

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

IMPACTO DE LA INTRODUCCIÓN DEL RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO EN EL CULTIVO DE
LA CAÑA DE AZÚCAR; FINCA SAN EDUARDO, RETALHULEU (2013 - 2014)
ESTUDIO DE CASO

EDWIN LIONEL MORALES MAYEN
CARNET 24294-07

ESCUINTLA, MAYO DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

IMPACTO DE LA INTRODUCCIÓN DEL RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO EN EL CULTIVO DE
LA CAÑA DE AZÚCAR; FINCA SAN EDUARDO, RETALHULEU (2013 - 2014)

ESTUDIO DE CASO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

EDWIN LIONEL MORALES MAYEN

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, MAYO DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
LIC. GUITI MANUEL GAMBOA SANTOS

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
ING. CÉSAR ESTUARDO DE LA CRUZ MUÑOZ
ING. EDWIN LEONEL ARGUETA VENTURA
ING. GUSTAVO ADOLFO MÉNDEZ GÓMEZ

Guatemala, Marzo de 2,018.

**Honorable Consejo de
La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.**

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Edwin Lionel Morales Mayén, carné 24294 – 07, titulado "Impacto técnico económico de la introducción del riego por goteo subterráneo en el cultivo de la caña de azúcar, Finca San Eduardo, Retalhuleu. 2013–2014".

El cual considero cumple con los requisitos establecidos por la Facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente.



Ing. Guiti Manuel Gamboa Santos
Colegiado No. 4816
Cod. URL No. 22128



Universidad
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06945-2018

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Estudio de Caso del estudiante EDWIN LIONEL MORALES MAYEN, Carnet 24294-07 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 0678-2018 de fecha 30 de abril de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

IMPACTO DE LA INTRODUCCIÓN DEL RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR; FINCA SAN EDUARDO, RETALHULEU (2013 - 2014)

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 28 días del mes de mayo del año 2018.

MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.
La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales
y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. Guiti Manuel Gamboa Santos, por su asesoría, revisión y
corrección de la presente investigación.

Ing. Juan Carlos Barrundia Reyes, por brindarme el apoyo necesario
para desarrollar la presente investigación.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quién siempre me da su infinito amor, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mis padres: Lionel Alberto Morales Martínez y Dina Zahí Mayén Alonzo de Morales a quienes quiero mucho, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos y por sus ejemplos a seguir.

Mi hijo: Cristopher Lionel Morales Sánchez que lo amo mucho, por ser la razón de mi esfuerzo, mi alegría y la motivación constante de superación.

Mi familia: Hermanos, tíos, sobrinos y sobrinas que de una u otra forma han contribuido en mi formación.

Mis amigos: Por su apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo integral, con mucho aprecio.

ÍNDICE

| Contenido | Página. |
|---|----------------|
| PORTADA DEL DOCUMENTO | 0 |
| INDICE..... | 1,2,3 |
| INDICE DE CUADROS..... | 4 |
| INDICE DE FIGURAS..... | 5 |
| CARTA DE SOLICITUD AL CONSEJO DE FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRICOLAS DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR DE GUATEMALA..... | |
| RESUMEN..... | 6 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 7,8. |
| 2. REVISION DE LITERATURA..... | 9 |
| 2.1 MANEJO DEL RIEGO..... | 9 |
| 2.1.1 Requerimientos hídricos de la caña de azúcar | 9 |
| 2.1.2 Patrón de Extracción del Agua | 10 |
| 2.1.3 Factores físicos del suelo | 10 |
| 2.1.4 Evapotranspiración | 11 |
| 2.1.5 Aspectos generales..... | 13 |
| 2.1.6 Riego por goteo subterráneo | 13 |
| 2.1.7 Perforación de pozos..... | 14 |
| 2.1.8 Diseño de la plantación..... | 255 |

| | | |
|---------|---|-------------------------------|
| 2.1.9 | Diseño de un esquema de riego por goteo | 26 |
| 2.1.9.1 | Factores de diseño | 26 |
| 2.1.9.2 | Componentes de un sistema de riego por goteo | 27,28 |
| 2.1.10 | Diseño de un Esquema de Riego por Goteo..... | 29 |
| 2.1.11 | Profundidad e instalación del sistema..... | 29,30 |
| 2.1.12 | Unidad de Fertirrigación | 30 |
| 2.1.13 | Sistema de Conducción del Agua – Líneas de Abastecimiento, Matrices y Submatrices..... | 31 |
| 2.1.14 | Factores económicos y manejo del diseño | 32 |
| 3. | CONTEXTO..... | 34,35 |
| 4. | JUSTIFICACIÓN | 366 |
| 5. | OBJETIVOS..... | 377 |
| 5.1 | OBJETIVO GENERAL | 377 |
| 5.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 377 |
| 6. | METODOLOGÍA..... | 388 |
| 6.1 | PROCEDIMIENTOS Y DISEÑO DE INSTRUMENTOS..... | 388 |
| 6.2 | PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 388 |
| 6.2.1 | CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | 39 |
| 6.3 | VARIABLES DE ESTUDIO..... | 39,40,41,42,43,44,45,46,47,48 |
| 6.4 | ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN | 49 |
| 6.5 | ANÁLISIS ECONÓMICO | 469 |

| | |
|--|----------------|
| 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 49 |
| 7.1 INTERVENCIÓN | 49 |
| 7.1.1 DISEÑO | 49,50,51 |
| 7.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 51 |
| 7.2.1 Diseño agronómico | 51,52,53 |
| 7.2.2 Diseño hidráulico | 55,56,57 |
| 7.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR GOTEO | 59,60,61 |
| 7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO..... | 62 |
| 8. CONCLUSIONES..... | 66 |
| 9. RECOMENDACIONES | 67 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA | 68,69,70,71,72 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Descripción | Página |
|---|---------------|
| Cuadro 1. Cronograma de actividades. | 39 |
| Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo finca San Eduardo. | 50 |
| Cuadro 3. Resultados del diseño agronómico. | 53 |
| Cuadro 4. Resumen del diseño hidráulico. | 56 |
| Cuadro 5. Distribución de válvulas por turno. | 58 |
| Cuadro 6. Ingresos estimados según producción de TM/ha. | 62 |
| Cuadro 7. Costo por hectárea del sistema de riego por goteo. | 63 |
| Cuadro 8. Costos por hectárea según manejo de cultivo. | 63,64 |
| Cuadro 9. Indicadores financieros. | 64,65 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Descripción | Página |
|--|--------|
| Figura 1. Diseño de surcos para riego por goteo. | 14 |
| Figura 2. Prospección geofísica para perforación de pozo. | 15 |
| Figura 3. Broca tricono para perforación de pozos. | 15 |
| Figura 4. Grava para filtración de pozo. | 16 |
| Figura 5. Sello sanitario de un pozo. | 17 |
| Figura 6. Base cementada para colocación de motor. | 18 |
| Figura 7. Cabezal de engrane y de descarga. | 19 |
| Figura 8. Flujometro. | 19 |
| Figura 9. Hidrociclones del sistema de filtrado. Funcionamiento interno de un hidrociclón. | 20 |
| Figura 10. Filtro de maya. | 21 |
| Figura 11. Instalación de los filtros de grava y el medio filtrante. | 22 |
| Figura 12. Instalación y configuración del sistema de retro lavado. | 22 |
| Figura 13. Apertura de la válvula hidráulica del retro lavado. | 23 |
| Figura 14. Válvula de puente. | 32 |
| Figura 15. Partes internas de un gotero DripNet PC 16125. | 53 |
| Figura 16. Ubicación de pozos en la finca | 54 |

Impacto de la introducción del riego por goteo subterráneo en el cultivo de la caña de azúcar, Finca San Eduardo, Retalhuleu. 2013–2014

Resumen

La agricultura es una de las actividades que demanda mayor cantidad de agua. La irrigación de campos de cultivo y la creciente contaminación de los recursos hídricos ha generado una situación de limitación del recurso hídrico y severos conflictos de uso en relación a los requerimientos de agua para el consumo humano. En el cultivo de caña de azúcar los rendimientos son influidos positivamente con la aplicación óptima de agua y fertilizantes. En la Finca San Eduardo, ubicada en Retalhuleu se introdujo el sistema de riego por goteo subterráneo en el cultivo de caña de azúcar en el año 2013-2014, es por ello que se planteó el siguiente estudio de caso cuyo fin es documentar la experiencia. Se realizó un análisis del impacto económico al implementar el sistema de riego por goteo, comparando las variables: lámina de riego, frecuencias de riego, y se analizaron los costos que permitirán expresar en términos concretos, los resultados obtenidos fueron contundentes ya que de la producción de 120 Toneladas métricas por hectárea (TMHa) con el riego con mini aspersión su llegó a producir 140 TMHa en el primer año y aumento en el 2016-2017 a 220 TMHa. Por lo que con la introducción del sistema de riego por goteo subterráneo se logró mejorar la cantidad adecuada de agua en el momento indicado, siendo más eficientes en el uso de este líquido vital así como en la creación de trabajos específicos con una mejor capacitación y estabilidad laboral a los colaboradores. Sin embargo es recomendable y vital dichas capacitaciones ya que la tecnología permanece en cambios y mejoras continuas por lo que es importantísimo este punto, además de las revisiones continuas del sistema para evitar pérdidas económicas así como verificar constantemente su funcionalidad.

1. INTRODUCCIÓN

Se considera que la agricultura es una de las actividades que demanda mayor cantidad de agua, porque el recurso está destinado a la aplicación de riego de millones de plantas para la producción de un bien económicamente rentable. La irrigación de campos de cultivo y la creciente contaminación de los recursos hídricos ha generado una situación de limitación del recurso hídrico y severos conflictos de uso en relación a los requerimientos de agua para el consumo humano (Netafim, 2013) .

En el cultivo de caña de azúcar se ha observado que los rendimientos son influidos positivamente con la aplicación óptima de agua y fertilizantes. Debido a la alta evapotranspiración del cultivo, es importante utilizar los escasos recursos hídricos en forma prudente, adoptando conciencia sobre el uso del mismo, manejando un sistema que ayuda a minimizar el consumo de agua por unidad de área (Franco, 2014).

En el marco de las observaciones anteriores, es imprescindible una agricultura comprometida con hacer un mejor uso del agua, de realizar cambios que tiendan a su optimización. En este sentido, el riego por goteo es uno de los sistemas de riego que menos se utiliza en caña de azúcar, pero el más eficiente porque suministra lentamente el agua en el suelo, se minimiza la pérdida del recurso por evaporación, además, de que permite la aplicación de fertilizantes a través del riego.

