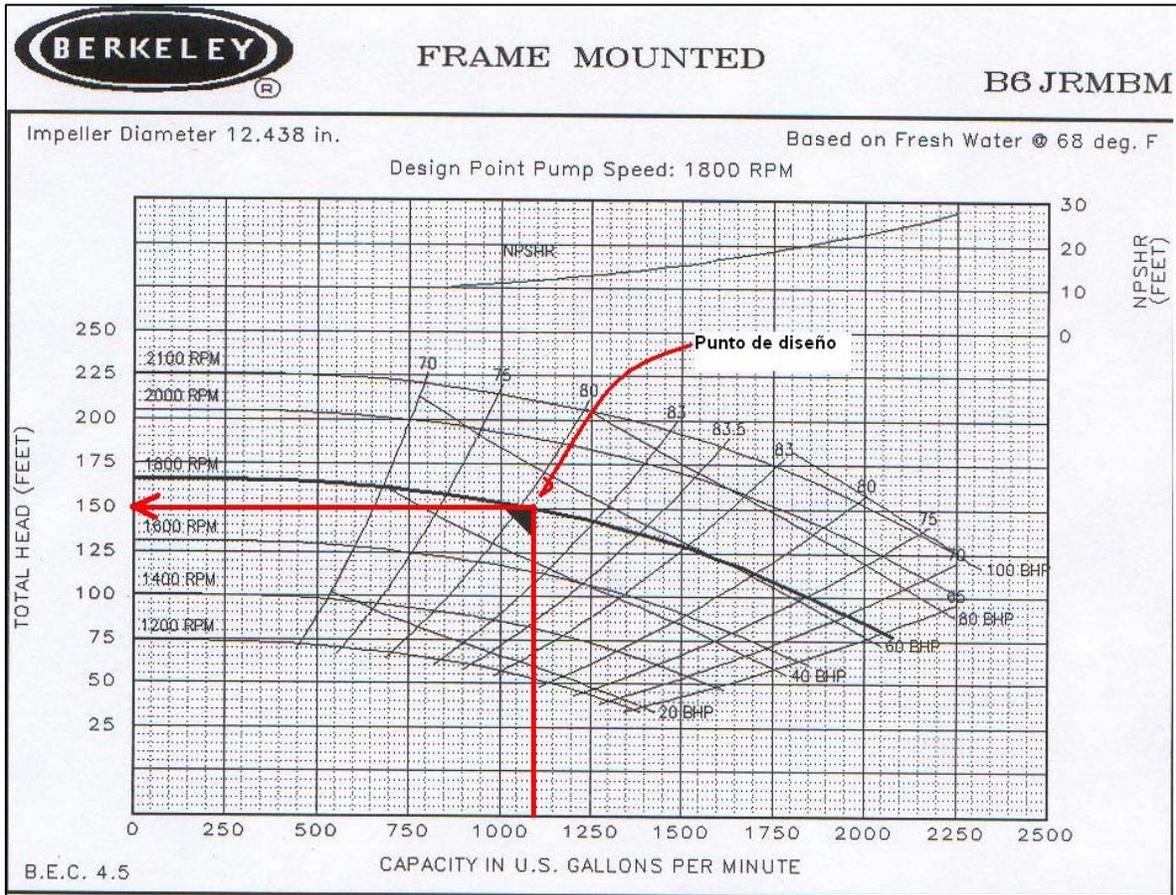
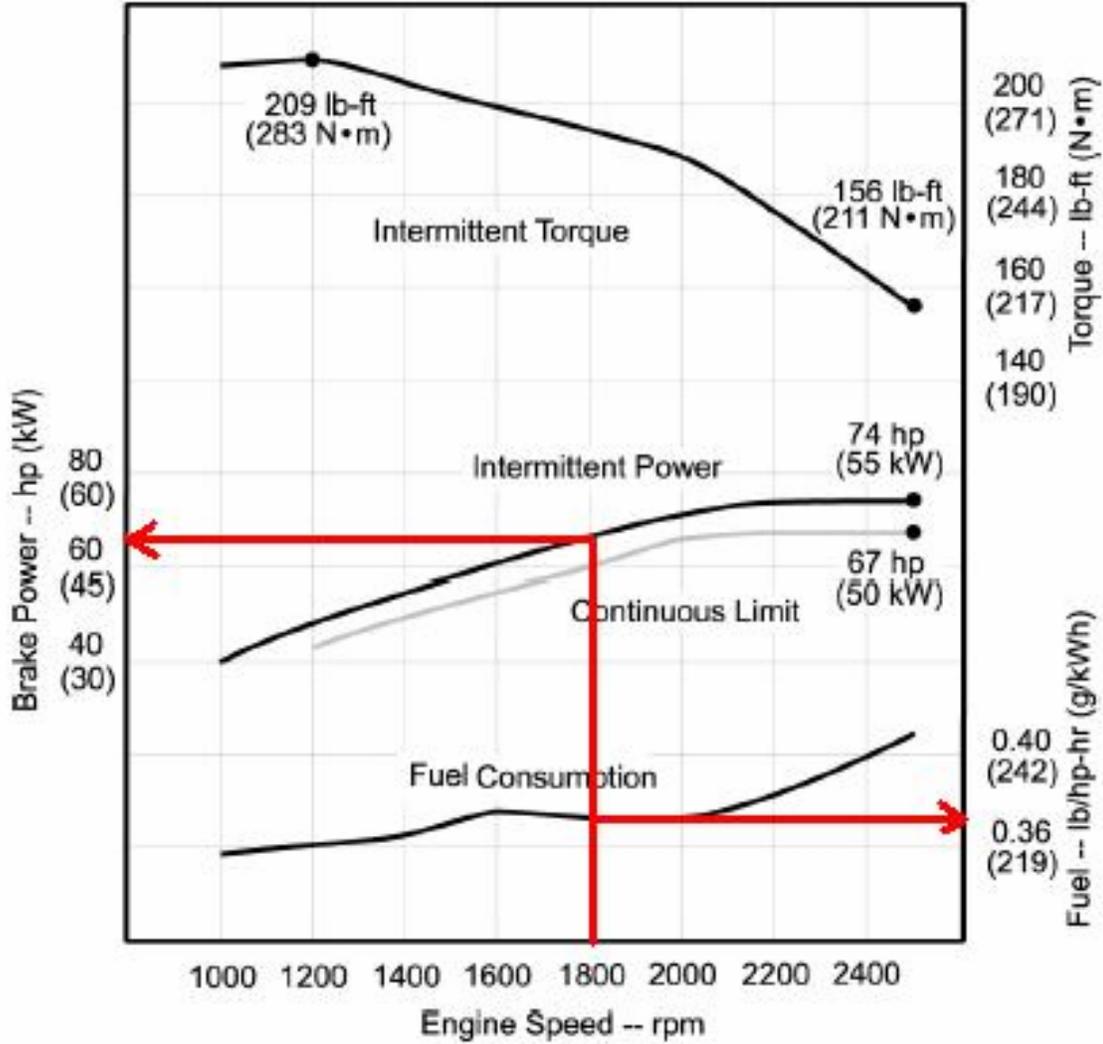


FIGURA 29 A: CURVA DE DESEMPEÑO DE LA BOMBA QUE ALIMENTA EL PIVOTE CENTRAL, MODELO B6JRMBM

PERFORMANCE CURVE



PowerTech™
4045D Diesel Engine
Specifications



FIGURA 30 A: CURVA DE DESEMPEÑO DEL MOTOR DEL SISTEMA DE RIEGO DE ASPERSIÓN MOVIL, JOHN DEERE 4045 DF 150.

