



**Implementación de una herramienta informática para el manejo del riego en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)**

**Llimad Saavedra García**

**Julio Harvey Galindo**

Proyecto aplicado como opción grado presentado como requisito para optar al título de  
Agrónomo

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD**  
Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA  
CEAD PALMIRA

2019



**Implementación de una herramienta informática para el manejo del riego en el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)**

**Llimad Saavedra García**

**Julio Harvey Galindo**

Proyecto aplicado como opción grado presentado como requisito para optar al título de  
Agrónomo

Director

**Milton Cesar Ararat Orozco *Ph. D.***

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD**  
Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA  
CEAD PALMIRA  
2019

## **Agradecimientos**

Principalmente a Dios que todo lo puede y nuestra fe en él, luego nuestros padres que siempre estaremos agradecidos por los valores que nos inculcaron día tras día y de sus manos logramos realizar los primeros comienzos de educación.

No podemos dejar de mencionar la familia, nuestras esposas e hijos que hoy día son la motivación para seguir escalando y esforzándonos por el bienestar de nuestras familias.

Dar las gracias Al Doctor Milton Cesar Ararat Orozco por confiar en nosotros y nuestras capacidades sin su orientación, consejo y conocimiento no hubiese sido posible llevar a cabo este proyecto.

Gracias al Ingenio del cauca por permitir que se llevara a cabo todas las investigaciones y evaluaciones que fueron necesarias para poder concluir el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Nacional donde adquirimos y forjamos los conocimientos que hoy día ponemos en práctica en nuestros trabajos, y a cada una de las personas que hicieron parte de este proceso mil gracias.

## Resumen

En los últimos años, el agua disponible para riego ha decrecido entre el 40% y el 70%, debido al deterioro de las cuencas y al incremento en la demanda de agua para usos municipales, industriales y agrícolas. Un solo evento de riego por surcos puede costar hasta \$ 250,000 por hectárea; el agua representa el costo más alto y en este rubro, la energía representa el 80% en el cultivo de la caña de azúcar, (*Saccharum officinarum*) el riego es una labor costosa que representa entre el 30% y el 60% del costo total de producción. Entre los insumos de riego el agua es el más costoso, puesto que se debe extraer de pozos profundos o captar por gravedad mediante bocatomas, o por bombeo desde un cauce, para luego ser almacenada y conducida hasta la cabecera de los campos por canales abiertos o tuberías a presión y estructuras hidráulicas complementarias.

En los periodos de sequía, los agricultores por lo general no disponen de la cantidad de agua suficiente para atender las necesidades de riego. Una forma de enfrentar estos periodos y conservar el recurso hídrico es mejorar la eficiencia en el uso del agua, para lo cual es indispensable medir el caudal disponible en los sitios de captación.

**Palabras claves:** Lámina, frecuencia de riego, riego por gravedad, continuo, alterno.

## Abstract

In recent years, water available for irrigation has decreased between 40% and 70%, due to the deterioration of watersheds and the increase in water demand for municipal, industrial and agricultural uses. A single furrow irrigation event can cost up to \$ 250,000 per hectare; water represents the highest cost and in this area, energy represents 80%

In the cultivation of sugarcane, (*Saccharum officinarum*), irrigation is an expensive task that represents between 30% and 60% of the total production cost. Irrigation supplies include water that is the most expensive, since it must be extracted from deep wells or captured by gravity through intakes, or by pumping from a channel, and then stored and conducted to the head of the fields through open channels or pressure pipes and complementary hydraulic structures.

In periods of drought, farmers usually do not have enough water to meet irrigation needs. One way to face these periods and conserve the water resource is to improve the efficiency in the use of water, for which it is essential to measure the available flow in the catchment sites,

The channels of conduction and in the own fields of crop.

In irrigation, measurement is the set of procedures or methods used to estimate and record the amount of water used in a farm.

**Keywords:** Laminar, Efficient, superficial, Continuous, frequency of irrigation, irrigation to gravity, continuo, alterno.

## Tabla de Contenido

Resumen.....	IV
Abstract.....	V
Tabla de Contenido.....	VI
Lista de tablas.....	VII
Lista de Figuras.....	VIII
1. Justificación.....	1
2. Objetivos.....	2
2.1 <i>Objetivo General</i> .....	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
3. Marco Conceptual Y Teórico.....	3
3.1 Necesidades De Riego.....	3
3.2 Optimización Del Recurso Hídrico.....	3
3.3 Concepciones y restricciones para el riego en cultivo de la caña de azúcar.....	4
3.4 Nuevas tecnologías.....	4
4. Materiales Y Métodos.....	5
4.1 Herramientas.....	5
5. Diseño De Metodológico.....	6
5.1 Localización De La Zona De Estudio.....	7
6. Metodología Fase 1: Herramienta Informática.....	10
6.1 Hoja de cálculo para el muestreo con funciones de señales de alertas en diferentes variables.....	10
6.2 Funcionalidad De La Herramienta Informática.....	12
6.2.1 Caudal / fuente en agua bombeada (CAB):.....	12
6.2.3 Caudal llegada a l lote (CLL):.....	12
6.2.4 Volumen de Agua Aprovechable (VAA):.....	13
6.2.5 Número de calles con riego en plantilla (NCRP).....	14
6.2.6 Número de calles con riego en Soca (NCRS):.....	14
6.2.7 Longitud de calle de riego (LCR):.....	15
6.2.8 Tiempo de Avance (TA).....	17
6.2.9 velocidad de avance (VA).....	18
6.2.10 caudal por surco (CA).....	18
6.2.11 distancia entre calles (DC):.....	18