En efecto, en la Finca San Eduardo, ubicada en Retalhuleu se introdujo el sistema de riego por goteo subterráneo en el cultivo de caña de azúcar, es por ello que se planteó el siguiente estudio de caso cuyo fin es documentar la experiencia. Se realizó un análisis del impacto económico al

implementar el sistema de riego por goteo, comparando las variables: lámina de riego, frecuencias de riego, entre otras, y además se analizaron los costos que permitirán expresar en términos concretos, los resultados obtenidos hasta ahora, con la introducción del sistema de riego por goteo subterráneo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 EL RIEGO

El desarrollo económico y social de Guatemala depende en gran medida de la posibilidad de lograr que su sector agrícola obtenga una producción acorde a las necesidades alimenticias de la misma, además de tener la capacidad de exportar a otros países y servir de base a la industrialización (Franco, 2014).

El riego es la aplicación artificial de agua al perfil del suelo con el propósito de suplir la cantidad necesaria para que los cultivos produzcan en forma permanente y económica. Esto se hace con el objetivo de proveerle a los cultivos mejores condiciones y calidad de vida (Franco, 2014).

2.1.1 Requerimientos hídricos de la caña de azúcar

Por ser un cultivo de larga duración que produce enormes cantidades de biomasa, la caña de azúcar es una de las plantas con mayores requerimientos de agua, siendo inclusive considerada como resistente a la sequía. La mayor parte de la biomasa radicular de la caña de azúcar se encuentra cercana a la superficie, disminuyendo casi exponencialmente con la profundidad del suelo. Generalmente, casi el 50% de la biomasa radicular se concentra en los primeros 20 cm del suelo y un 85% está en los primeros 60 cm (Netafim, 2001).

El patrón de extracción de agua de las distintas capas del suelo sigue la distribución de la biomasa radicular. El tamaño y la distribución del sistema radicular se ven fuertemente afectados por la distribución y disponibilidad de agua en el suelo, causando diferencias en la capacidad de los cultivos para explorar las reservas más profundas del suelo (Netafim, 2001)

2.1.2 Patrón de extracción del agua

El suelo está formado por partículas que en conjunto forman agregados, entre estos se encuentran espacios que tienen agua y aire (Franco, 2014).

Las características de estas partículas y agregados influyen notablemente en el movimiento y retención de agua en el suelo y en el efecto sobre el crecimiento y producción de los cultivos, ya que el agua al igual que el aire son elementos esenciales para el desarrollo de la planta (Franco, 2014).

2.1.3 Factores físicos del suelo

- **Densidad aparente**

Es la relación que existe entre la masa de un suelo seco y el volumen que éste ocupa. Ésta propiedad es un parámetro importante en cuanto a riego, ya que determina la lámina de aplicación de agua en el diseño y operación de los sistemas de riego (Franco, 2014).

- **Textura**

Es la proporción de los tamaños de los grupos de partículas que constituyen un suelo, dichas partículas se dividen en: arenas, limos, arcillas. Ésta propiedad ayuda a determinar la disponibilidad de abastecer agua, aire y nutrientes, los cuales son fundamentales para la vida de las plantas (Franco, 2014).

▪ **Velocidad de infiltración**

La velocidad de infiltración es la entrada vertical del agua en el suelo a través de los poros en un determinado tiempo. Ésta velocidad depende de varios factores como la estructura, textura, contenido de humedad y la compactación del suelo, la temperatura del agua y suelo, y el estado físico-químico del suelo, entre otros (Franco, 2014).

2.1.4 Evapotranspiración

Es la suma de dos procesos naturales, los cuales son evaporación y transpiración. Ambos procesos se describen a continuación: evaporación es el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor por un proceso completamente físico, el cual se realiza en la superficie del suelo en un cuerpo de agua, transpiración es el proceso por el cual el agua que ha sido absorbida por las raíces de las plantas es liberada a la atmósfera a través de los estomas (Franco, 2014).

Estos pueden ser determinados por métodos directos, basados en experimentación directa por instrumentos y por métodos indirectos, por medio de fórmulas más o menos empírica establecidas por diversos investigadores:

- a. Métodos directos, se utilizan lisímetros, son recipientes que se llenan de suelo y se siembran, a fin de medir la evapotranspiración por procedimientos especiales.
- b. Métodos indirectos, esto se realiza en parcelas de campo, se escoge una parcela plana, de algunos centenares de metros cuadrados de terreno desnudo, homogéneo en superficie y profundo, luego se miden las precipitaciones y la humedad del suelo en diversos puntos y a

diferentes profundidades, se deduce de ello las variaciones de la reserva de agua subterránea y la evaporación.

2.1.5 Aspectos generales

En varios países tropicales y subtropicales, como Brasil, India, China, Pakistán, México o Guatemala la caña de azúcar es un cultivo de gran valor comercial. Sin embargo, la caída de más del 3 por ciento este año en la producción mundial de azúcar principal derivado de la gramínea ha motivado a los ingenios locales a aumentar la superficie sembrada de caña, que había registrado reducciones desde 1980 (Miranda).

Sin embargo, elevar los rendimientos de la caña maximizando el uso de insumos naturales y artificiales, agua y fertilizantes, principalmente requiere necesariamente incorporar sistemas de riego adecuados a las condiciones del lugar donde se va a cultivar. En este contexto, el riego por goteo subterráneo en caña de azúcar representa la mejor opción para optimizar el uso de agua, incrementando la producción y la calidad al mismo tiempo que se reduce la mano de obra y se optimizan los insumos aplicados (Miranda) .

Los principales factores técnicos que deben considerarse cuando se diseña un esquema de riego por goteo para caña de azúcar, son: requerimientos hídricos máximos del cultivo, área a ser regada, disponibilidad de agua de riego y energía, calidad del agua de riego, características del suelo y topografía del terreno. Los sistemas de riego por goteo constituyen un método conveniente de aplicación de los fertilizantes y agroquímicos junto con el agua de riego, mediante el uso de aparatos especiales de fertirrigación (Franco, 2014).

2.1.6 Riego por goteo subterráneo

Corresponde a la aplicación de agua bajo la superficie del suelo a través de emisores moldeados en la pared interna del lateral de goteo, con caudales (1.0 - 3.0 LPH) que, generalmente, están dentro del mismo rango que los caudales del riego por goteo superficial integral. Este método de aplicación del agua es diferente y no debe ser confundido con el método en el que la zona radicular es regada por el control de la capa freática, definido como riego subterráneo (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

Los altos niveles de precisión en la aplicación del agua que se alcanzan en el sistema de riego por goteo subterráneo son de suma importancia, ya que de éstos dependerá la precisión en la aplicación y aprovechamiento de los fertilizantes y, en consecuencia, un excelente desarrollo del cultivo. En la implementación del sistema de riego por goteo subterráneo en caña de azúcar, la separación entre laterales oscila entre 1.9 y 2.0 metros, en hileras dobles (surco piña) (Franco, 2014).

Entre cada dos hileras va un lateral y entre goteros la separación puede ser de 30 o hasta 60 centímetros, dependiendo del tipo de suelo, aunque lo importante es que permitan proporcionar los volúmenes diarios de agua que necesita la planta. La adopción del riego por goteo (superficial o subterráneo) en un cultivo de caña de azúcar es técnicamente factible, económicamente viable y es beneficioso por muchas razones:

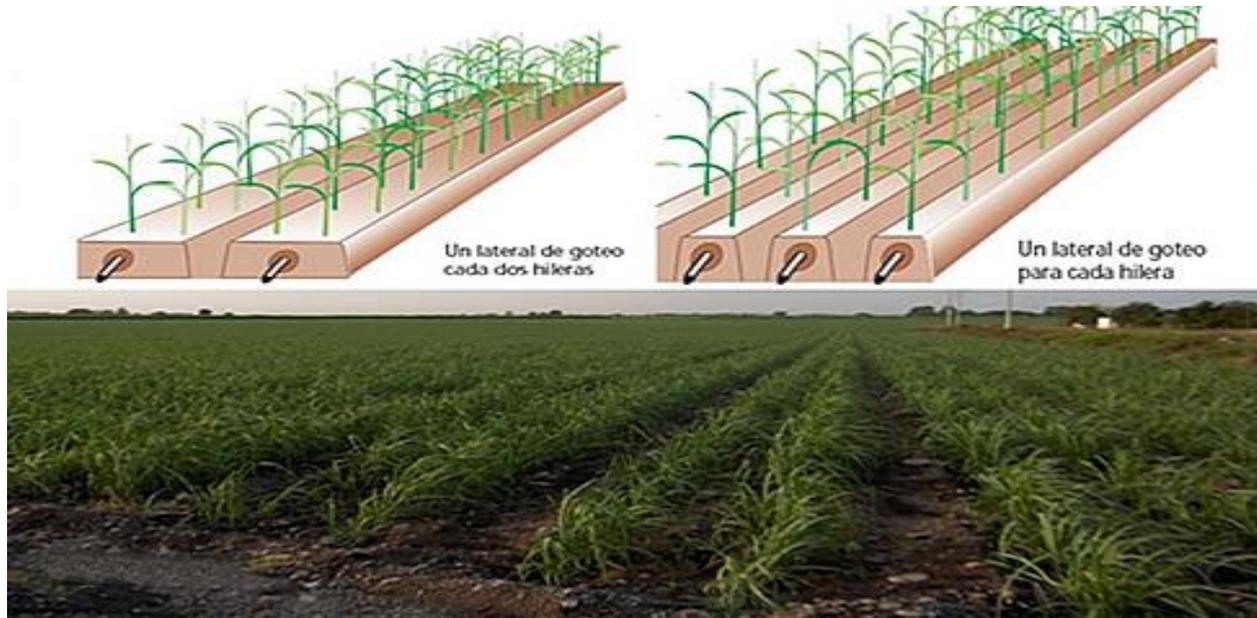


Figura 1. Diseño de surcos para riego por goteo

2.1.7 Perforación de pozos

Para cumplir con la demanda de agua calculada en el diseño y sistema de riego, los pozos se perforan a una profundidad de 920 pies aproximadamente. La duración de la perforación para cada pozo abarca alrededor de 40 días y el procedimiento se describe a continuación:

- a. **Sondeo del punto:** Con ayuda de un asesor hidrogeológico se georeferencian por medio de prospección geofísica los puntos de ubicación de los pozos, como se ilustra en la Figura 3. Si estos puntos no coinciden con los sugeridos en el pre diseño, hay que modificar el diseño completo en base a los resultados de este sondeo (Franco, 2014)



. Figura 2. Prospección geofísica para perforación de pozo (Franco, 2014).

- b. Ante pozo:** Con ayuda de una broca tricono, como se ilustra en la Figura 4, se hace una perforación previa con diámetro en 36 pulgadas y entubado en 30 pulgadas durante los primeros 10 pies de cada pozo.



Figura 3. Broca tricono para perforación de pozos (Franco, 2014).