CUADRO 35 A: LISTADO DE MATERIALES QUE COMPONEN EL PIVOTE CENTRAL DE 525 METROS DE LONGITUD

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Panel de control, marca VALMONT	1
Transaducer de Presión, 0 – 150 psi	1
Interruptor de Alta Presión	2
Interruptor de Baja Presión	1
Luz en la Torre final	1
Luz en el punto pivote	1
Luz para el área del Tablero	1
Span Cable, 41 m, 10 AWG	2
Rollo de cable 411 m, 10 AWG	1
Paquete protector de cable	11
Cables para moto reductor, 457 mm	11
Control de la Torre, Normal	9
Control de la Torre, penúltima	1
Control de la última torre	1
Moto reductores de 43 RPM	11
Tapón de drenado rápido	1
Aspersores marca Seninger de varios diámetros (ver anexo 16)	209
Conexiones de manguera NPT, niple 19 mm	209
Abrazaderas para manguera de 19 mm	418
Rollos de manguera flexible (75 metros por rollo)	3
Punto pivote de 203 mm de alta elevación	1
Anclaje fijo de 203 mm para punto pivote	1
Tramo de 168 mm de 45.36 metros de longitud	11
Abrazaderas de extensión del voladizo, 168 mm	1
Uniones de lado de la torre normal de 168 mm	11
Unión de 168 mm de la última torre	1
Voladizo de 141 mm de 26 metros de longitud	1
Ruedas 16.9 X 24, con tubo, Rim 15.	22
Base giratoria 168 mm.	11
Caja de engranajes, uso extremo	22
Alineación especial sin cable.	11

Fuente: Inventario de Materiales y equipo del pivote central, Finca Monte Alegre, Escuintla, 2003

CUADRO 36 A: BALANCE HÍDRICO EN AREAS DE CULTIVO DE CAÑA IRRIGADAS CON LOS SISTEMAS DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL Y ASPERSION MOVIL, DURANTE EL PERIODO DE DICIEMBRE 2002 A OCTUBRE 2003.

FECHA	LHA AL INICIO DEL DIA (mm)		EV (mm)	Kp	ETP (mm)	Kc	Etm (mm)	APORTES CON RIEGO Y LLUVIA (mm)			LHA AL FINAL DEL DIA (mm)	
	Pivote Central	Aspersión Móvil						Pivote Central	Aspersión Móvil	Lluvia	Pivote Central	Aspersión Móvil
	17-Dic-02	36.4						36.40	-	0.8	4.6	0.2
18-Dic-02	41.5	50.48	-	0.8	4.6	0.2	0.9	6	-	-	46.6	49.6
19-Dic-02	46.6	49.56	-	0.8	4.6	0.2	0.9	6	-	-	51.6	48.6
20-Dic-02	51.6	48.64	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	50.7	47.7
21-Dic-02	50.7	47.72	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	49.8	46.8
22-Dic-02	49.8	46.80	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	48.9	45.9
23-Dic-02	48.9	45.88	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	48.0	45.0
24-Dic-02	48.0	44.96	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	47.0	44.0
25-Dic-02	47.0	44.04	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	46.1	43.1
26-Dic-02	46.1	43.12	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	45.2	42.2
27-Dic-02	45.2	42.20	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	44.3	41.3
28-Dic-02	44.3	41.28	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	43.4	40.4
29-Dic-02	43.4	40.36	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	42.4	39.4
30-Dic-02	42.4	39.44	-	0.8	4.6	0.2	0.9	-	-	-	41.5	38.5
31-Dic-02	41.5	38.52	-	0.8	4.6	0.2	0.9	6	-	-	46.6	37.6
1-Ene-03	46.6	37.60	-	0.8	4.7	0.2	0.9	6	-	-	51.7	36.7
2-Ene-03	51.7	36.65	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	50.7	35.7
3-Ene-03	50.7	35.71	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	49.8	34.8
4-Ene-03	49.8	34.76	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	48.8	33.8
5-Ene-03	48.8	33.81	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	47.9	32.9
6-Ene-03	47.9	32.86	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	47	-	46.9	50.0
7-Ene-03	46.9	50.00	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	46.0	49.1
8-Ene-03	46.0	49.05	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	45.0	48.1
9-Ene-03	45.0	48.11	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	44.1	47.2
10-Ene-03	44.1	47.16	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	43.1	46.2
11-Ene-03	43.1	46.21	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	42.2	45.3
12-Ene-03	42.2	45.26	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	41.2	44.3
13-Ene-03	41.2	44.32	-	0.8	4.7	0.2	0.9	6	-	-	46.3	43.4
14-Ene-03	46.3	43.37	-	0.8	4.7	0.2	0.9	6	-	-	51.3	42.4
15-Ene-03	51.3	42.42	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	50.4	41.5
16-Ene-03	50.4	41.48	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	49.4	40.5
17-Ene-03	49.4	40.53	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	48.5	39.6
18-Ene-03	48.5	39.58	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	47.6	38.6
19-Ene-03	47.6	38.63	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	46.6	37.7
20-Ene-03	46.6	37.69	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	45.7	36.7
21-Ene-03	45.7	36.74	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	44.7	35.8
22-Ene-03	44.7	35.79	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	43.8	34.8

FECHA	LHA AL INICIO DEL DIA (mm)		EV (mm)	Kp	ETP (mm)	Kc	Etm (mm)	APORTES CON RIEGO Y LLUVIA (mm)			LHA AL FINAL DEL DIA (mm)	
	Pivote Central	Aspersión Móvil						Pivote Central	Aspersión Móvil	Lluvia	Pivote Central	Aspersión Móvil
	23-Ene-03	43.8						34.85	-	0.8	4.7	0.2
24-Ene-03	42.8	33.90	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	41.9	33.0
25-Ene-03	41.9	32.95	-	0.8	4.7	0.2	0.9	6	-	-	46.9	32.0
26-Ene-03	46.9	32.01	-	0.8	4.7	0.2	0.9	6	47	-	52.0	50.0
27-Ene-03	52.0	50.00	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	51.0	49.1
28-Ene-03	51.0	49.05	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	50.1	48.1
29-Ene-03	50.1	48.11	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	49.1	47.2
30-Ene-03	49.1	47.16	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	48.2	46.2
31-Ene-03	48.2	46.21	-	0.8	4.7	0.2	0.9	-	-	-	47.2	45.3
1-Feb-03	47.2	45.26	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	44.0	42.0
2-Feb-03	44.0	42.02	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	46.8	38.8
3-Feb-03	46.8	38.78	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	49.5	35.5
4-Feb-03	49.5	35.54	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	46.3	32.3
5-Feb-03	46.3	32.30	--	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	43.0	29.1
6-Feb-03	43.0	29.06	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	45.8	25.8
7-Feb-03	45.8	25.82	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	48.6	22.6
8-Feb-03	48.6	22.58	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	51.3	19.3
9-Feb-03	51.3	19.34	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	48.1	16.1
10-Feb-03	48.1	16.10	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	44.8	12.9
11-Feb-03	44.8	12.86	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	47.6	9.6
12-Feb-03	47.6	9.62	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	50.4	6.4
13-Feb-03	50.4	6.38	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	47.1	3.1
14-Feb-03	47.1	3.14	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	43.9	0.0
15-Feb-03	43.9	0.00	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	47	-	46.6	43.8
16-Feb-03	46.6	43.76	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	49.4	40.5
17-Feb-03	49.4	40.52	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	46.2	37.3
18-Feb-03	46.2	37.28	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	42.9	34.0
19-Feb-03	42.9	34.04	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	45.7	30.8
20-Feb-03	45.7	30.80	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	48.4	27.6
21-Feb-03	48.4	27.56	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	51.2	24.3
22-Feb-03	51.2	24.32	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	48.0	21.1
23-Feb-03	48.0	21.08	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	44.7	17.8
24-Feb-03	44.7	17.84	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	47.5	14.6
25-Feb-03	47.5	14.60	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	50.2	11.4
26-Feb-03	50.2	11.36	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	47.0	8.1
27-Feb-03	47.0	8.12	-	0.8	5.4	0.6	3.2	-	-	-	43.8	4.9
28-Feb-03	43.8	4.88	-	0.8	5.4	0.6	3.2	6	-	-	46.5	1.6
1-Mar-03	46.5	1.64	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	49.0	0.0
2-Mar-03	49.0	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	45.5	0.0
3-Mar-03	45.5	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	41.9	0.0
4-Mar-03	41.9	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	44.4	0.0
5-Mar-03	44.4	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	46.9	0.0