6.2.12 caudal por frente de riego (CFR): .....	18
6.2.13 área regada por set (ARS): .....	18
6.2.14 volumen aplicado por ha (VAH).....	19
6.2.15 área a regar en horas (ARH).....	19
6.2.16 tiempo total de riego (TR):.....	19
6. 3. 1 metodo de funcionamiento del aforador RBC .....	19
6. 3.2 selección del sitio para la instalación del aforador RBC.....	20
6. 3. 3 <i>riego por surcos</i> .....	21
6. 3. 4 <i>diseño de riego por surcos en cultivos de caña establecidos</i> .....	22
7. 1 <i>Evaluación de aspectos económicos con el consumo hídrico.</i> .....	23
Se tuvo en cuenta las siguientes variables: .....	23
8. Análisis De Datos De Las Evaluaciones.....	24
8.1 Estimativo del consumo de agua tanto en plantilla y soca.....	24
8.2 Correcciones de cantidad de agua que se quiere utilizar en el cultivo con la herramienta informática (hoja de cálculo).....	24
8.3 Relación de los parámetros de consumo del recurso hídrico con aspectos económicos.....	24
9. Resultados Y Discusión .....	25
12. Anexos .....	34

### Lista de tablas

Tabla 1. Evaluación de riego periodo 2019. ....	6
Tabla 2. Herramienta informática para cultivo en soca .....	11
Tabla 3. Herramienta informática para cultivo en plantilla .....	11
Tabla 4. Costo del Riego. Fuente: propia .....	23
Tabla 5. Resumen riego año 2016.....	25
Tabla 6. Resumen riego año 2017.....	25
Tabla 7. Resumen riego año 2018.....	26
Tabla 8. Resumen riego año 2019.....	26
Tabla 9. Comparación de diferentes frecuencias de riego y la relación con el beneficio económico en Riego.....	29

## Lista de Figuras

Figura 1. Hacienda Potrero verde .....	8
Figura 2. Plano Hda. Potrero verde.....	8
Figura 3 .Ubicación del municipio de Padilla Cauca al Norte del Departamento de Cauca ( <a href="https://tierracolombiana.org/municipios-de-cauca/">https://tierracolombiana.org/municipios-de-cauca/</a> ).....	9
Figura 4. Rio la Paila Cauca .....	9
Figura 5. Fuente hídrica Rio la Paila .....	12
Figura 6. Canal Trapezoidal.....	13
Figura 7. Canal Rectangular .....	13
Figura 8. Riego a Gravedad en Plantilla suerte 302T .....	14
Figura 9. Riego a Gravedad en encalle al 2x1 .....	15
Figura 10. Aplicación para mediciones en campo. Tomado de <a href="https://www.avenza.com/avenza-maps/">https://www.avenza.com/avenza-maps/</a> .....	16
Figura 11. Longitud del surco 150 m.....	16
Figura 12. Velocidades de Avance en 10 Mts .....	17
Figura 13. Canal tipo RBC Instalada en campo.....	20
Figura 14. Riego gravedad: Aforo con canal RBC en la suerte 319 de la hacienda potrero verde .....	21
Figura 15. Reducción del consumo de agua (m <sup>3</sup> /ha) surco alterno y surco continuo.....	27
Figura 21. Finca potrero verde, vereda yarumales del municipio de padilla norte del cauca.....	48

## **Anexos**

Anexos 1.Tabla 10. Evaluaciones del primer periodo de Riego 2019 .....	34
Anexos 2.bulbo de agua de acuerdo A las velocidades de avance .....	43
Anexos 3.valores de referencia y estrategias de mejoramiento para los indicadores de calidad en la gestión del riego por surcos en caña de azúcar. ....	45
Anexos 4.Indicadores y sugerencias para el riego .....	46
Anexos 5.Evaluación caudal por calles .....	47

## 1. Justificación

“El agua disponible para riego ha decrecido entre el 40% y el 70% debido al deterioro de las cuencas y al incremento en la demanda de agua para usos municipales, industriales y agrícolas. El riego es la labor más costosa del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y representa entre el 30% y el 60% de los costos totales de producción.

Un solo evento de riego por surcos puede costar hasta \$250.000 por hectáreas; el agua representa el costo más alto y en este rubro la energía representa el 80%” (Cruz Valderrama, 2015).

De acuerdo con la Huella Hídrica Agrícola y de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, esta situación produce como resultado una creciente concentración del recurso hídrico (y del suelo) en manos de un solo sector productivo: la caña de azúcar. Mientras en 1980 la caña consumía el 23,6% del agua usada por la agricultura en la región, para 2009 ya se apropiaba del 58% (Pérez, 2011).