- c. **Entubado:** Con ayuda del muestreo efectuado durante el sondeo eléctrico vertical, se describe la geología del subsuelo con la intención de preparar el entubado que mejor se acopla a las características que se presentan en el muestreo y también para conocer la cantidad y la longitud de los acuíferos encontrados (Franco, 2014).
- d. **Instalación del filtro de grava:** El filtro de grava es elemental ya que permite que el agua que está produciendo el pozo esté libre de impurezas que pueden perjudicar la red de la tubería PVC. El tipo de grava utilizado se muestra en la Figura (Franco, 2014).



Figura 4. Grava para filtración de pozo (Franco, 2014).

Al terminar este proceso se inyecta aire comprimido dentro del pozo hasta que se logre expulsar todas las partículas en suspensión.

- e. **Prueba de bombeo:** Esto se realiza con el propósito de evaluar la producción de agua en base al nivel dinámico y las revoluciones por minuto del motor (RPM). Por ejemplo, se aplican 1,000 RPM por tiempo indefinido hasta que el nivel dinámico deja de descender y al mismo tiempo se toman lecturas de la producción. Luego se aumentan las RPM a 1,200

hasta que el nivel dinámico se estabiliza de nuevo y se toma de nuevo la lectura, y así sucesivamente hasta llegar a medir la producción de agua a 1800 RPM y con el nivel dinámico estable (Franco, 2014)

- f. **Sello sanitario:** Consiste en un revestimiento de arcilla compactada alrededor de la tubería del pozo y que está por encima de un filtro construido a base de grava fina, con el objetivo de evitar el ingreso de agua superficial por infiltración. Encima de este revestimiento se construye una base rectangular de concreto para cubrir el tubo de acero que se protege soldando una tapadera del mismo diámetro (Franco, 2014).



Figura 5. Sello sanitario de un pozo (Franco, 2014).

- g. **Calidad de agua:** Para realizar esta evaluación se envía al laboratorio una muestra de un litro del agua producida por cada pozo.
- h. **Instalación del sistema de bombeo**

- **Motor:** Como se determina en el diseño hidráulico, el motor que se instala es el diesel John Deere serie 6081HF001, capaz de brindar una potencia de 267 Hp. Estos son colocados sobre unas bases de concreto, como se ilustra en la figura 7 (Franco, 2014).



Figura 6. Base cementada para colocación de motor.

- **Bomba, cabezales de descarga y de engranes:** En el sistema de riego se instala una bomba vertical marca National Pump Company sumergida a 250 pies, modelo M14XXHC de tres etapas con cabezal de descarga de la misma marca modelo N10-260 y un cabezal de engranes marca Johnson GearCompany serie H200 DT de 200 Hp (Franco, 2014).

Estos componentes, ilustrados en la Figura 8, hicieron posible la demanda de agua requerida de 2,000 GPM. Cabe recalcar que la determinación de las especificaciones de la bomba se hizo con ayuda de un catálogo del fabricante, donde se relacionó la Carga Dinámica Total junto con el caudal de los pozos y automáticamente desplegó el modelo de la bomba con sus respectivas etapas. Los cabezales de descarga y de engranes estaban ligados al modelo de la bomba por lo que fueron sugeridos por el mismo catálogo (Franco, 2014).



Figura 7. Cabezal de engrane y de descarga (Franco, 2014).

- **Flujometro:** Al igual que las válvulas de cheque, estos son de 10 pulgadas y se colocan en cada módulo con el propósito de contabilizar la producción de agua del pozo, además de controlar la lámina de riego aplicada en base al área cubierta (Franco, 2014).



Figura 8. Flujometro (Franco, 2014).

i. Instalación del sistema de filtrado

Con el propósito de eliminar estos sólidos o partículas del agua y evitar cualquier tipo de obstrucción, se instala un sistema de filtrado para cada pozo integrando los siguientes componentes:

- **Hidrociclones:** Este tipo de filtro evita el ingreso de restos de suelo como arena a la red de tubería, como se muestra en la Figura 8.

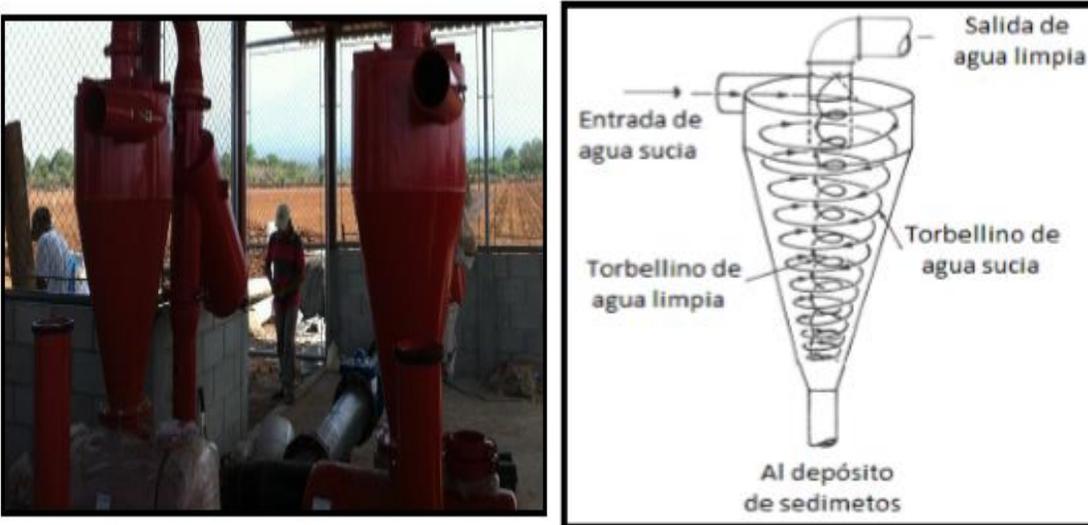
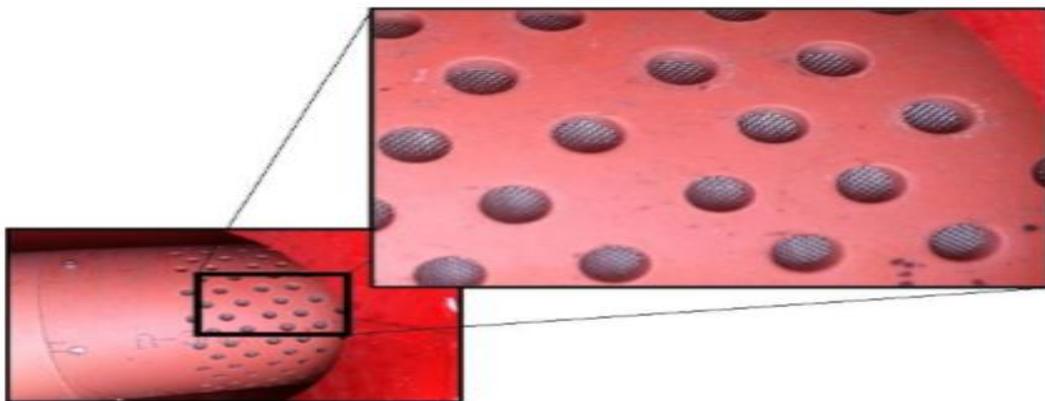


Figura 9. Hidrociclones del sistema de filtrado. Funcionamiento interno de un hidrociclón.

- j. Filtro de Maya:** Este tipo de filtro se coloca inmediatamente después de cada hidrociclón, del mismo diámetro, evitando que el agua libre de arena continuara su flujo con presencia de materia inorgánica como algas (Franco, 2014).



Vista lateral del filtro de maya.



Vista interna del filtro de maya.

Figura 10. Filtro de maya (Franco, 2014).

k. Filtro de Grava: Al final del proceso de filtrado se hace necesaria la instalación de filtros de grava, con el propósito de neutralizar minerales como hierro. En el interior de estos filtros se coloca grava especial de sílice de 1.5 - 2.5 mm de grosor, combinada con pirolox

como catalizador para oxidar minerales como sulfuro de hidrógeno, hierro y manganeso (Franco, 2014).



Figura 11. Instalación de los filtros de grava y el medio filtrante (Franco, 2014).

Para la automatización del sistema de filtrado, se instala un mecanismo de retro lavado, activado por selenoides y alimentado por una batería de 12 voltios, y la configuración del sistema de retro lavado, se realiza mediante dos interruptores giratorios y un dip-switch interno, que en conjunto gradúan el tiempo entre cada lavado de los filtros, y la duración de estos intervalos (Franco, 2014).



Figura 12. Instalación y configuración del sistema de retro lavado (Franco, 2014).

Por la demanda de agua se opta por graduar los intervalos de filtrado cada 3 horas con una duración de 90 segundos para cada retro lavado. Al activarse el mecanismo se envía un pulso eléctrico a un selenoide que crea un campo magnético para abrir o cerrar una válvula hidráulica, abriendo o cerrando el sistema de retro lavado (Franco, 2014).



Figura 13. Apertura de la válvula hidráulica del retro lavado (Franco, 2014).

I. Implementación de recomendaciones técnicas sobre el riego por goteo en caña de azúcar:

▪ Factores técnicos

- Emisores embutidos de precisión para suplir un caudal bajo, uniforme y constante de agua y nutrientes.
- La sección transversal del emisor debe permitir un flujo más ancho y profundo para tener una descarga libre del agua, sin taponamientos.

- Dientes afilados dentro del emisor, para una mayor turbulencia y control del flujo del emisor.
- La tubería no debe tener suturas para mantener una mayor fuerza ténsil y mayor resistencia a roturas, facilitando así la operación a altas presiones por tiempo prolongado.
- El emisor debe tener un filtro incorporado elevado, para hacer salir el agua desde el centro de la tubería, evitando así el taponamiento.
- Los emisores deben tener filtros para evitar el taponamiento, con menor necesidad de manutención y mayor vida útil.
- El espaciamiento de los emisores debe ser flexible y la elección de las velocidades de flujo debe adaptarse a las distintas variedades de caña de azúcar, a los distintos diseños de plantación, tipos de suelo, etc.
- El coeficiente de variación y el exponente de fabricación de los emisores debe ser bajo.
- La velocidad de flujo debe ser insensible a las variaciones de temperatura.
- Resistencia al ataque de insectos, al sol, sin partes móviles y una duración adecuada (Netafim, 2013).

- **Factores Agronómicos**

Tanto el riego por goteo superficial como el subterráneo son técnicamente factibles para el cultivo de caña de azúcar bajo diversas condiciones.

Existen diversos tipos de laterales de goteo disponibles para caña de azúcar: de pared gruesa para goteo superficial, de pared delgada para líneas subterráneas, laterales con goteros no auto

compensados para terrenos nivelados, laterales con goteros auto compensados para topografía ondulada, etc.