FECHA	LHA AL INICIO DEL DIA (mm)		EV (mm)	Kp	ETP (mm)	Kc	Etm (mm)	APORTES CON RIEGO Y LLUVIA (mm)			LHA AL FINAL DEL DIA (mm)	
	Pivote Central	Aspersión Móvil						Pivote Central	Aspersión Móvil	Lluvia	Pivote Central	Aspersión Móvil
	6-Mar-03	46.9						0.00	-	0.8	5.9	0.6
7-Mar-03	49.3	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	47	-	45.8	43.5
8-Mar-03	45.8	43.47	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	42.3	39.9
9-Mar-03	42.3	39.94	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	44.7	36.4
10-Mar-03	44.7	36.41	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	47.2	32.9
11-Mar-03	47.2	32.88	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	49.7	29.3
12-Mar-03	49.7	29.35	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	46.2	25.8
13-Mar-03	46.2	25.82	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	42.6	22.3
14-Mar-03	42.6	22.29	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	45.1	18.8
15-Mar-03	45.1	18.76	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	47.6	15.2
16-Mar-03	47.6	15.23	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	50.0	11.7
17-Mar-03	50.0	11.70	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	46.5	8.2
18-Mar-03	46.5	8.17	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	43.0	4.6
19-Mar-03	43.0	4.64	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	45.4	1.1
20-Mar-03	45.4	1.11	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	47.9	0.0
21-Mar-03	47.9	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	50.4	0.0
22-Mar-03	50.4	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	46.9	0.0
23-Mar-03	46.9	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	43.3	0.0
24-Mar-03	43.3	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	45.8	0.0
25-Mar-03	45.8	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	48.3	0.0
26-Mar-03	48.3	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	50.7	0.0
27-Mar-03	50.7	0.00	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	47	-	47.2	43.5
28-Mar-03	47.2	43.47	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	43.7	39.9
29-Mar-03	43.7	39.94	-	0.8	5.9	0.6	3.5	-	-	-	40.1	36.4
30-Mar-03	40.1	36.41	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	42.6	32.9
31-Mar-03	42.6	32.88	-	0.8	5.9	0.6	3.5	6	-	-	45.1	29.3
1-Abr-03	45.1	29.35	-	0.8	6.0	0.6	3.6	6	-	-	47.5	25.7
2-Abr-03	47.5	25.73	-	0.8	6.0	0.6	3.6	6	-	-	49.8	22.1
3-Abr-03	49.8	22.11	-	0.8	6.0	0.6	3.6	-	-	-	46.2	18.5
4-Abr-03	46.2	18.49	-	0.8	6.0	0.6	3.6	-	-	-	42.6	14.9
5-Abr-03	42.6	14.87	-	0.8	6.0	0.6	3.6	6	-	-	45.0	11.2
6-Abr-03	45.0	11.25	-	0.8	6.0	0.6	3.6	6	-	-	47.4	7.6
7-Abr-03	47.4	7.63	5.0	0.8	4	0.6	2.4	6.0	-	-	51.0	5.2
8-Abr-03	51.0	5.23	7.0	0.8	5.6	0.6	3.4	-	-	-	47.6	1.9
9-Abr-03	47.6	1.87	7.0	0.8	5.6	0.6	3.4	-	-	8.0	52.2	6.5
10-Abr-03	52.2	6.51	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	-	-	2.0	51.4	5.6
11-Abr-03	51.4	5.63	7.0	0.8	5.6	0.6	3.4	-	-	-	48.0	2.3
12-Abr-03	48.0	2.27	5.0	0.8	4	0.6	2.4	-	-	-	45.6	0.0
13-Abr-03	45.6	0.00	5.0	0.8	4	0.6	2.4	-	-	-	43.2	0.0
14-Abr-03	43.2	0.00	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	-	-	-	40.3	0.0
15-Abr-03	40.3	0.00	5.0	0.8	4	0.6	2.4	6.0	-	-	43.9	0.0
16-Abr-03	43.9	0.00	5.0	0.8	4	0.6	2.4	6.0	-	-	47.5	0.0

FECHA	LHA AL INICIO DEL DIA (mm)		EV (mm)	Kp	ETP (mm)	Kc	Etm (mm)	APORTES CON RIEGO Y LLUVIA (mm)			LHA AL FINAL DEL DIA (mm)	
	Pivote Central	Aspersión Móvil						Pivote Central	Aspersión Móvil	Lluvia	Pivote Central	Aspersión Móvil
	17-Abr-03	47.5						0.00	6.0	0.8	4.8	0.6
18-Abr-03	50.6	44.12	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	-	-	-	47.8	41.2
19-Abr-03	47.8	41.24	8.0	0.8	6.4	0.6	3.8	-	-	-	43.9	37.4
20-Abr-03	43.9	37.40	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	-	-	-	41.0	34.5
21-Abr-03	41.0	34.52	7.0	0.8	5.6	0.6	3.4	-	-	-	37.7	31.2
22-Abr-03	37.7	31.16	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	3.0	-	-	37.8	28.3
23-Abr-03	37.8	28.28	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	6.0	-	-	40.9	25.4
24-Abr-03	40.9	25.40	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	6.0	-	-	44.0	22.5
25-Abr-03	44.0	22.52	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	6.0	-	6.0	53.2	25.6
26-Abr-03	53.2	25.64	5.0	0.8	4	0.6	2.4	-	-	-	50.8	23.2
27-Abr-03	50.8	23.24	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	-	-	-	47.9	20.4
28-Abr-03	47.9	20.36	6.0	0.8	4.8	0.6	2.9	-	-	-	45.0	17.5
29-Abr-03	45.0	17.48	2.0	0.8	1.6	0.6	1.0	-	-	4.0	48.0	20.5
30-Abr-03	48.0	20.52	7.0	0.8	5.6	0.6	3.4	-	-	-	44.7	17.2
1-May-03	44.7	17.16	7.0	0.8	5.6	0.9	5.0	-	-	-	39.6	12.1
2-May-03	39.6	12.12	7.0	0.8	5.6	0.9	5.0	6	-	-	40.6	7.1
3-May-03	40.6	7.08	4.0	0.8	3.2	0.9	2.9	6	-	12	55.7	16.2
4-May-03	55.7	16.20	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	52.1	12.6
5-May-03	52.1	12.60	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	3	51.5	12.0
6-May-03	51.5	12.00	6.0	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	47.2	7.7
7-May-03	47.2	7.68	4.0	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	3	47.3	7.8
8-May-03	47.3	7.80	7.0	0.8	5.6	0.9	5.0	-	-	-	42.3	2.8
9-May-03	42.3	2.76	2.0	0.8	1.6	0.9	1.4	-	-	6	46.8	7.3
10-May-03	46.8	7.32	6.0	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	1	43.5	4.0
11-May-03	43.5	4.00	4.0	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	31	50.0	32.1
12-May-03	50.0	32.12	4.0	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	7	50.0	36.2
13-May-03	50.0	36.24	4.0	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	47.1	33.4
14-May-03	47.1	33.36	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	43.5	29.8
15-May-03	43.5	29.76	3.0	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	25	50.0	50.0
16-May-03	50.0	50.00	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	9	50.0	50.0
17-May-03	50.0	50.00	6.0	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	45.7	45.7
18-May-03	45.7	45.68	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	42.1	42.1
19-May-03	42.1	42.08	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	38.5	38.5
20-May-03	38.5	38.48	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	34.9	34.9
21-May-03	34.9	34.88	2.0	0.8	1.6	0.9	1.4	-	-	36	50.0	50.0
22-May-03	50.0	50.00	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	3	49.4	49.4
23-May-03	49.4	49.40	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	45.8	45.8
24-May-03	45.8	45.80	2.0	0.8	1.6	0.9	1.4	-	-	-	44.4	44.4
25-May-03	44.4	44.36	5.0	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	40.8	40.8
26-May-03	40.8	40.76	4.0	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	9	46.9	46.9
27-May-03	46.9	46.88	4.0	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	44.0	44.0
28-May-03	44.0	44.00	6.0	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	21	50.0	50.0