Basado en los registros históricos de datos de campo acerca del riego por gravedad en la zona nororiental del departamento del Cauca, el consumo de agua antes de iniciar este proyecto estaba alrededor de unos 1378 m<sup>3</sup> en soca y 1460 m<sup>3</sup> en plantillas; por tanto, se requiere implementar una herramienta informática para el manejo del recurso hídrico con el fin de disminuir los consumos y a su vez aplicar la cantidad adecuada para el cultivo teniendo en cuenta la edad del cultivo y el tipo de suelo.

Se tuvo en cuenta para el desarrollo del proyecto, la implementación de una herramienta informática la cual se apuntó a la optimización del recurso hídrico obteniendo muy buenos resultados en la reducción del consumo de agua de riego del cultivo de la caña.

Se plantea corregir los altos consumos de agua teniendo en cuenta las velocidades de avance que nos permite un riego más uniforme para la planta evitando pérdidas por infiltración.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

- ✓ Implementar una herramienta informática que optimice el recurso hídrico en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) bajo condiciones edafoclimáticas del municipio de Padilla (Cauca) Finca potrero verde.

### 2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Estimar el consumo de agua para riego implementada en plantilla (cultivo recién establecido) y soca (cultivo con 1 o más cosecha) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a través de una herramienta informática (hoja de cálculo).
- ✓ Aplicar las correcciones de cantidad de agua que se quiere utilizar en el cultivo con la herramienta informática (hoja de cálculo).
- ✓ Relacionar los parámetros de consumo del recurso hídrico con aspectos económicos del sistema de cultivo.

### **3. Marco Conceptual Y Teórico.**

#### ***3.1 Necesidades De Riego***

Necesidades del consumo en riego referidas a la cantidad de agua y al momento de su aplicación, a fin de compensar el déficit de humedad del suelo durante un periodo vegetativo. Se determinan utilizando la evapotranspiración del cultivo (EVT) en consideración menos el agua aportada por las precipitaciones. Cuando la precipitación efectiva es mayor que las necesidades de riego, la demanda o riego bruto es igual a cero (0). En caso contrario, cuando la precipitación efectiva es menor al uso consuntivo del cultivo, la demanda se define por la diferencia entre la EVT y el agua que se aporta por precipitación.

En caña plantilla<sup>1</sup> se aplican riegos de germinación y riegos de levantamiento del cultivo a partir de los 45 o 60 días de edad de la caña y hasta los 10 meses de edad. En socas<sup>2</sup>, las aplicaciones de riego comienzan a los 60 días después del corte y se suspenden a los 10 meses de edad del cultivo. Las indicaciones anteriores corresponden a cañas cosechadas entre 12 y 14 meses de edad. La programación de los riegos de levantamiento se debe realizar mediante el cálculo del balance hídrico en el suelo.

El objetivo de esta labor es suministrar al cultivo el volumen de agua necesario en el momento oportuno, para lograr un buen desarrollo de las plantas y alta productividad.

#### ***3.2 Optimización Del Recurso Hídrico.***

Se sabe la importancia del agua para el cultivo de la caña de azúcar en este proyecto se trabajó con las velocidades de avances y riego por gravedad con el propósito de hacer un manejo

---

<sup>1</sup> Plantilla hace referencia a un cultivo de caña establecido el cual no ha tenido la primera cosecha.

<sup>2</sup> Soca hace referencia a un cultivo de caña establecido el cual ha tenido una o más cosechas.

eficiente y sostenible del agua, tendiente a reducir los altos consumos de agua en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

### ***3.3 Concepciones y restricciones para el riego en cultivo de la caña de azúcar.***

En la parte legislativa entrar a operar las entidades como la CRC y la CVC que son las encargadas de velar por la optimización del recurso hídrico.

Siendo creada por el gobierno nacional esta LEY 373 DE 1997 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible la cual ampara nuestro recurso hídrico.

### ***3.4 Nuevas tecnologías.***

El sector azucarero aplicaba un promedio de 6 riegos por año en el cultivo de la caña. En la actualidad gracias a la implementación de la tecnología del balance hídrico (tecnología desarrollada por Cenicaña para la programación técnica de los riegos). Se puede iniciar por las zonas menos húmedas con el riego.

Se ha comprobado que el balance hídrico contribuye a la protección del medio ambiente porque permite priorizar y llegar a tiempo con el riego. Hoy en día esta tecnología se utiliza en un 63% del total del área sembrada con caña en la región.

Esta tecnología como el control administrativo del riego consiste en hacer mediciones del agua y de parámetros de ejecución del riego, lo que permite tomar medidas correctivas e implementar programas de adecuación, construcción de obras y capacitar personal. Con esta metodología se pueden ahorrar hasta 200 m<sup>3</sup> de agua por hectárea de riego, es decir aproximadamente 1.000 m<sup>3</sup> por año.