El riego por goteo subterráneo es superior al goteo superficial, en términos de disponibilidad de agua, uniformidad, uso del agua, eficiencia del uso del agua, rendimiento y calidad de la caña, manejo, etc.

La plantación en filas pareadas o dobles, o la plantación como en el cultivo de la piña, con espaciamientos variables según la textura del suelo, con un lateral de goteros a cada dos filas, resulta técnicamente factible, económicamente viable y potencialmente rentable, en comparación con un diseño rectangular de plantación en filas simples con un lateral de goteo en cada fila.

Los laterales de goteo pueden ser enterrados antes de la plantación de la caña, sin que sea necesario esperar hasta la plantación y la germinación.

Tanto con el sistema de goteo superficial como con el subterráneo se logra una apropiada germinación y emergencia de la caña en el campo, que genera una población adecuada de plantas, sin que sea necesario el uso de surcos superficiales o aspersores adicionales para el riego de germinación (Netafim., 2012).

2.1.8 Diseño de la plantación

Cuando el cultivo crece bajo el método de riego por goteo, la transformación de la conducción convencional en amelgas y surcos en un sistema de filas pareadas o filas dobles, sin reducir la población de plantas por unidad de área, ha resultado eficiente tanto en términos fisiológicos como

de costos.El espaciamiento de las filas dobles dependerá del tipo de suelo y de la época de plantación (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

2.1.9 Diseño de un esquema de riego por goteo

El riego por goteo ofrece al agricultor la posibilidad de aumentar los rendimientos y la calidad de la caña y la oportunidad de mejorar el riego y las eficiencias energéticas en la caña de azúcar regada. Sin embargo, para aprovechar este potencial y oportunidad, los esquemas de riego por goteo deben ser diseñados, instalados y manejados correctamente.

2.1.9.1 Factores de Diseño

Los principales factores técnicos que deben considerarse cuando se diseña un esquema de riego por goteo para caña de azúcar, son los siguientes:

- Requerimientos hídricos máximos del cultivo.
- Área a ser regada.
- Disponibilidad de agua de riego y energía.
- Calidad del agua de riego.
- Características del suelo.
- Topografía del terreno (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

2.1.9.2 Componentes de un sistema de riego por goteo

- **Capacidad del sistema:**

El sistema de riego por goteo debe tener una capacidad de diseño adecuada para satisfacer el requerimiento hídrico máximo del cultivo a ser regado, dentro del área de diseño. La capacidad debe considerar las pérdidas de agua que pueden ocurrir durante los tiempos de aplicación. El sistema debe tener la capacidad de aplicar una cierta cantidad de agua en el área de diseño en un determinado período de operación. El sistema debe tener una capacidad de diseño mínima, suficiente para satisfacer los requerimientos máximos diarios del cultivo en alrededor del 90% del tiempo disponible, o en un tiempo no superior a 22 horas continuas de operación, o en un período que no exceda el de disponibilidad diaria de energía.

- **Presión de trabajo**

La presión de operación del sistema debe estar en concordancia con las recomendaciones del fabricante. La presión de trabajo debe compensar las pérdidas de carga que ocurren a lo largo de los componentes del sistema y los efectos de la elevación del terreno.

- **Elección del equipamiento cabezal de control**

La estación con el cabezal de control debe tener instalaciones para medir el agua, para el filtrado y tratamiento del agua, para la inyección de fertilizantes y agroquímicos, para el control del flujo y la presión, para controlar el tiempo de aplicación y prevenir el flujo inverso del agua.

- **Sistema de Filtrado**

El sistema de filtrado es un ensamblaje de componentes físicos controlados de manera independiente, que son utilizados para remover los sólidos en suspensión del agua de riego.

El filtrado del agua de riego es vital para los sistemas de riego por goteo, con el fin de evitar la obstrucción de los emisores, ya que los conductos internos de los emisores son muy pequeños (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane)

La elección del filtro depende del tipo de impurezas contenidas en el agua y del grado de filtrado requerido por el emisor. Se recomienda procurar la asesoría de un experto de Netafim para los análisis de calidad del agua referente a pH, sólidos en suspensión, sólidos disueltos y población bacteriana. Las recomendaciones para el diseño de sistemas de filtrado deben incluir la instalación, el tamaño, la especificación de los tamaños permitidos para los materiales suspensos, los tipos de filtros y la manutención del equipo.

Instalación: El primer filtro debe estar localizado después de la bomba y de la unidad de fertirrigación, para retirar del flujo las partículas grandes y las pequeñas. Filtros secundarios pueden ser instalados aguas abajo, a partir del filtro primario, para remover cualquier partícula que pueda haber pasado a través del filtro primario durante las operaciones normales o de limpieza. Cuando se utilizan filtros secundarios, el tamaño de las aberturas es generalmente mayor que en el filtro primario, para minimizar los cuidados de manutención.

Tamaño: las aberturas de flujo del filtro deben ser lo suficientemente pequeñas para prevenir el pasaje de partículas no deseadas dentro del sistema. El tamaño del filtro debe estar basado en el diámetro de abertura del emisor o en el tipo y tamaño de las partículas a ser filtradas. La capacidad del filtro debe ser suficientemente grande para permitir el flujo dimensionado sin necesidad de

limpiezas frecuentes. Los filtros que deben ser limpiados manualmente no necesitan más que una manutención diaria. El tamaño debe ser el más económico posible, con las menores pérdidas por fricción en un rango de 0.3 a 0.5 bars.

Tipos: El filtrado puede lograrse mediante el uso de diferentes tipos de filtros, tales como los filtros de malla (para impurezas inorgánicas y calidad moderada de agua, o después de un primer filtrado con filtros de discos o de arena), filtros de anillas (para la remoción de impurezas de origen orgánico e inorgánico, incluyendo algas), hidrociclones (para la separación de arena o limo de agua de pozo o río) y filtros de arena (para pozos y tranques abiertos, riachuelos, etc.)

2.1.10 Profundidad e instalación del sistema

La profundidad va estar definida por el tipo de suelo en donde se va a sembrar el cultivo, en suelos areno-franco y franco–arenoso a profundidades de 15 a 20 cm ya que este tipo de suelos se benefician con riegos cortos y frecuentes. Franco – limoso y Franco – Arcilloso a profundidades de 20 a 25 cm; los riegos pueden ser menos frecuentes y permiten mayores volúmenes de agua en cada riego, pues el agua se expande mas lateralmente hacia la zona radicular y la capacidad de almacenaje de agua en estos suelos es alta; Arcillosos a profundidades de 25 a 30 cm; pues el agua se expande mas lateralmente hacia la zona radicular y la capacidad de almacenaje de agua en estos suelos es alta pero se debe evitar tener problemas de mal drenaje e inundaciones en zonas de la raíz (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

2.1.11 Unidad de fertirrigación

Los sistemas de riego por goteo constituyen un método conveniente de aplicación de los fertilizantes y agroquímicos junto con el agua de riego, mediante el uso de aparatos especiales de

fertirrigación. Los aparatos de fertirrigación incluyen sistemas diferenciales de presión (tanque de fertilizantes), la succión producida por el principio del Venturi (inyectores Venturi) y las bombas (de diafragma, de pistones o eléctricas). La unidad de fertirrigación es una parte integral del cabezal de riego (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

Las consideraciones importantes son el método y la tasa de inyección, la concentración, la capacidad de almacenaje del estanque, la contaminación de la fuente de agua, la confiabilidad y la precisión de operación, la garantía y servicio, la posibilidad de automatización, el desempeño en campo y el precio, incluyendo los costos de adquisición y manutención, vida útil, etc. (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

2.1.12 Sistema de conducción del agua – Líneas de abastecimiento, matrices y submatrices

El objetivo del diseño de las líneas de abastecimiento, matrices y submatrices es entregar la cantidad de agua presurizada necesaria en los laterales de goteo de la forma más eficiente posible. El cultivador de caña de azúcar debe tratar de minimizar el costo total de las líneas de abastecimiento y matrices necesarias para satisfacer las especificaciones ingenieriles (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

La tubería submatriz debe estar basada en la capacidad requerida, en el costo de manutención, costo de inversión y uniformidad de la presión. Las tuberías enterradas están menos sujetas a daños que las líneas superficiales y no necesitan de manipulación especial durante el ciclo de cultivo. Para cada tipo de tubería existen controladores y válvulas apropiados. En general, las líneas de abastecimiento, las matrices y las submatrices representan un 20-35% del costo total de inversión por hectárea (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

2.1.13 Factores económicos y manejo del diseño

Los principales factores de manejo y económicos que deben considerarse cuando se diseña un sistema de riego SDI para caña de azúcar son los siguientes:

- Potencial de Rendimiento y de Incremento del CCS.
- Costo de un Sistema de Riego Subterráneo.
- Costo de Instalación y Tasa de Interés.
- Costos de Operación y Manutención.
- Disponibilidad y Costo del Agua.
- Disponibilidad y Costo del Personal Entrenado para Operar el Esquema de Goteo.
- Precio del Azúcar (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

▪ Otros Factores

Disponibilidad y evaluación cualitativa de la fuente de agua, para determinar el tipo de filtrado del sistema, la manutención del sistema de riego, el manejo del cultivo y la elección de fertilizantes.

Evaluación de suelo en cuanto al estado nutricional, contenido de arcillas, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, etc. para determinar el programa de fertilización.

Determinación de las propiedades de retención de humedad y la demanda evaporativa de la atmósfera para definir el calendario de riego.

Cotizar al elegir el tipo de línea de goteo (auto-compensado o no auto-compensado), para determinar la longitud de los laterales y el espaciamiento de las submatrices.

Las características del suelo determinan un espaciamiento adecuado de emisores y una correcta profundidad de instalación de la línea de goteo (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

2.1.14 Controlador de la Unidad de Riego

El volumen del agua aplicada en cada sector de riego es controlado por la abertura y cierre de válvulas. Estas pueden ser simples válvulas de puente, válvulas volumétricas semi-automáticas o válvulas automáticas tipo solenoide, conectadas a un controlador central (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).



Figura 14. Válvula de puente (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane)

La válvula de escape de aire, que también actúa como un punto de medición de la presión, es necesaria para prevenir golpes de ariete cuando el aire se escapa del sistema de conducción del agua. El caudal de laterales con goteros no auto-compensados depende de la presión del agua dentro del lateral de goteo (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

El regulador de presión en el ensamblaje elevado es utilizado para mantener la presión del agua en los laterales de goteo en el nivel recomendado por el ingeniero de diseño de Netafim. Es importante notar que los ensamblajes elevados deben protegerse de daños por vandalismo, incendios y operaciones de campo tales como la cosecha mecanizada, la carga de camiones, etc. Una caja de concreto con una puerta de metal generalmente proporciona una protección adecuada (Netafim, Características del riego por goteo.- Sugarcane).