FECHA	LHA AL INICIO DEL DIA (mm)		EV (mm)	Kp	ETP (mm)	Kc	Etm (mm)	APORTES CON RIEGO Y LLUVIA (mm)			LHA AL FINAL DEL DIA (mm)	
	Pivote Central	Aspersión Móvil						Pivote Central	Aspersión Móvil	Lluvia	Pivote Central	Aspersión Móvil
	1-Jun-03	50.0						50.00	5.00	0.8	4	0.9
2-Jun-03	46.4	46.40	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	2.00	45.5	45.5
3-Jun-03	45.5	45.52	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	18.0	50.0	50.0
4-Jun-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	57.0	50.0	50.0
5-Jun-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	39.0	50.0	50.0
6-Jun-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	9.00	50.0	50.0
7-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	7.00	50.0	50.0
8-Jun-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	2.00	50.0	50.0
9-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
10-Jun-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	8.00	50.0	50.0
11-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
12-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	17.0	50.0	50.0
13-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	27.0	50.0	50.0
14-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	5.00	50.0	50.0
15-Jun-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	6.00	50.0	50.0
16-Jun-03	50.0	50.00	2.00	0.8	1.6	0.9	1.4	-	-	5.00	50.0	50.0
17-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	52.0	50.0	50.0
18-Jun-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	5.00	50.0	50.0
19-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	76.0	50.0	50.0
20-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	10.0	50.0	50.0
21-Jun-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	3.00	50.0	50.0
22-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
23-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	41.0	50.0	50.0
24-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	14.0	50.0	50.0
25-Jun-03	50.0	50.00	2.00	0.8	1.6	0.9	1.4	-	-	35.0	50.0	50.0
26-Jun-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
27-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
28-Jun-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	44.0	50.0	50.0
29-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
30-Jun-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	1.00	50.0	50.0
1-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
2-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
3-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
4-Jul-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	9	50.0	50.0
5-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	8	50.0	50.0
6-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
7-Jul-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	1	50.0	50.0
8-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	23	50.0	50.0
9-Jul-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
10-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
11-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
12-Jul-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	1	50.0	50.0

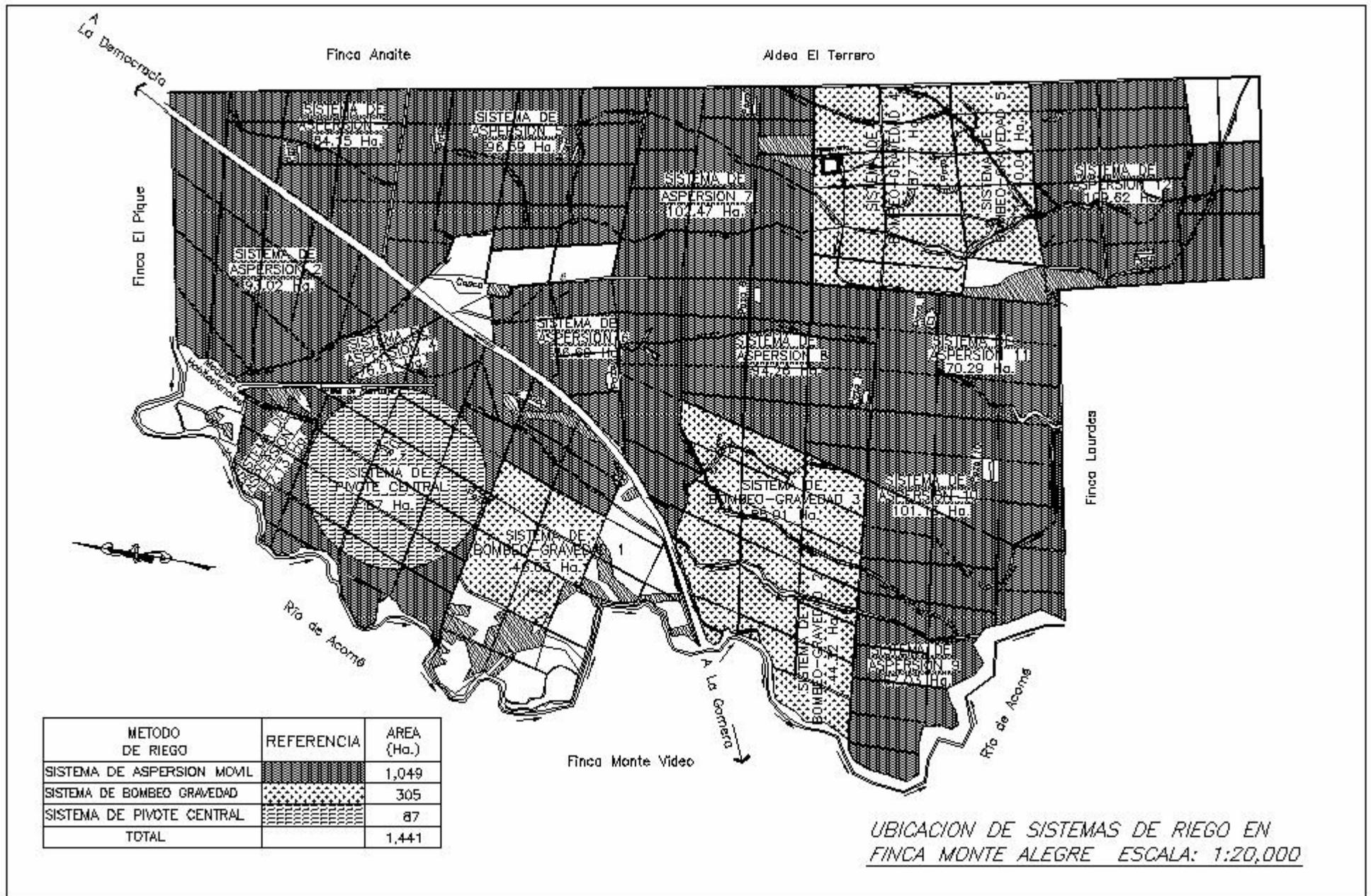
FECHA	LHA AL INICIO DEL DIA (mm)		EV (mm)	Kp	ETP (mm)	Kc	Etm (mm)	APORTES CON RIEGO Y LLUVIA (mm)			LHA AL FINAL DEL DIA (mm)	
	Pivote Central	Aspersión Móvil						Pivote Central	Aspersión Móvil	Lluvia	Pivote Central	Aspersión Móvil
13-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	8	50.0	50.0
14-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	8	50.0	50.0
15-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	19	50.0	50.0
16-Jul-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	3	50.0	50.0
17-Jul-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
18-Jul-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
19-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
20-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
21-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
22-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
23-Jul-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
24-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	32	50.0	50.0
25-Jul-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
26-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	15	50.0	50.0
27-Jul-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	21	50.0	50.0
28-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
29-Jul-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
30-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
31-Jul-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	31	50.0	50.0
1-Ago-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	1	50.0	50.0
2-Ago-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
3-Ago-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
4-Ago-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
5-Ago-03	50.0	50.00	2.00	0.8	1.6	0.9	1.4	-	-	8	50.0	50.0
6-Ago-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
7-Ago-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
8-Ago-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	10	50.0	50.0
9-Ago-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
10-Ago-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
11-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	24	50.0	50.0
12-Ago-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
13-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
14-Ago-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
15-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	17	50.0	50.0
16-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	50	50.0	50.0
17-Ago-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
18-Ago-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
19-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	22	50.0	50.0
20-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
21-Ago-03	50.0	50.00	2.00	0.8	1.6	0.9	1.4	-	-	36	50.0	50.0
22-Ago-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	20	50.0	50.0
23-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	15	50.0	50.0