#### **4. Materiales Y Métodos.**

Este trabajo correspondió al proyecto: Implementación de una herramienta informática para el manejo del recurso hídrico. Aplicado al caso caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) que se desarrolló con la colaboración de INCAUCA SAS. Variedades de caña cultivadas en la finca potrero verde: CC01-1940, CC11-595 y CC05- 430

##### ***4.1 Herramientas.***

Canal RBC

Cinta métrica o decámetro

Tablet (Samsung) u otra marca con la herramienta informática

Flotador

Cronometro

Libreta de apuntes

## 5. Diseño De Metodológico

*Para los registros de mediciones de las suertes evaluadas, se utiliza una matriz de datos con la siguiente información:*

**Tabla 1. Evaluación de riego periodo 2019.**

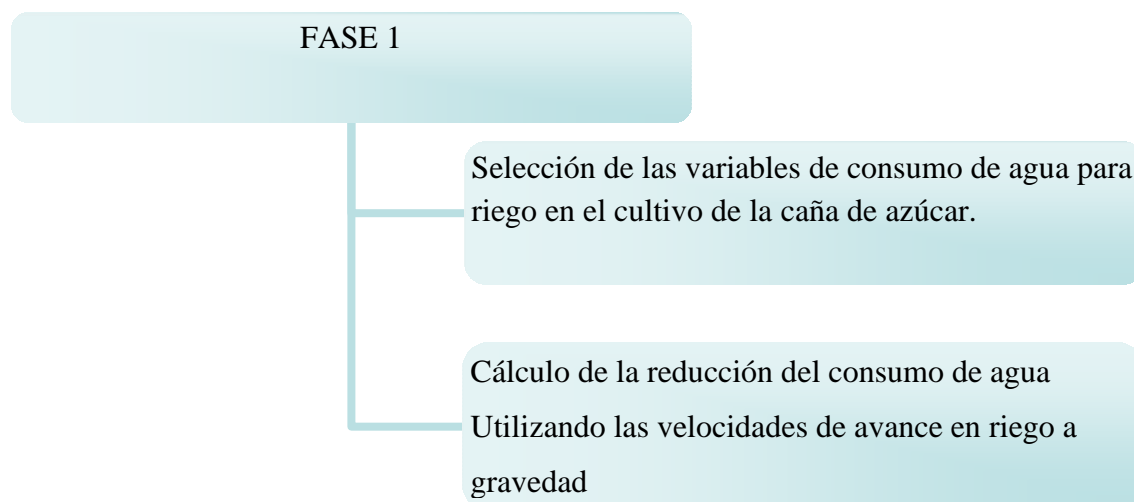
Fuente: Autor.

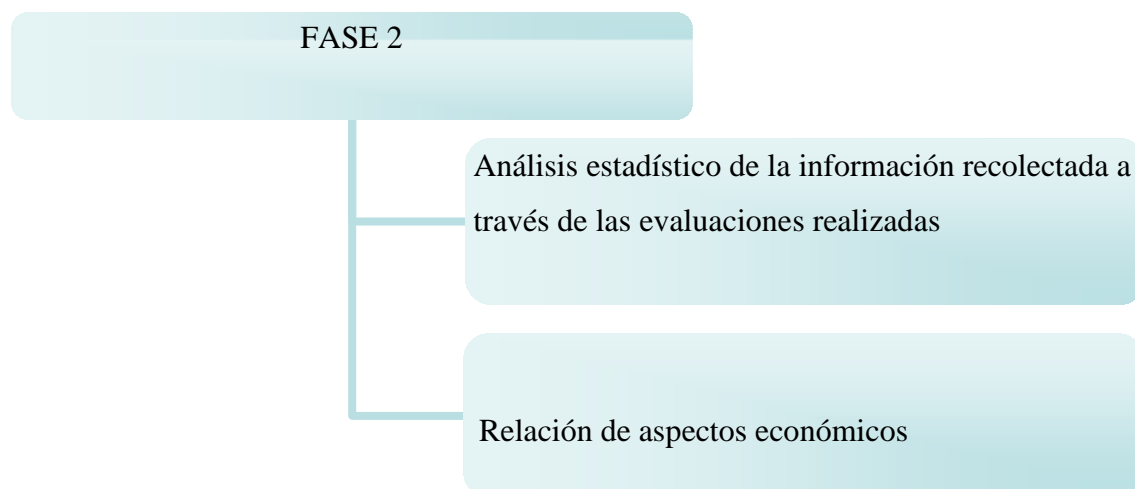
EVALUACION DE RIEGO PERIODO 2019												
FECHA DE RIEGO	STE	HORA TOTAL	AREA REGADA	TIPO DE RIEGO	M3_H A	M3_HR	EDAD CULTIVO	L/S	VELOCIDA DE AVANCE	L. DEL SURCO	NO. SURCOS CON AGUA	CAUDAL X SURCOS

Se organizó un proceso metodológico basado en 2 fases con el propósito de definir el planteamiento teórico de las variables de respuesta seleccionadas y las determinaciones técnicas en campo.