3. CONTEXTO

En el año 2013 Ingenio Magdalena logró aumentar a 53,000 hectáreas su extensión, distribuida en cuatro regiones: Región Central Norte (La Democracia), Región Central Sur (La Gomera), Región Occidente (Retalhuleu, Nueva Concepción) y Región Oriente (Chiquimulilla, Taxisco, Puerto San José).

Con este incremento en extensión logró incrementar los 13,487,198 quintales de azúcar obtenidos durante la zafra 2012 - 2013, producción que ayudó al Ingenio a posicionarse como máximo productor azucarero del país, además de aumentar relativamente la producción de sus derivados como alcohol, dióxido de carbono, metano y energía eléctrica.

Con el paso del tiempo las experiencias del cultivo de caña de azúcar han demostrado que los rendimientos son influidos positivamente con la aplicación constante de agua y fertilizantes.

En los últimos años el Ingenio Magdalena ha tecnificado los sistemas de riego, implementando el de miniaspersión para 1,495 hectáreas en el año 2006 dejando atrás el desarrollo con aspersion con cañones, y es a partir del año 2013 que se implementa el sistema de riego por goteo en 679 hectáreas. Una de las primeras fincas en donde se implementó el proyecto es en finca Eslovaquia que fueron alrededor de 331 hectáreas con riego por goteo, alcanzando un costo total de proyecto de \$ 1,174,806.92 equivalente a \$. 3,549.27 por hectárea, el mismo año el proyecto fue establecido en la finca San Eduardo ubicada en Retalhuleu, los resultados han sido beneficiosos ya que con ello se ha incrementado significativamente la producción de caña. El siguiente estudio de caso está basado en el proyecto establecido en finca San Eduardo, la cual cuenta con un área de 435.76

hectáreas, de las cuales 347 hectáreas están sembradas con caña y actualmente se están regando con el sistema de riego por goteo.

Es de mucha importancia que se documente toda la información y los procesos que permitieron la implementación de dicho sistema, ya que en un futuro, esta modalidad de riego podría estandarizarse para la mayoría de fincas puesto que en este sistema de irrigación, la pendiente del terreno no constituye una limitante, además que pueden satisfacerse las necesidades hídricas durante todo el ciclo del cultivo, permitiendo también la incorporación del fertirriego.

Además es importante que se evidencie cada detalle de los procesos a lo largo del proyecto, permitiendo que el Ingenio posea dicha información por cualquier consulta que pueda acontecer.

4. JUSTIFICACIÓN

Finca San Eduardo es una región nueva en el área del departamento de Retalhuleu para la organización Ingenio Magdalena, utilizada para el cultivo de la caña de azúcar, en la que el choque de los cambios panorámicos a causa de la inserción de este cultivo, como el mal uso de los recursos hídricos superficiales principalmente por parte de otras empresas azucareras, ha creado un ingreso y desarrollo dificultoso para la siembra de dicho cultivo en esta área, por lo que con el uso de nuevas técnicas como el riego por goteo subterráneo en el cultivo de la caña de azúcar ha venido a facilitar la aceptación y el desarrollo de áreas a sembrar para la organización Ingenio Magdalena ya que esto no ha tenido que competir por el recurso hídrico superficial de los ríos indispensable para las poblaciones locales y a creado una diferencia aumentando la productividad toneladas por hectárea, cambiando la forma de pensar de la organización Magdalena en cuanto a las formas tradicionales de riego como el de riego por mini aspersión.

El riego por goteo subterráneo es un sistema que posee ventajas en comparación con otros sistemas de riego, como el de mini aspersión, particularmente, porque permite optimizar el uso de agua y otros insumos, incrementa la producción y la calidad, al mismo tiempo que se reduce la mano de obra. No obstante, la utilización de riego por goteo es una tecnología relativamente nueva en el cultivo de la caña de azúcar.

De este modo, la realización del estudio de caso en condiciones específicas de la Finca San Eduardo constituye una oportunidad para conocer si se han obtenido los efectos deseados por el sistema de riego por goteo comparado con el de riego mini aspersión.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Documentar la implementación del sistema de riego por goteo en el cultivo de caña de azúcar en la finca San Eduardo, Retalhuleu.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir los criterios para la formulación y diseño agronómico en un sistema de riego por goteo subterráneo en el cultivo de caña de azúcar, finca San Eduardo.

Describir los criterios para el diseño hidráulico en un sistema de riego por goteo subterráneo en el cultivo de caña de azúcar, finca San Eduardo.

Determinar las ventajas y desventajas del riego por goteo subterráneo como sistema alternativo para aumentar la rentabilidad del cultivo de caña de azúcar.

Analizar indicadores económicos y financieros a partir de costos y beneficios de la utilización del riego por goteo subterráneo en caña de azúcar.

6. METODOLOGÍA

6.1 PROCEDIMIENTOS Y DISEÑO DE INSTRUMENTOS

El estudio de caso consiste en realizar una investigación documental cuantitativa, con la que se recopilaron datos relacionados con las variables de estudio en el sistema de riego por goteo subterráneo. Para ello se utilizaron como fuentes de información: registros de caudales utilizados, frecuencias de riego, láminas de riego, toneladas por hectárea producidas, costos de inversión e instalación expresado en quetzales por hectárea, costos de aplicación y mantenimiento expresado en quetzales por hectárea y rentabilidad.

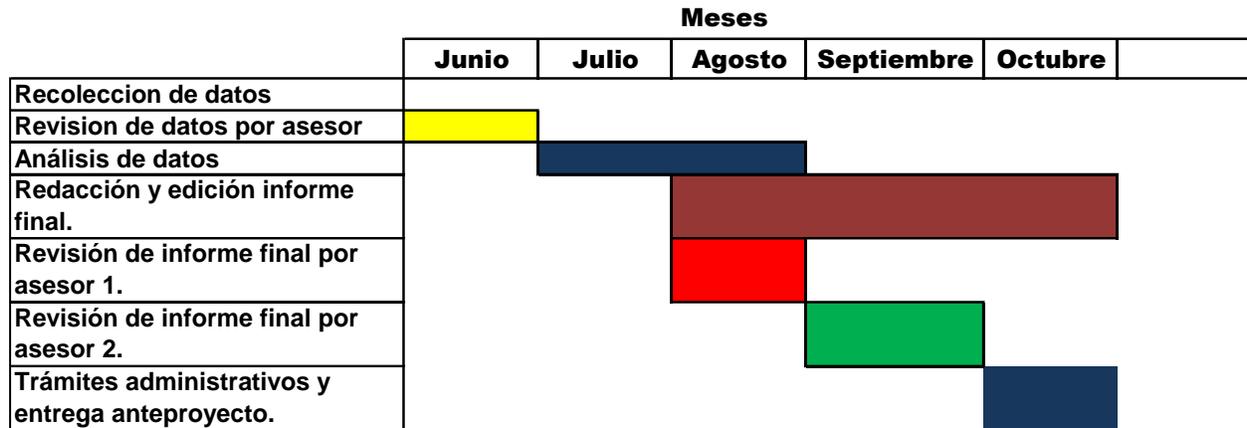
Como instrumentos se utilizaron cuadros de doble entrada para el vaciado de información que facilitaron el análisis de datos.

6.2 PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se realizó la obtención de la información requerida para dar respuesta a los objetivos y variables de estudio consideradas. Posteriormente se clasificó y ordenó digitalmente la información obtenida utilizando cuadros de doble entrada. Luego, se calcularon las variables de estudio y se sometieron a un análisis cuantitativo y comparativo. Finalmente se elaboró el informe final en función de los resultados del análisis. Las actividades, la fecha y duración se muestran en el siguiente cuadro.

6.2.1 Cronograma de actividades

Cuadro 1. Cronograma de actividades



6.3 VARIABLES DE ESTUDIO

Para el diseño del sistema de riego en finca San Eduardo se establecieron dos etapas, el diseño agronómico y el diseño hidráulico.

Las variables de estudio para el diseño agronómico se definieron en base a los siguientes modelos matemáticos:

a. Evapotranspiración máxima diaria:

Se utilizó el método Blaney y Criddle para determinar este parámetro, según éste método la evapotranspiración máxima diaria está dada por:

$$ETP_{max} = E_{to} * K_c$$

Donde:

ETPmax= Evapotranspiración máxima diaria (cm/d)

Eto= Evapotranspiración del cultivo (cm/d)

Kc= Coeficiente del cultivo

b. Lámina de agua bruta:

Expresa la humedad del suelo en lámina de agua entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Su fórmula es la siguiente:

$$LB = \frac{(CC - PMP)}{100} * Da * Zr$$

Donde:

LB= Lámina de agua bruta (cm)

CC= Capacidad de campo (%)

PMP= Punto de marchitez permanente (%)

Da= Densidad aparente (g/cm³)

Zr= Zona radicular (cm)

c. Lámina de agua neta:

Es la humedad que existe entre la capacidad de campo y el nivel crítico de humedad. Esta se determina en base al siguiente modelo matemático:

$$LAN = LHA * DPM$$

Donde:

LAN= Lámina de agua neta (cm)

LHA= Lámina de humedad aprovechable (cm)

DPM= Déficit permitido de manejo (%)

d. Lámina de agua a aplicar:

Se determinó en base al siguiente modelo matemático:

$$Laa = \frac{Ln}{Efa}$$

Donde:

Laa= Lámina de agua a aplicar (cm)

Ln= Lámina de agua neta (cm)

Efa= Eficiencia de aplicación (%)

e. Frecuencia de riego:

Se determinó con el siguiente modelo matemático:

$$Fr = \frac{Ln}{\frac{ETPmax}{Efa}}$$

Donde:

Fr= Frecuencia de riego (d)

Lb= Lámina de agua neta (cm)

ETPmax= Evapotranspiración máxima diaria (cm/día)

Efa: Eficiencia de aplicación (%)

f. Intensidad de riego

Se determinó en base a la siguiente fórmula:

$$Ir = \frac{Qe}{\text{área}} * 100$$

Donde:

Ir= Intensidad de riego (cm/h)

Qe= Caudal del emisor (m³/h)

Área= área que cubre el emisor (m²)

g. Tiempo de riego por turno

Este factor se determinó según el siguiente modelo:

$$TRT = \frac{Ln}{Ir}$$

Donde:

TRT= Tiempo de riego por turno (h)

Ln= Lámina de agua neta (cm)

Ir: Intensidad de riego (cm/h)

h. Selección del emisor

El emisor es el componente principal del sistema de riego, por lo que debe cumplir con los requerimientos del cultivo.

i. Marco de siembra

Según los requerimientos del cultivo de caña de azúcar, se estableció una distancia entre mangueras de 1.90 m y entre goteros 0.5 m.