FECHA	LHA AL INICIO DEL DIA (mm)		EV (mm)	Kp	ETP (mm)	Kc	Etm (mm)	APORTES CON RIEGO Y LLUVIA (mm)			LHA AL FINAL DEL DIA (mm)	
	Pivote Central	Aspersión Móvil						Pivote Central	Aspersión Móvil	Lluvia	Pivote Central	Aspersión Móvil
	24-Ago-03	50.0						50.00	5.00	0.8	4	0.9
25-Ago-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	16	50.0	50.0
26-Ago-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	14	50.0	50.0
27-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	1	50.0	50.0
28-Ago-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	1	50.0	50.0
29-Ago-03	50.0	50.00	3.20	0.8	2.56	0.9	2.3	-	-	11	50.0	50.0
30-Ago-03	50.0	50.00	5.10	0.8	4.08	0.9	3.7	-	-	-	50.0	50.0
31-Ago-03	50.0	50.00	4.20	0.8	3.36	0.9	3.0	-	-	5	50.0	50.0
1-Sep-03	50.0	50.00	2.00	0.8	1.6	0.9	1.4	-	-	-	50.0	50.0
2-Sep-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
3-Sep-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
4-Sep-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
5-Sep-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	2	50.0	50.0
6-Sep-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
7-Sep-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	-	50.0	50.0
8-Sep-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	12	50.0	50.0
9-Sep-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	-	50.0	50.0
10-Sep-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	2	50.0	50.0
11-Sep-03	50.0	50.00	3.50	0.8	2.8	0.9	2.5	-	-	12	50.0	50.0
12-Sep-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
13-Sep-03	50.0	50.00	3.00	0.8	2.4	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
14-Sep-03	50.0	50.00	3.40	0.8	2.72	0.9	2.4	-	-	-	50.0	50.0
15-Sep-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	14	50.0	50.0
16-Sep-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
17-Sep-03	50.0	50.00	4.20	0.8	3.36	0.9	3.0	-	-	-	50.0	50.0
18-Sep-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	35	50.0	50.0
19-Sep-03	50.0	50.00	4.15	0.8	3.32	0.9	3.0	-	-	4	50.0	50.0
20-Sep-03	50.0	50.00	4.50	0.8	3.6	0.9	3.2	-	-	2	50.0	50.0
21-Sep-03	50.0	50.00	6.00	0.8	4.8	0.9	4.3	-	-	10	50.0	50.0
22-Sep-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	38	50.0	50.0
23-Sep-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
24-Sep-03	50.0	50.00	3.80	0.8	3.04	0.9	2.7	-	-	11	50.0	50.0
25-Sep-03	50.0	50.00	3.10	0.8	2.48	0.9	2.2	-	-	-	50.0	50.0
26-Sep-03	50.0	50.00	7.00	0.8	5.6	0.9	5.0	-	-	19	50.0	50.0
27-Sep-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	1	50.0	50.0
28-Sep-03	50.0	50.00	5.00	0.8	4	0.9	3.6	-	-	5	50.0	50.0
29-Sep-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0
30-Sep-03	50.0	50.00	4.00	0.8	3.2	0.9	2.9	-	-	-	50.0	50.0

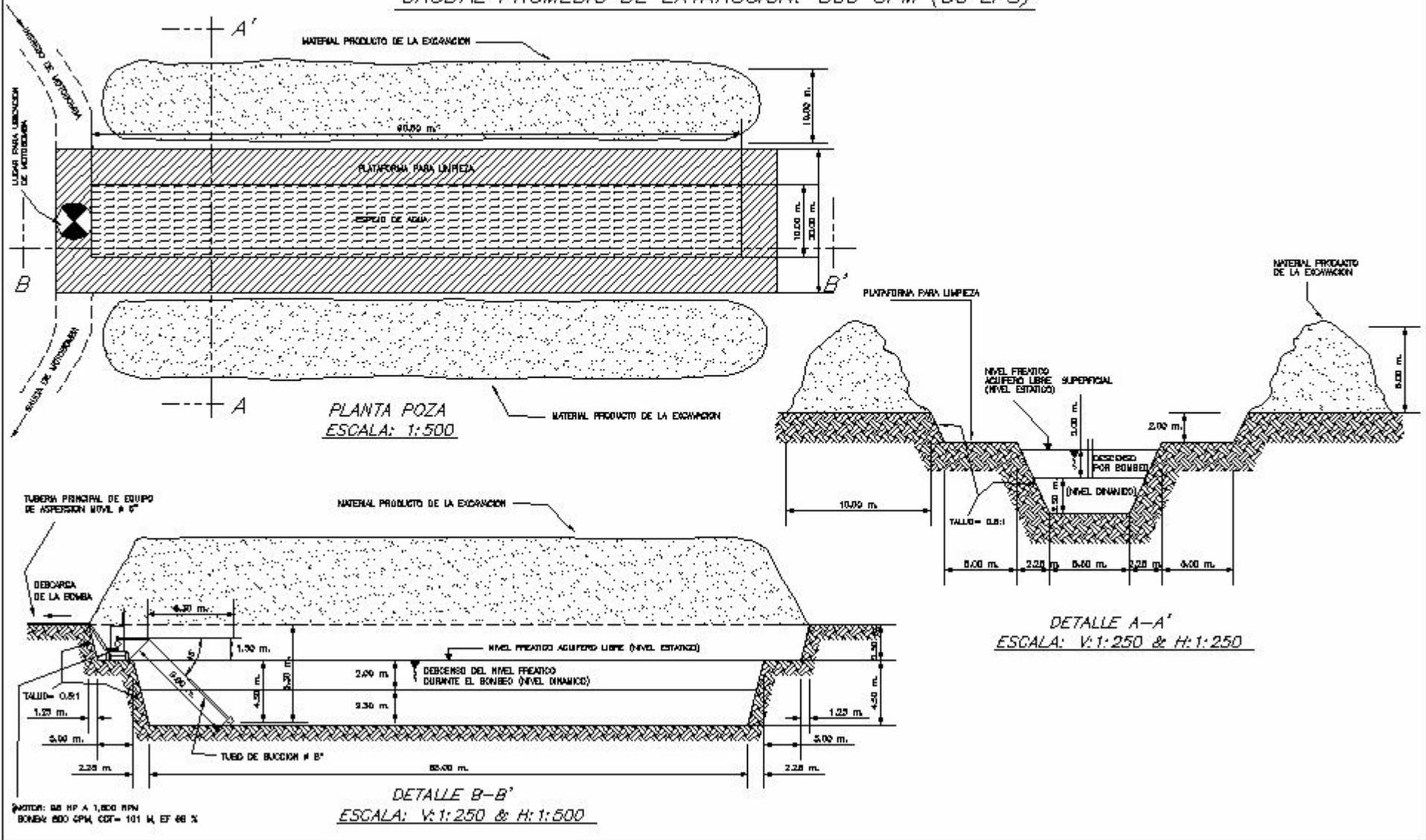
CUADRO 37 A: RITMO INFLACIONARIO, AÑOS 1996-2003, GUATEMALA, CENTROAMÉRICA.