Fase 1. Determinación del consumo de agua para riego:

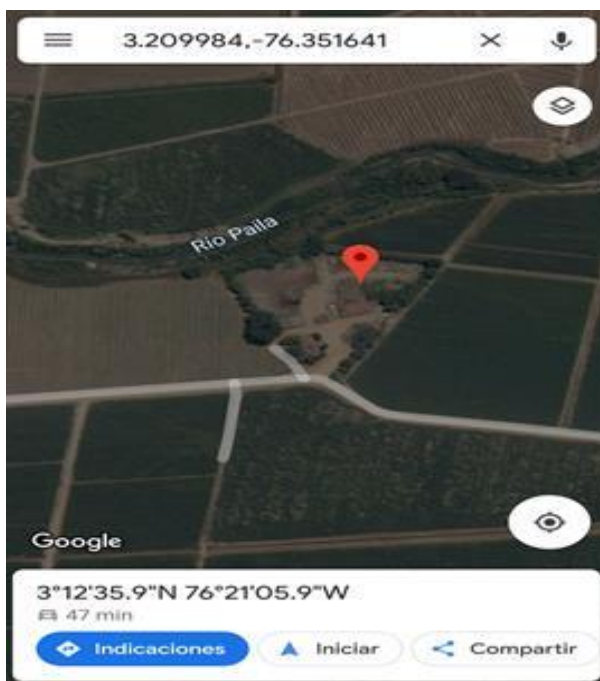
Fase 2. Análisis de la información





### ***5.1 Localización De La Zona De Estudio.***

En el municipio de Padilla Cauca, vereda Yarumales, hacienda Potrero verde perteneciente al ingenio del Cauca con un área de 360 has cultivadas en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L). Este municipio se encuentra ubicado al Norte del Departamento de Cauca, en la Coordenada 3 a 14° de Latitud N y 67° de Longitud Oes. Su altura sobre el nivel del mar es de 1000 m temperatura media 23° a 28°. Una de sus grandes ventajas es la variedad de afluentes y ríos que lo bañan siendo este un aspecto propicio para el éxito en la producción de caña de azúcar. Padilla (Cauca) (Alcaldía Padilla, 2019).



**Figura 1. Hacienda Potrero verde**

Fuente: Google Maps.

Plano Hacienda. Potrero verde. Propiedad: INCAUCA SAS.  
Padilla (Cauca)



**Figura 2. Plano Hda. Potrero verde.**

Fuente: Incauca sas.



**Figura 3 .Ubicación del municipio de Padilla Cauca al Norte del Departamento de Cauca**  
 (<https://tierracolombiana.org/municipios-de-cauca/>)



**Figura 4. Río la Paila Cauca**

Fuente: Autor.

## ***6. Metodología Fase 1: Herramienta Informática***

Es una hoja de cálculo en Excel operada desde una Tablet donde el objetivo es de simplificar una serie de fórmulas o procedimientos matemáticos que permiten mayor eficiencia en el manejo del tiempo de riego; Con registrar 6 datos que se ubican dentro de la hoja de calculo excel, en las casillas resaltadas con otro color para especificar e identificar las variables de cálculo.

Una vez registrados la herramienta, este proyecta una estimación de calculo de cuanto volumen ( $m^3$ ) se utiliza en el riego, de esa manera se estima en primera instancia las correcciones para reducir volúmenes de agua si es necesario y ser eficiente en el monitoreo del tiempo de observación (Turno laboral de la persona empleada).

### ***6.1 Hoja de cálculo para el muestreo con funciones de señales de alertas en diferentes variables.***

En la Tabla 2 se muestran algunos indicadores con un estudio previo que nos ayudan a la toma de decisiones en la reducción del consumo de agua trabajando con las velocidades de avance que se enuncian en el cuadro que se ajustan al tipo de suelo de la zona donde se realizaron los ensayos y se puso a prueba la herramienta informática.

Tabla 2. Herramienta informática para cultivo en soca

## CONTROL ADMINISTRATIVO DEL RIEGO - ZONA SUR ORIENTAL

Caudal / fuente en agua bombeada (CAB):	85			(VAA):
Caudal llegada a l lote (CLL):	80	Lts/seg		94%
<b>MEDIDAS DE CAMPO</b>				
Número de calles con riego (NCR):	18	surcos		
Número de calles con riego en Soca (NCRS):	27	surcos		
Longitud de calle de riego (LCR):	120	m		
Tiempo de Avance (TA):	125	min	2,08	Hrs
Velocidad de Avance (VA):	0,96	m/min		
Caudal por Surco (CA):	4,4	lts		
Distancia entre calles (DC):	1,65	m		
<i>Caudal por frente de riego (CFR):</i>	80	lts/seg		
<i>Área Regada por set (ARS):</i>	0,53	Ha		
<i>Volumen aplicado por Ha (VAH):</i>	1122	m <sup>3</sup> /Ha		
<i>Area a regar en Horas (ARH):</i>	3,08	Has		
<i>Tiempo total de riego (TR):</i>	12,00			
<i>NUMERO DE CAMBIOS O SETS DE RIEGO/12 Hrs</i>	6	Cambios		

Tabla 3. Herramienta informática para cultivo en plantilla

## CONTROL ADMINISTRATIVO DEL RIEGO - ZONA SUR ORIENTAL

Caudal / fuente en agua bombeada (CAB):	75			(VAA):
Caudal llegada a l lote (CLL):	67	Lts/seg		89%
<b>MEDIDAS DE CAMPO</b>				
Número de calles con riego (NCR):	17	surcos		
Número de calles con riego en plantilla (NCRP)	17	surcos		
Longitud de calle de riego (LCR):	120	m		
Tiempo de Avance (TA):	91	min	1,52	Hrs
Velocidad de Avance (VA):	1,32	m/min		
Caudal por Surco (CA):	3,9	lts		
Distancia entre calles (DC):	1,65	m		
<i>Caudal por frente de riego (CFR):</i>	67	lts/seg		
<i>Área Regada por set (ARS):</i>	0,34	Ha		
<i>Volumen aplicado por Ha (VAH):</i>	1087	m <sup>3</sup> /Ha		
<i>Area a regar en Horas (ARH):</i>	2,66	Has		
<i>Tiempo total de riego (TR):</i>	12,00			
<i>NUMERO DE CAMBIOS O SETS DE RIEGO/12 Hrs</i>	8	Cambios		

## 6.2 Funcionalidad De La Herramienta Informática.

### 6.2.1 Caudal / fuente en agua bombeada (CAB):

Es la medición o aforo hídrico que se realiza en la fuente sea a gravedad o agua bombeada, método de aforo canal rectangular.