Para el diseño hidráulico se determinaron las siguientes variables de estudio y se calcularon según los siguientes modelos matemáticos:

a. Pérdida de carga

$$H_f = 1.131^2 * 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.87} * L$$

Donde:

H_f: Pérdida por fricción (m)

Q: Caudal (m³/h)

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams según el material utilizado

D: Diámetro interno de la tubería (mm)

L: Longitud de la tubería (m)

b. Pérdida total

$$Hf(\text{total}) = Hf(\text{tuberíaprincipal}) + Hf(\text{tuberíasecundaria}) + Hf(\text{laterales})$$

c. Pérdida de carga por salidas múltiples

$$Hfsm = Hf * F$$

Donde:

Hfsm: Pérdida de carga por salidas múltiples (m)

Hf: Pérdida por fricción (m)

F: Factor por pérdidas por salidas múltiples

d. Pérdidas menores

$$hm = K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

Hm: Pérdidas menores en metros de columna de agua (m)

K: Factor de pérdidas por accesorios

V²: Rapidez al cuadrado (m²/s²)

g: Aceleración gravitacional de acuerdo a la latitud (m/s²)

e. Carga requerida en la entrada del lateral

$$he = ho + \frac{3}{4}hf + \Delta z + He + hm$$

Donde:

he: Carga requerida en la entrada del lateral (m)

ho: Presión de operación del aspersor seleccionado (m)

hf: Pérdida de carga por fricción en la tubería lateral (m)

Δz : Diferencia de altura entre la entrada del lateral y el final del lateral (m)

He: Altura del elevador (m)

hm: Pérdida menores en metros de columna de agua (m)

f. Carga dinámica total

$$CDT = he + hfp + (hfp * 0.1) + Ce$$

Donde:

CDT: Carga Dinámica Total (m.c.a.)

he: Carga requerida en la entrada del lateral (m)

hfp: Pérdidas de carga de la principal (m)

hfp*0.1: Estimación de pérdidas menores en la principal

Ce: Desnivel topográfico (m)

g. Potencia del motor requerida

$$HpB = \frac{Q * CDT}{76 * Eb}$$

Donde:

HpB: Caballos de fuerza requeridos por la bomba (Hp)

Q: Caudal del sistema (l/s)

CDT: Carga Dinámica Total (m.c.a.)

Eb: Eficiencia de la bomba (%)

h. Selección del sistema de bombeo

En base a la demanda de agua y los requerimientos hídricos del cultivo, se definieron los componentes del sistema de bombeo. Según los cálculos efectuados se determinaron los siguientes parámetros:

- Cálculo de la red de tubería
- Caudal utilizado por turno
- Cálculo del equipo de bombeo

6.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de la información se realizó según los resultados obtenidos por los modelos matemáticos utilizados para calcular las diferentes variables de estudio, esto con el fin de formular y diseñar los criterios técnicos de instalación y operación del proyecto. También se utilizaron cuadros de análisis y porcentajes.

6.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se analizaron comparativamente los costos de inversión del sistema de riego por goteo, se tomó como base los rendimientos por hectárea (TM/ha) de las siguientes cosechas a partir de la

instalación del sistema (2013-2014). Los indicadores que se tomaron en cuenta para ello son: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio/Costo R(B/C).

a. Para calcular el Valor Actual Neto (VAN) se utilizó el siguiente modelo matemático:

$$VAN = \frac{\sum(Y-E)}{(1+Td)^n - I_0}$$

Donde:

VAN: Valor Actual Neto

Y: Ingresos anuales

E: Egresos anuales

Td: Tasa de descuento

n: Años de duración del proyecto.

I₀: Inversión inicial

Un proyecto es aceptado cuando el VAN es igual o mayor que cero.

b. El modelo matemático para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) es el siguiente:

$$TIR = i_1 + (i_2 - i_1) \left(\frac{VAN+}{VAN+ - VAN-} \right)$$

Donde:

TIR: Tasa Interna de Retorno

I₁: Tasa de descuento que origina el VAN+

I₂: Tasa de descuento que origina el VAN-

VAN+: Valor Actual Neto positivo de fondos

VAN- : Valor Actual Neto negativo de fondos

Este indicador muestra la máxima tasa de interés que el proyecto puede pagar, sin que se incurra en pérdidas.

c. La Relación Beneficio/Costo se calculó en base al siguiente modelo matemático:

$$\left[R \left(\frac{B}{C} \right) \right] = \frac{\frac{\sum Y}{(1+Td)}}{\frac{\sum E}{(1+Td)}}$$

Donde:

R (B/C): Relación Beneficio/Costo

Y: Ingresos anuales

E: Egresos anuales

Td: Tasa de descuento

Un proyecto es aceptado cuando la R (B/C) es igual o mayor a uno.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 INTERVENCIÓN

7.1.1 Diseño

Previo a iniciar todo el proceso se realizaron visitas de campo, con el objetivo de caracterizar la finca en donde se ejecutó el proyecto, para el caso propio de la finca San Eduardo, se utilizó integralmente la siguiente información:

a. Topografía

Fue una de las etapas más importantes, ya que a partir de este análisis se basa el diseño en donde se estableció la distribución de calles, rutas cañeras, áreas netamente bajo siembra, etc. Para este proceso se tomaron en cuenta factores como la inclinación del terreno, la existencia de ríos, el área boscosa, la ubicación de los pozos para fuentes de agua y rutas para la cosecha.

Se pudo observar que el terreno es bastante plano con un diferencial de altura de 25 metros desde el punto más alto hasta el punto más bajo. Cabe recalcar que la topografía no es un impedimento para el sistema de riego por goteo pero si se facilitan muchas labores cuando se tiene una superficie como la de ésta finca.

b. Fuente de agua

Según experiencias en proyectos anteriores se ha tomado como parámetro que cada pozo debe regar como máximo entre 160 y 180 hectáreas, ayudando así a prolongar significativamente la vida útil de cada pozo. Debido a que la finca San Eduardo tiene alrededor de 435.76 hectáreas se sugirió que se dividiera en tres módulos. En cada módulo se perforó un pozo de 920 pies

capaz de producir alrededor de 2,000 GPM, suficientes para abastecer la red de tubería correspondiente a cada sección.

c. Suelo

En el cuadro 2 se muestran los resultados del muestreo de suelos que se realizó en la finca San Eduardo, detallando las propiedades físicas como capacidad de campo, punto de marchitez permanente, la clase textural, entre otros, con el propósito de iniciar el diseño agronómico.

Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo finca San Eduardo

| Punto | Textura (%) | | | Propiedades físicas | | | Textura |
|-----------|-------------|------|-------|---------------------|---------|---------------------------|------------------------|
| | Arcilla | Limo | Arena | CC (%) | PMP (%) | Dap (gr/cm ³) | |
| 1 | 22 | 14 | 64 | 19.9 | 15.2 | 1.19 | Franco arcillo arenoso |
| 2 | 24 | 17 | 59 | 19.4 | 16.1 | 1.23 | Franco arcillo arenoso |
| 3 | 27 | 24 | 49 | 21.2 | 19.8 | 1.16 | Franco arcillo arenoso |
| 4 | 27 | 14 | 59 | 15.7 | 15.7 | 1.22 | Franco arcillo arenoso |
| \bar{x} | 25 | 17 | 58 | 19.90 | 16.70 | 1.2° | |

Se realizaron los análisis correspondientes sobre la manera en que se adaptaría el sistema de riego, se determinó así la ubicación de los pozos y la orientación de la tubería basándose en la pendiente de la finca y el área a cubrir por cada motor según el diseño de los lotes, se delimitaron las calles y la ruta que utiliza el transporte de caña a la hora de la cosecha.

La finca se dividió en 3 módulos, ubicando en cada uno un motor con capacidad de regar el módulo completo.

El diseño del sistema de riego se elaboró en base al diseño agronómico y diseño hidráulico, luego se determinaron las ventajas y desventajas del diseño y por último se realizó un análisis económico del proyecto.

7.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.2.1 Diseño agronómico

Se determinó en base a los requerimientos del cultivo y por medio de los modelos matemáticos descritos en la metodología, los parámetros calculados son los siguientes:

- La lámina bruta de riego.
- La frecuencia en intensidad de riego
- El tiempo de riego por turno
- Se seleccionó el emisor
- Se fijó el marco de siembra para cubrir la demanda de agua.

Previamente al diseño se fijó el marco de siembra del cultivo y se establecieron los distanciamientos entre mangueras y goteros, para las mangueras se utilizó una distancia de 1.90 m y 0.5 m de distancia entre goteros, abarcando entonces 0.95 m².

Los resultados del diseño agronómico se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Resultados del diseño agronómico

| Parámetros | Resultados |
|---------------------------|---------------------------------|
| Lámina bruta de riego | 0.6 cm |
| Frecuencia de riego | Diaria |
| Intensidad de riego | 0.106 cm/h |
| Tiempo de riego por turno | 4.63 h |
| Selección del emisor | DripNet PC TM 161225 |

Se seleccionó el emisor DripNet PCTM 161225 de la casa Netafim, el cual se ilustra en la siguiente figura. Este gotero posee la característica de mantener el mismo caudal independientemente de la presión en que se opere el sistema en determinado momento, se denomina auto compensado. Cuenta con un mecanismo que bloquea la entrada de cualquier cuerpo o partícula, mejorando así la resistencia a la penetración de raíces y haciéndolo ideal para aplicaciones subterráneas. El caudal que entrega es de un litro por hora, adaptándose a los requerimientos del cultivo.



Figura 15. Partes internas de un gotero DripNet PC 16125.

- **Diseño de campo**

La ubicación de los pozos se muestra a continuación, en la figura 16.