MES	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Promedio
Enero	9.76	10.80	7.29	6.29	5.27	6.05	8.85	6.20	7.56
Febrero	10.83	12.66	5.45	5.17	6.62	5.99	9.01	6.00	7.72
Marzo	11.48	11.51	6.11	3.99	8.28	5.42	9.13	5.78	7.71
Abril	11.95	10.13	6.94	3.47	9.07	4.87	9.25	5.67	7.67
Mayo	11.02	9.61	7.32	3.73	7.36	6.05	9.31	5.56	7.50
Junio	10.34	8.97	7.43	4.22	7.23	6.30	9.14	5.24	7.36
Julio	11.60	7.98	7.27	5.22	6.14	6.97	9.10	4.65	7.37
Agosto	12.03	8.05	6.31	6.03	4.71	8.79	7.73	4.96	7.33
Septiembre	11.77	8.33	5.49	6.79	4.29	8.99	7.10	5.68	7.31
Octubre	10.64	8.48	4.97	7.57	3.84	9.47	6.60	5.84	7.18
Noviembre	10.44	7.66	7.35	5.15	4.17	9.51	6.34	5.84	7.06
Diciembre	10.85	7.13	7.48	4.92	5.08	8.91	6.33	5.85	7.07
PROMEDIO	11.06	9.28	6.62	5.21	6.01	7.28	8.16	5.61	7.40

Fuente: Banco de Guatemala, 2003.



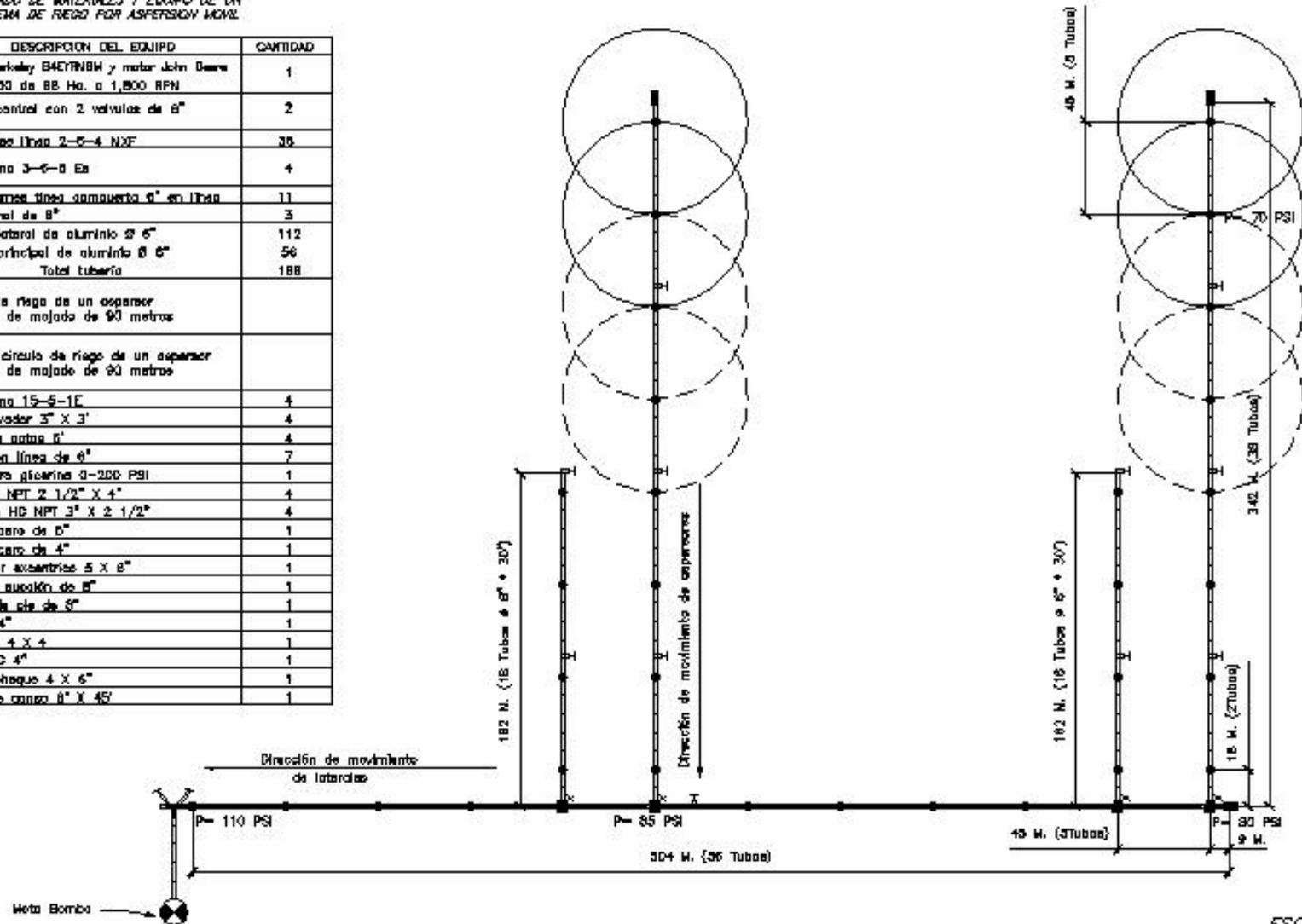
*DIMENSIONAMIENTO TÍPICO DE UNA POZA
PARA APROVECHAR EL ACUIFERO LIBRE SUPERFICIAL
CAUDAL PROMEDIO DE EXTRACCIÓN: 800 GPM (50 LPS)*