**Figura 5. Fuente hídrica Rio la Paila**

Fuente: Autor.

**6.2.3 Caudal llegada a l lote (CLL):** Es el volumen de agua en Lts que llega desde el sitio de bombeo a la suerte o lote la cual se realiza por medio del aforo en canal Trapezoidal.



**Figura 6. Canal Trapezoidal**

Fuente: Autor

#### **6.2.4 Volumen de Agua Aprovechable (VAA):**

Se deduce de la resta del aforo en la fuente hídrica y aforo del caudal que llega al lote, posteriormente se calcula porcentaje de pérdidas por conducción.



**Figura 7. Canal Rectangular**

Fuente: Autor.

### **6.2.5 Número de calles con riego en plantilla (NCRP)**

Es la cantidad de calles donde se conduce el agua de riego por determinada longitud en un cultivo de plantilla.

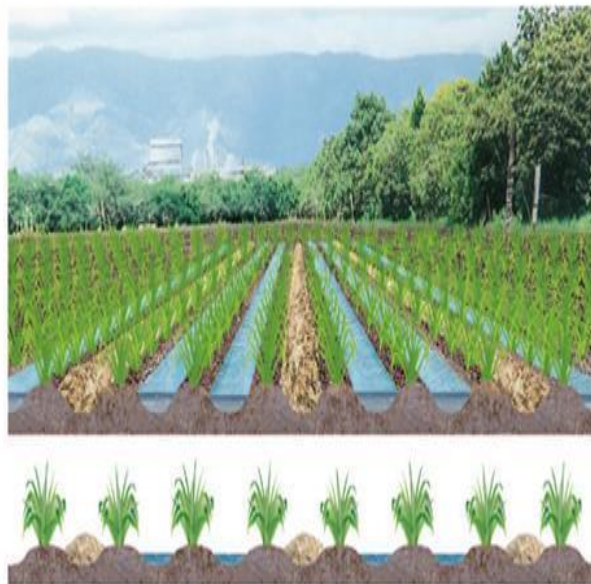


**Figura 8. Riego a Gravedad en Plantilla suerte 302T**

Fuente: Autor

### **6.2.6 Número de calles con riego en Soca (NCRS):**

A diferencia de la plantilla, es la cantidad de calles regadas con calles alternas con despaje (residuos de cosecha); Esto conlleva al aumento del área de distribución del volumen de agua en otras calles. En el momento de ingresar los datos al software, automáticamente este tiene en cuenta la distancia de las calles con despaje generando un valor mayor de la distribución del área de riego.



**Figura 9. Riego a Gravedad en encalle al 2x1**

Fuente. Cenicaña 2015.

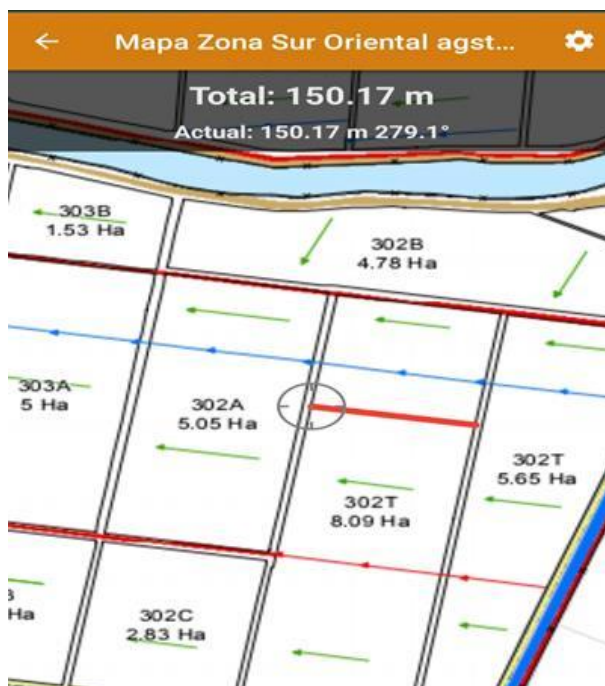
### **6.2.7 Longitud de calle de riego (LCR):**

Es la medida que se toma en lote a regar, desde la cabecera hasta el final con un decámetro, como se puede observar en la figura 11; Existen otras herramientas para realizar esta medición de una forma más rápida en este caso se utilizó la aplicación “Avenza Maps”.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Get the App. Get the Map. ® Avenza Maps es un potente visor de mapas sin conexión ligado a una Map Store donde encontrar, comprar y descargar mapas profesionales con diversos fines como senderismo, ciclismo, camping, ocio al aire libre o viajes de aventura. Es gratuito si el uso es recreativo (solo se paga por los mapas; mapas gratuitos descargables); los usuarios profesionales deben suscribirse desde la aplicación.