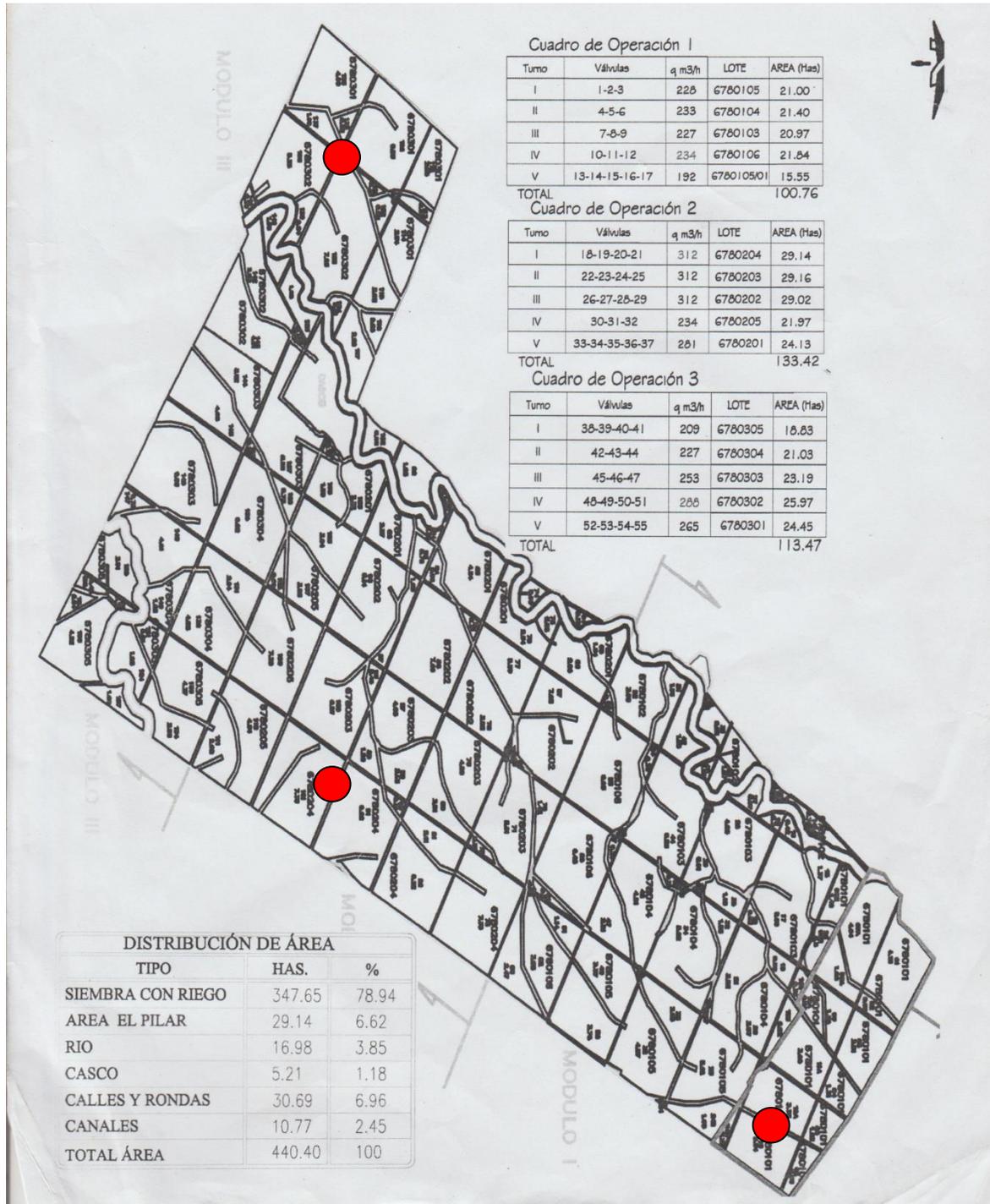


Figura 16. Ubicación de pozos en la finca.

El diseño de campo estuvo sujeto a cambios, por si la gerencia de la empresa lo creía necesario, además se tuvo que esperar la aprobación de los puntos de perforación propuestos, ya que estos podían cambiar en base a sondeos eléctricos posteriores.

En la figura 16 se ilustra la ubicación de los pozos en los tres módulos establecidos en la finca, de la misma manera fue calculada la cantidad de mangueras que tendría el tramo “A” de 120 metros de longitud, con la diferencia que el distanciamiento para éstas es de 1.9 metros para tener un total de 64 mangueras de largo del tramo “B” y “C”.

De modo que multiplicando la cantidad de goteros por la cantidad de mangueras se tiene alrededor de 34,095 emisores para estos tramos, y con este procedimiento fueron calculados la cantidad de goteros para toda la finca.

7.2.2 Diseño hidráulico

La demanda de agua para alimentar las válvulas correspondientes a los turnos fue de aproximadamente 1,520 GPM ($344 \text{ m}^3/\text{h}$), teniendo alrededor de 350,000 goteros operando. La presión del sistema no sobrepasa el límite permisible que para este caso es de 65 PSI, así como la velocidad que no es mayor a 2 metros por segundo. El cálculo de la carga requerida en la entrada del lateral (6.26 mca), las pérdidas de carga de la principal (32.6 mca), las estimaciones de pérdidas menores (3.26 mca), y el desnivel topográfico (52.12 mca) se determinó la Carga Dinámica Total (94.24 mca).

Debido al diseño de los pantes de la finca San Eduardo, fue necesario adaptarse a la forma y distribución del terreno, teniendo el cuidado que al lado paralelo a las mangueras tuviera un largo no mayor a los 250 metros, esto con el fin de conservar la presión a lo largo de las mangueras y sus goteros.

Los resultados del diseño hidráulico se muestran a continuación, en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resumen del diseño hidráulico

| PARÁMETRO | RESULTADO |
|-----------------------|-----------------------|
| RED DE TUBERÍA | |
| Principal | |
| 10" | 1,636.5 m |
| 8" | 5,304 m |
| Secundaria | |
| 6" | 6,505.5 m |
| 4" | 10,168.5 m |
| 3" | 25,570.5 m |
| Colectora | |
| 1-1/2" | 26,089.5 m |
| Manguera | 2,613,576 m |
| Elevadores | 13,732.5 m |
| CAUDAL POR TURNO | 381 m ³ /h |
| CARGA DINAMICA TOTAL | 94.24 mca |
| EQUIPO DE BOMBEO | JD 6081HF001 |

En base a la carga dinámica total determinada en el diseño hidráulico, se calculó que la potencia del motor requerida es de aproximadamente 170 Hp; tomando en cuenta que al momento que el motor transmite la energía hacia la bomba se pierde alrededor de 20%, la potencia se dividió entre 0.80, requiriendo finalmente una potencia de 210 Hp.

De manera que la marca del motor seleccionado fue el John Deere serie 6081HF001 debido a que era el más cercano a éste requerimiento, siendo capaz de suministrar hasta 267 Hp.

Luego de la aprobación del prediseño se determinaron los puntos de perforación en base a sondeos eléctricos y como la finca San Eduardo tiene un área de 435.76 ha se sugirió la perforación de tres pozos, y que cada uno pueda llegar a regar entre 100 y 120 hectáreas. El modelo de motor y el sistema de bombeo se definió en base a la disponibilidad del agua.

El diseño definitivo se conforma por un total de 83 válvulas hidráulicas de 2, 3 y 4 pulgadas, capaces de regar 435.76 hectáreas divididas en tres módulos con 5 turnos cada uno y alrededor de 6 válvulas por turno, como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Distribución de válvulas por turno

| Módulo I | | | Módulo II | | | Módulo III | | |
|-------------------------|--|------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 100.76 hectáreas | | | 133.42 hectáreas | | | 113.47 hectáreas | | |
| Turno | Válvulas | m³/h | Turno | Válvulas | m³/h | Turno | Válvulas | m³/h |
| I | 1-2-3-12-13b- 23-24 | 343 | I | 21-22-39-40-43 | 381 | I | 55-56- 69-70-77 | 374 |
| II | 4-5-18 ^a -18b-31- 34 | 364 | II | 19-20-45-47-49 | 353 | II | 57-58- 65-66- 78-79 | 344 |
| III | 6-7-14-15 ^a -16- 17 ^a | 357 | III | 27-28-41-42-51 | 321 | III | 67-68- 59-60-80 | 367 |
| IV | 8-9-17b-25-26 | 354 | IV | 29-30-48-50-54 | 344 | IV | 61-62- 71-72- 81-82 | 320 |
| V | 10-11-35-36- 37-38 | 320 | V | 32-33-44-46-52- 53 | 356 | V | 63-64- 73-74-83 | 345 |

De manera que la demanda de agua para cada pozo fue de aproximadamente 1675 GPM por turno.

Los pantes de la finca San Eduardo fueron distintos entre ellos y había que adaptarse a la forma y distribución del terreno, con la salvedad de que el largo de las mangueras no sobrepasara los 250 metros para conservar la presión.

Además los números y tamaños de pantes se definió en conjunto con ayuda del administrador de la finca previendo el mejor y conveniente manejo del cultivo y operación del sistema de riego, es decir, facilidad al momento de hacer aplicaciones de agroquímicos, limpiezas manuales, circulación de maquinaria agrícola en las labores pre y post cosecha, etc., y, al tamaño de cada uno de los pantes previamente establecidos estaba ligado el caudal que sería entregado en cada uno de ellos.

Se requiere una producción alrededor de 1,675 GPM en cada pozo para brindarle al cultivo una lámina bruta de riego de 6 mm, siendo este el requerimiento hídrico necesario, teniendo un tiempo de riego por turno de 4.75 horas y una frecuencia de riego diaria. Al momento de que los pozos producen más de lo requerido (2,000 GPM), se garantiza que posean mayor tiempo de vida útil.

7.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo es considerado como el más eficiente de todos los sistemas de irrigación, en el cultivo de caña de azúcar ha sido de beneficio su aplicación encontrándose en éste muchas ventajas, como las descritas a continuación:

- **Aplicación dirigida.**

Este sistema permite aplicar el agua gota a gota a la zona radicular de la caña sin necesidad de mojar toda la superficie del suelo.

- **Mayor uniformidad en la aplicación del agua.**

- **Aumento en la producción y mejor calidad en las cosechas.**

Con este sistema se satisface las necesidades hídricas del cultivo durante todo el tiempo y con el aumento en la producción se justifica la inversión en el uso del sistema.

- **Menores costos energéticos.**

Esto debido al menor tiempo de bombeo requerido para regar una determinada área de diseño.

- **Mejor aprovechamiento del agua.**

Se ahorra de un 45 a un 50% de agua, lo que contribuye a una mayor eficiencia en el uso y aprovechamiento del agua en zonas donde hay limitada disponibilidad.

- **Ahorro y facilidad en la aplicación de fertilizantes.**

A través del sistema es posible introducir fertilizantes hidrosolubles (fertirrigación), con esto se logra que haya menor pérdida de insumos (25-30%) y consecuentemente mayor eficiencia agronómica, mayor eficiencia fisiológica y mayor fracción de recuperación aparente.

- **Posibilidad de regar cualquier tipo de terreno.**

Con este sistema es posible regar cualquier terreno no importando su pendiente, con ello se supera cualquier método tradicional de riego.

- **Menor crecimiento de plantas dañinas y ahorro en mano de obra en operaciones de control de malezas, fertirrigación y protección de plantas.**

- **Menor incidencia de plagas y enfermedades, logrando con esto mayor sanidad del campo.**

- **Se logra una óptima relación suelo-agua-planta.**

Contribuyendo con esto a una mejor germinación, emergencia uniforme en el campo y manutención de una población óptima de plantas.

- **Cosecha más temprana y mayor número de socas.**

Como todo sistema además de sus ventajas también tiene sus desventajas, estas se describen a continuación:

- **El costo de instalación y operación es alto.**

En caña de azúcar la instalación de este sistema es relativamente costoso, esto debido a las grandes extensiones de terreno.