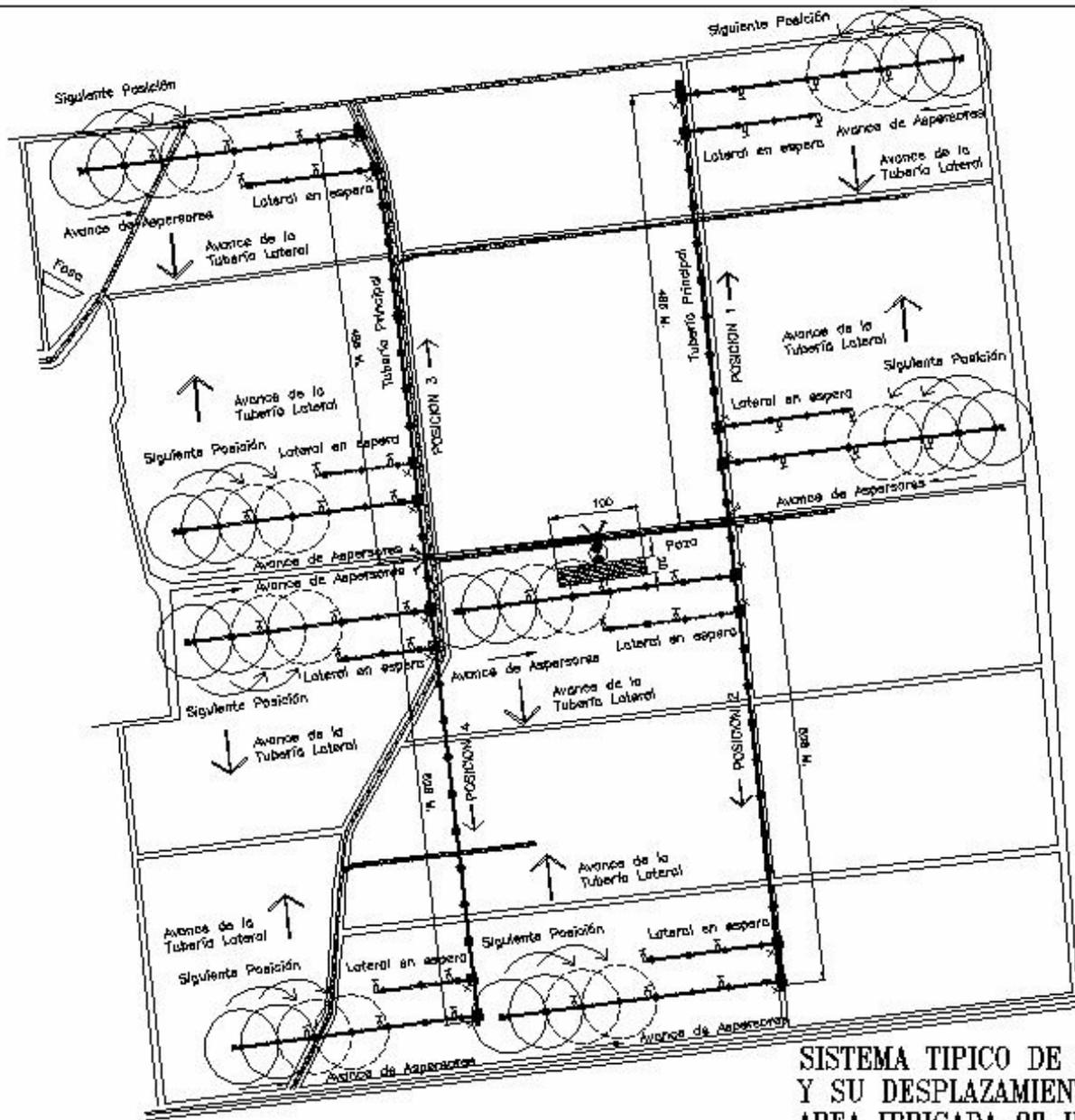


DETALLE DE UNA POSICION TIPICA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION
ESTA CUBRE UN PROMEDIO DE 18 HECTAREAS

LISTADO DE MATERIALES Y EQUIPO DE UN
SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION MOVIL

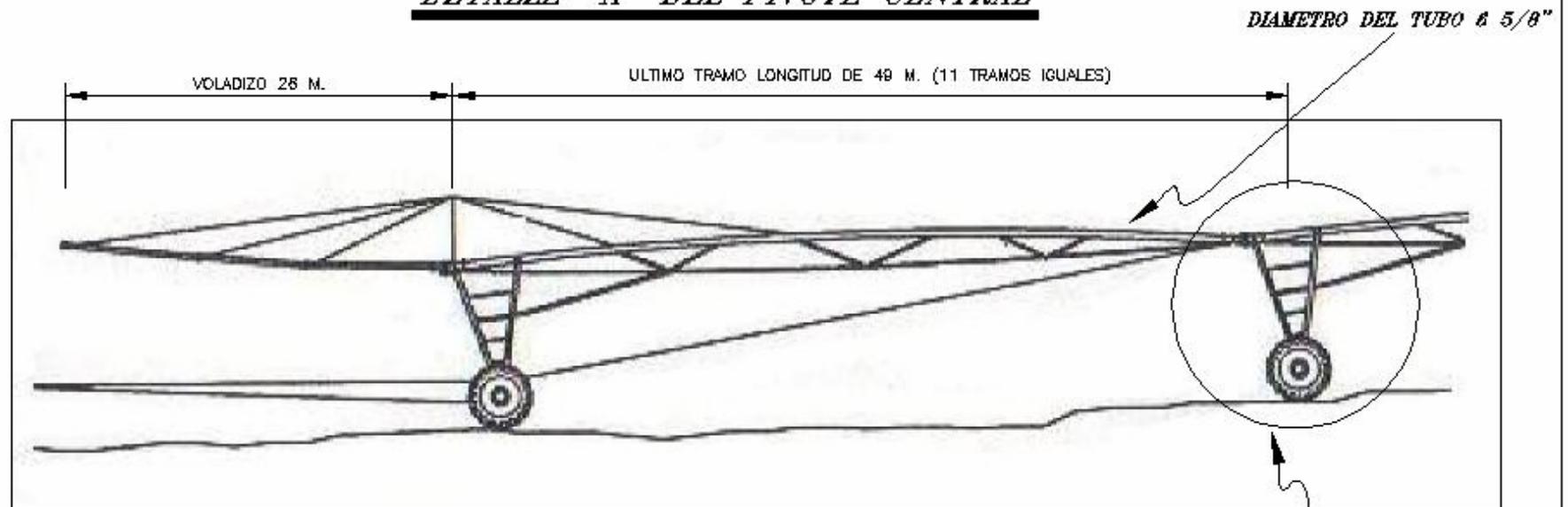
SIMBOLO	DESCRIPCION DEL EQUIPO	CANTIDAD
	Bomba Berkeley B4CYRNBW y motor John Deere 4045TF250 de 88 Hp. a 1,800 RPM	1
	Tee de control con 2 valvulas de 8"	2
	Valvula las lineas 2-5-4 NSF	38
	Codo toma 3-6-8 Ea	4
	Valvula arco linea conmuerta 6" en linea	11
	Tapón final de 8"	3
	Tubería lateral de aluminio 8"	112
	Tubería principal de aluminio 8" Total tubería	56 188
	Círculo de riego de un aspersor Diámetro de mojado de 90 metros	
	Próximo círculo de riego de un aspersor Diámetro de mojado de 90 metros	
	Codo toma 1.5-5-1E	4
	Tubo alfilerador 3" X 3"	4
	Jueta de cobre 6"	4
	Valvula en línea de 6"	7
	Manómetro glicerina 0-200 PSI	1
	Nutro HG NPT 2 1/2" X 4"	4
	Campana HD NPT 3" X 2 1/2"	4
	Bridas acero de 6"	1
	Bridas acero de 4"	1
	Adaptador excéntrico 5 X 8"	1
	Codo de succion de 8"	1
	Codo de sifón de 8"	1
	Valvula de sif de 8"	1
	Tee HC 4"	1
	Nutro HG 4 X 4	1
	Tapón HC 4"	1
	Valvula cheque 4 X 6"	1
	Cuello de congo 8" X 4.5"	1