**Figura 10. Aplicación para mediciones en campo. Tomado de <https://www.avenza.com/avenza-maps/>**



**Figura 11. Longitud del surco 150 m.**

Fuente: Autor

### 6.2.8 Tiempo de Avance (TA):

Tiempo de Avance o recorrido del agua en el suelo (m/min):

- ✓ Se Realiza la medición en tres surcos.
- ✓ Se registra la hora en que el agua entra a cada surco y la hora en que llega al final de este.
- ✓ Se toma el tiempo en minutos que hay entre la hora de entrada y la hora de salida del agua.
- ✓ Se calcula el tiempo promedio de Avance y se convierten los minutos en segundos.
- ✓ Se suma el Tiempo (minutos) registrado en cada surco y se divide el resultado entre el número de datos, por ejemplo:

$$126+130+119= 375 \text{ min} \quad 375 \text{ min} / 3 = 125 \text{ min} \quad 125 / 60\text{min} = 2,083 \text{ hra}$$



**Figura 12. Velocidades de Avance en 10 Mts**

Fuente: Autor.

**6.2.9 velocidad de avance (VA):**

La velocidad de avance se determina al tomar la longitud del surco en este caso 120 mts y dividirlo en el tiempo de avance que es 125 min.

$$120 \text{ mts}/125\text{min} = 0,96 \text{ m/min.}$$

**6.2.10 caudal por surco (CA):**

Se determina de la división del caudal que llega a la suerte en este caso 80 Lts y números de surcos con agua 18 Sr Lts

$$80 \text{ Lts} / 18 \text{ Sr} = 4,4 \text{ Lts x surco}$$

**6.2.11 distancia entre calles (DC):**

Es la medida del ancho entre surco y surco en Este caso 1,65.

**6.2.12 caudal por frente de riego (CFR):**

El caudal por frente de riego se determina de multiplicar el caudal por surco y el número de surcos con agua

$$4,4 \text{ Lts x } 18 \text{ Surcos} = 79,2 \text{ Lts y la hoja de cálculo automáticamente lo redondea a un entero } 80 \text{ Lts.}$$

**6.2.13 área regada por set (ARS):**

Es el área de un solo set o tramo regado con agua, calculado de la siguiente manera.

$$1,65 \text{ mts x } 26 \text{ surc. X } 120 \text{ mts} / 10000 \text{ m}^2$$

**6.2.14 volumen aplicado por ha (VAH):**

Es la cantidad de agua aplicada durante un turno completo o la cantidad de horas bombeadas de riego.

**6.2.15 área a regar en horas (ARH):**

Es el área regada por un turno de 12 horas o más

**6.2.16 tiempo total de riego (TR):**

Es el tiempo de duración de riego de agua efectiva al inicio del surco.

**6.3.1 método de funcionamiento del aforador RBC**

El aforador RBC es una estructura hidráulicamente determinada que permite simular en forma matemática su funcionamiento y generar una nueva curva o tabla de calibración, en caso de que se presenten cambios en las dimensiones de la estructura durante su construcción. Las estructuras de aforo ocasionan contracciones en la sección transversal de los canales, lo que obliga a incrementar la velocidad del agua hasta un nivel crítico. Estas tienen una relación directa con el caudal transportado por el canal en ese momento, lo que permite establecer curvas y tablas de aforo de caudal  $Q$  en función del nivel de agua ( $h_1$ ), el tamaño y el tipo de estructura.



**Figura 13. Canal tipo RBC Instalada en campo**

Fuente: Autor.

### ***6. 3.2 selección del sitio para la instalación del aforador RBC<sup>4</sup>***

Las estructuras de aforo en canales abiertos deben ser instaladas en tramos rectos donde no existan entradas ni derivaciones de agua cercanas. El canal aguas arriba de la estructura de aforo debe ser recto en una distancia mayor a diez veces  $h_1$ , con el fin de obtener mediciones razonablemente precisas (3% de error permisible). Se requiere que el flujo de agua en el canal sea uniforme, es decir, sin turbulencia ni remolinos u ondas en la superficie; esto significa que el espejo de agua debe ser una superficie plana y uniforme. Para obtener mediciones precisas en canales abiertos.

---

<sup>4</sup> Los aforadores RBC se utilizan para medir la cantidad de agua que fluye por un canal de riego.



Figura 14. Riego gravedad: Aforo con canal RBC en la suerte 319 de la hacienda potrero verde

Fuente: Autor.

### ***6. 3. 3 riego por surcos***

Este método se utiliza desde hace más de un siglo en la región y forma, consiste en un Canal abierto construido en tierra y localizado en la cabecera del lote a regar. En este canal, se hacen trinchos con el fin de elevar el nivel de agua, la cual, por medio de boquetes, es vertida en la parte alta de los surcos y, desde allí, avanza por acción de la gravedad hasta el extremo final de Dichos surcos; en ese momento, se suspende el flujo en la cabecera.