- **Mayor supervisión.**

Debido a que es un sistema a través de goteros, estos pueden llegar a obstruirse por las partículas que el agua arrastra, por lo que se requiere mayor supervisión en la labor.

- **Mayores necesidades de capacitación**

7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se recopiló información de costos en las bases de datos de la empresa para la realización del análisis económico, también se obtuvo información sobre la producción promedio de la finca por hectárea. Se estimó un precio aproximado de la tonelada de caña producida (Q 185.00), lo cual se multiplicó por la producción generada para obtener los ingresos por venta de la producción. Los ingresos estimados se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Ingresos estimados según producción de TM/ha

| Zafra | TM/ha | Ingresos (Q) |
|--------------|--------------|---------------------|
| 2013-2014 | 140 | Q25,900.00 |
| 2014-2015 | 180 | Q33,300.00 |
| 2015-2016 | 200 | Q37,000.00 |
| 2016-2017 | 220 | Q40,700.00 |

A continuación (cuadro 7) se describen los costos de inversión y costos del manejo del cultivo para los tres módulos establecidos en la finca, esto para determinar los indicadores económicos y financieros del proyecto.

Cuadro 7. Costo por hectárea del sistema de riego por goteo.

| Descripción | Inversión (Q) | Costo/ha (Q) |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|
| Mano de obra | 94,419.61 | 216.68 |
| Prestaciones | 12,894.14 | 29.59 |
| Maquinaria | 9,989.36 | 22.92 |
| Materiales | 1,804,067.32 | 4,140.05 |
| Instalación y Mantenimiento | 11,433,927.56 | 26,239.05 |
| TOTAL | 13,355,297.98 | 30,648.29 |

En el rubro de Instalación y mantenimiento va incluido el costo de la perforación de los pozos mecánicos y del paquete de distribución e instalación de la red de tubería para la finca completa.

En el cuadro 8, se describen los costos por hectárea por concepto del manejo del cultivo.

Cuadro 8. Costos por hectárea según manejo de cultivo.

| Descripción | Costo/ha (Q) |
|--------------------|---------------------|
| Labores varias | 1,103.27 |
| Control de malezas | 1,673.87 |
| Nutrición | 2,240.71 |

| | |
|--------------|------------------|
| Drenajes | 320.63 |
| Madurantes | 633.19 |
| Riego | 5,176.78 |
| TOTAL | 11,148.45 |

En base a la información recopilada se logró obtener los indicadores financieros, los cuales se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Indicadores financieros

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
|--------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ingresos | Q - | Q25,900.00 | Q33,300.00 | Q37,000.00 | Q40,700.00 |
| Inversión | Q30,648.29 | Q - | Q - | Q - | Q - |
| Costo Operativo | Q11,148.45 | Q11,148.45 | Q11,148.45 | Q11,148.45 | Q11,148.45 |
| Flujo de efectivo | -Q 41,796.74 | Q 14,751.55 | Q 22,151.55 | Q 25,851.55 | Q 29,551.55 |
| Tasa | 19% | | | | |
| VAN | Q 2,309.27 | | | | |
| TIR | 21% | | | | |

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ingresos actualizados | | Q 21,813.56 | Q 19,908.08 | Q 18,076.33 | Q 14,297.67 |
| Costos actualizados | | Q 9,447.83 | Q 8,006.64 | Q 6,785.28 | Q 5,750.24 |
| Σ Ingresos actualizados | Q 74,095.64 | | | | |
| Σ Costos actualizados | Q 29,989.99 | | | | |
| R (B/C) | 2.47 | | | | |

Según el cuadro 9 el Valor Actual Neto es de Q 2,309.27, la Tasa Interna de Retorno del 21% y una relación Beneficio/Costo de 2.47. La tasa de descuento se estimó tomando como base una tasa pasiva del 3% y de inflación del 5%, además se incluyó un 10% por concepto de riesgo del país.

8. CONCLUSIONES

Los requerimientos necesarios según el diseño agronómico son: La lámina bruta de riego de 0.6 cm, frecuencia de riego diaria, intensidad de riego de 0.106 cm/h, tiempo de riego por turno de 4.63 horas; y esto llevó a seleccionar el emisor DripNet PC 16125. En cuanto al diseño de campo la finca fue dividida en 3 módulos; el módulo I con 100.76 hectáreas, el módulo II con 133.42 hectáreas y el módulo III con 113.47; cada módulo cuenta con un pozo de 920 pies capaz de producir 2,000 GPM suficientes para abastecer la red de tubería correspondiente en cada área. Cada módulo tiene un diseño por parcelas para facilitar los turnos de riego.

En el diseño hidráulico se estableció un caudal por turno de 381 m³/h, una carga dinámica total de 94.24 mca, con base a la carga dinámica total se calculó que la potencia del motor requerida es de 170 Hp; tomando en cuenta que al momento que el motor transmite la energía hacia la bomba se pierde alrededor de 20%, la potencia se dividió entre 0.80, requiriendo finalmente una potencia de 210 Hp, de manera que el motor seleccionado fue el John Deere serie 6081HF001.

El proyecto presenta un VAN mayor a cero (Q 2,309.27) lo que significa que la inversión generará utilidades mayores a la inversión inicial; los ingresos netos son superiores a los egresos netos y la Relación Beneficio/Costo es de 2.47 superior a uno, lo que representa una utilidad de Q 1.47 por cada quetzal invertido. La TIR es de 21% siendo la máxima tasa de interés que el proyecto puede pagar sin generar pérdidas.

9. RECOMENDACIONES

Capacitar al personal encargado del sistema de riego por goteo, el uso adecuado del motor y el resto de sus accesorios va a garantizar la vida útil del equipo, así también se tendrá seguridad que la labor se hace correctamente.

Debido a la alta inversión en el proyecto, es indispensable hacer uso adecuado de cada material, brindarle mantenimiento preventivo oportuno y verificar constantemente su funcionalidad.

Cuando un nuevo proyecto de riego por goteo se instale, es indispensable aplicar riego por aspersión después de sembrada la caña, esto se hace con el propósito de saturar el suelo y facilitar la germinación, ya que el agua aplicada por los goteros no mojaría de inmediato la semilla y se tendría un retraso en este proceso.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Agrícola, S. d. (2002). Riego por goteo y fertirriego para la caña de azúcar en suelos negros profundos.
- AVIBERT. (8 de Abril de 2012). Avibert. Fases fenológicas caña de azúcar EEAOC. Recuperado el 21 de Abril de 2015, de <http://avibert.blogspot.com/2012/04/fases-fenologicas-cana-de-azucar-eeaoc.html>
- Cabrerías, A. L. (22 de 3 de 1995). Un modelo matemático para la evapotranspiración de la caña de azúcar bajo las condiciones cubanas. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/canadeazucar/cana1301/texto/modelo.htm
- Cengicaña. (s.f.). Centro Guatemalteco de investigación y capacitación de la caña de azúcar. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de <http://www.cengicana.org/es/publicaciones/libro-de-la-cana-de-azucar>
- Experiencia, R. p., & Uner, N. M. (1990 - 2010). Netafim América Latina. Recuperado el 19 de Marzo de 2015, de www.atasal.org

- Fernández, E., & Camacho, F. (2005). Eficiencia en el uso del agua. *Revista Horticultura Internacional* (Extra 05).

- Franco, J. (Mayo de 2014). Riego por goteo. Formulación, diseño é instalación del sistema de riego por goteo en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), en la finca Eslovaquia del ingenio Magdalena, Guazacapán, Santa Rosa; Diagnostico y servicios ejecutados en el departamento de ingeniería AG . Guatemala, Guatemala: USAC.

- Franco, T. J. (2014). Formulación, diseño e instalación del sistema de riego por goteo en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), en la finca Eslovaquia del ingenio Magdalena, Guazacapán, Santa Rosa, Guatemala, C.A. Guatemala.

- Google Earth. (2013). <https://earth.google.es>. Recuperado el 3 de Marzo de 2015, de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

- Infoagro. (s.f.). El cultivo de la caña de azúcar. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/canaazucar.htm>

- INIFAP. (2012). Fertiirrigación para alta producción de caña de azúcar con riego por goteo. Mexico.

- Kremer, C. (2013). Eficiencia en el uso del agua: definición e implicancias en el marco del proyecto. Recuperado el 05 de abril de 2015, de Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile: <http://www.agronomia.uchile.cl/a/provar/presentaciones/ckremer1.pdf>

- Lucas Lizandro Díaz Montejo, E. T. (Diciembre de 2002). Manual de caña de azúcar..-TECA. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/T1639.pdf

- Miranda, G. (s.f.). Riego por goteo subterráneo en caña de azúcar. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de www.infoagro.com:
http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/riego_por_goteo_canaazucar.htm

- Netafim. (2003). Artículo y lecturas. Recuperado el 21 de Abril de 2015, de <http://www.netafim-latinamerica.com/articles>

- Netafim. (s.f.). Características del riego por goteo.- Sugarcane. Recuperado el 21 de Abril de 2015, de http://www.sugarcane crops.com/s/drip_irrigation/

- NETAFIM. (s.f.). Manejo del riego - Sugarcane. Recuperado el 21 de Abril de 2015, de http://www.sugarcane crops.com/s/agronomic_practices/irrigation_water_management/

- Netafim. (2001). Manejo del riego por goteo subterráneo en caña de azúcar. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de <http://www.netafim-latinamerica.com/crop/sugarcane>

- Netafim. (2013). Riego por goteo en caña de azúcar subterráneo. Recuperado el 21 del 4 de 2015

- Netafim., S. d. (15 de Marzo de 2012). www.sugarcane-crops.com/s/drip_irrigation/. Recuperado el 25 de Abril de 2015, de http://www.sugarcane-crops.com/s/drip_irrigation/#14

- Netafim. (2001). Manejo del riego por goteo en caña de azúcar. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de <http://www.netafim-latinamerica.com/crop/sugarcane>

- No.20, F. D. (Enero- Marzo de 1986). El suelo y su manejo en Caña de Azúcar. Recuperado el 21 de Abril de 2015, http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd20/texto/suelo.htm

- Rica., A. T. (1991). Caña de azúcar- Ministerio de agricultura y ganadería. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/tec-cana.pdf>

- Uner, N. A. (1990-2010). www.netafim-latinamerica.com/crop/sugarcane/FAQs. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de <http://www.atasal.org/wp-content/uploads/2010/07/Riego-por-Goteo-en-Ca%C3%B1a-de-Az%C3%ACar-20-a%C3%B1os-de-Experiencia.-N-Uner.-NETAFIM.-Israel.1.pdf>

- Wikipedia. (2015). Retalhuleu. Recuperado el 3 de Marzo de 2015, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Retalhuleu>