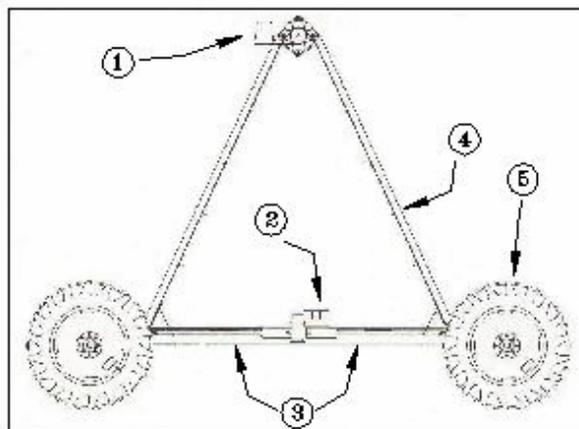
**SISTEMA TIPICO DE RIEGO POR ASPERSION MOVIL
Y SU DESPLAZAMIENTO EN EL CAMPO
AREA IRRIGADA 98 HECTAREAS ESCALA: 1:5,000**

DETALLE "A" DEL PIVOTE CENTRAL



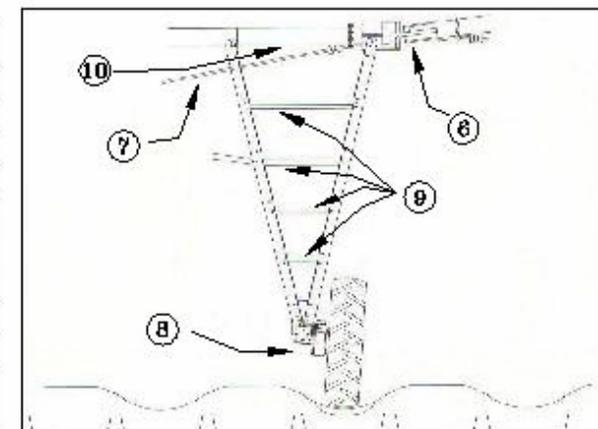
DETALLE "B"

DETALLE "B" ESTRUCTURA DE UNA TORRE

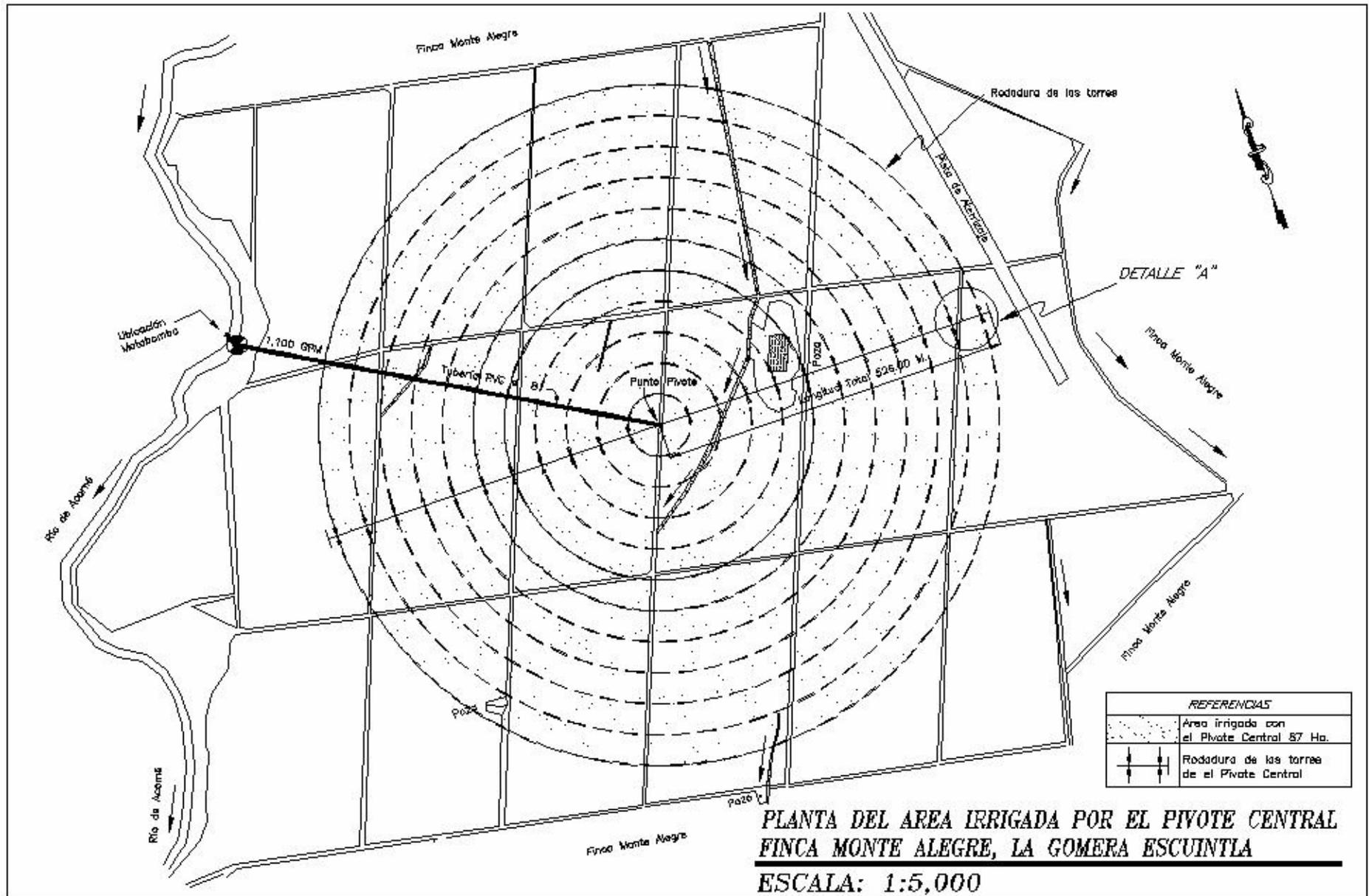


VISTA LATERAL

ORDEN	PARTE
1	Caja con circuitos eléctricos
2	Motor eléctrico
3	Transmisiones
4	Estructura principal de la torre
5	Neumático 14.9 * 24
6	Junta entre tramos
7	Tensor inferior
8	Caja de engranajes
9	Estructuras de soporte de las torres
10	Tubería de hierro galvanizado para conducción de agua Ø 6 5/8"



VISTA FRONTAL



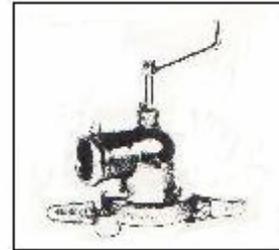
ACCESORIOS PARA RIEGO POR ASPERSION



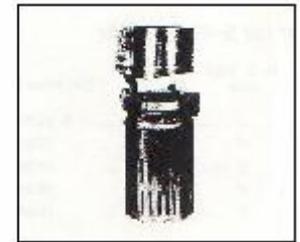
TAPON FINAL ϕ 6"



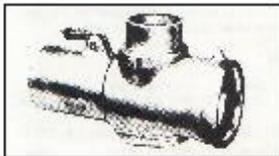
CODO DE SUCCION ϕ 8"



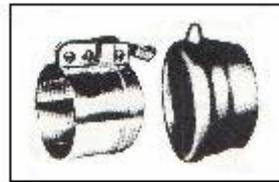
**CODO OPERADOR TOMA
3-6-3E 4" * 6"**



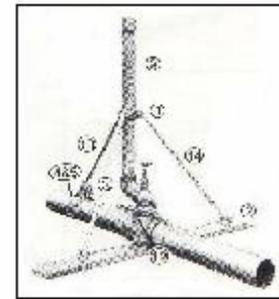
VALVULA DE PIE ϕ 8"



**TEE DE LINEA
2-6-4 6" * 4"**



ACOPLES PARA TUBERIA ϕ 6"



ELEVADOR PARA ASPERSOR