Por esta razón, se denomina riego de avance. En regiones diferentes al valle geográfico del río Cauca, este sistema tiene algunas variantes, entre ellas, mayor permanencia del agua después de alcanzar el extremo final del surco, o tiempo de mantenimiento del flujo. En el riego por surcos, se presentan pérdidas de agua por percolación, escorrentía y evaporación; no obstante, la forma como se hace el riego (riego de avance) y el taponamiento al final de los entresurcos en la región permite reducir las pérdidas por escorrentía y percolación profunda, Sacrificando, en parte, la uniformidad en la aplicación de agua. El impacto de la baja

uniformidad no se refleja claramente en el desarrollo ni en la producción de caña de los campos comerciales, debido a que el tipo de riego requerido es de carácter suplementario y las lluvias pueden compensar la baja uniformidad de la distribución del agua a lo largo del surco (Torres *et al.*, 2004).

#### **6. 3. 4 diseño de riego por surcos en cultivos de caña establecidos**

En los predios cultivados con las variedades CC11-595, CC05- 430 y CC01-1940 se tuvieron en cuenta tanto como la edad del cultivo y tipo de suelo evaluado, se tuvo en cuenta la longitud de surco, la pendiente y la localización de los puntos de entrada y salida de agua en cada lote. La longitud del surco ha sido determinada de acuerdo con los criterios de la cosecha y los valores varían entre 100 m y 200 m, con un promedio de 120 m, mientras que la pendiente varía entre 0.2% y 1.0%, con una media de 0.4%. Para estos predios, el diseño de riego por surcos consistió en adaptar los factores operativos, como el caudal y el tiempo de avance, a las longitudes de surco y las pendientes establecidas, con el fin de reducir la cantidad de agua utilizada e incrementar el rendimiento de los operarios de riego.

## 7. Metodología Fase 2

### 7.1 Evaluación de aspectos económicos con el consumo hídrico.

Se tuvo en cuenta las siguientes variables:

- Operacional de equipo (Jornales / día)
- Combustible (Galones/ hora)
- Servicio de riego (Jornales / hectárea)
- 

Para estimar el costo del riego por hectárea, de forma preliminar se analizan las variables de la tabla 4, teniendo como referencia el jornal del operador, el tiempo (hora) del equipo, el costo del combustible y el precio del agua estipulado por la corporación autónoma pertinente (CRC).

**Tabla 4. Costo del Riego. Fuente: propia**

Operacional de equipo (Jornales / día) 12Hr	\$ 68.959	Ha	\$ 68.959
Hr motobomba	\$ 34.950	Ha	\$ 419.400
precio del galón ACPM	\$ 8.873	gl	\$ 106.476
Costo del agua/Ha	\$ 21.537	Ha	\$ 21.537
consumo gl/hr	1,5	gl	
consumo gl/hr en 12 hr	18		
			\$ 616.372
Área a regar Turno/12 hrs a 1077 m <sup>3</sup> /Ha		2,16	Has
7.1 Costo total Riego		\$ 285.357	Has

## **8. Análisis De Datos De Las Evaluaciones**

### ***8.1 Estimativo del consumo de agua tanto en plantilla y soca***

Se estiman los consumos de agua para riego tanto en plantilla como en soca a través de la herramienta informática logrando las mediciones adecuadas para el ingreso de datos en la herramienta y así poder tener los consumos del riego inicial al instante, lo cual es de gran importancia para el inicio del turno laboral y realizar las correcciones de inmediato.

### ***8.2 Correcciones de cantidad de agua que se quiere utilizar en el cultivo con la herramienta informática (hoja de cálculo)***

Las correcciones se realizan de acuerdo a los datos obtenidos por la herramienta informática donde la forma de hacerlo consiste en reducir o aumentar los caudales por calles de riego; Se puede resaltar que a medida que se aprende a usar esta herramienta cada vez las correcciones son menores por que se van creando indicadores acordes al tipo de suelo que se está trabajando.

### ***8.3 Relación de los parámetros de consumo del recurso hídrico con aspectos económicos***

Después de obtener el valor del riego por hectárea, se cuantifica el costo de ahorro ( $m^3$ ) para proyectar posibles áreas y frecuencias de riego para establecer comparativos con los registros históricos.

## 9. Resultados Y Discusión

En los parámetros de consumo del recurso hídrico se logró disminuir de 1436 m<sup>3</sup> a 1087 m<sup>3</sup> una cifra muy importante en consumo, donde se logra cuantificar el ahorro por hectárea regada de 359 m<sup>3</sup>.

La frecuencia de riego empleada durante el periodo de evaluación fue de 1.5 y el área de influencia o riego que se trabajó fueron de 275 hectáreas, esto quiere decir que la cantidad de agua ahorrada fue de 98.725 m<sup>3</sup>.

De acuerdo con las tablas 5, 6, 7 y 8 se puede observar los resúmenes de consumo para los años 2017, 2018, 2019 y como testigo o punto de comparación el año 2016 donde se puede evidenciar a través de las tablas como fue disminuyendo el consumo de agua para riego

**Tabla 5. Resumen riego año 2016**

(Testigo) Resumen Riego 2016					
FINCA	NOMBRE	Area Reg.	M <sup>3</sup> /Ha	M <sup>3</sup> Horas	Lts/seg
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Surco Continuo	85,35	1436,19	343,5	95,4
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Surco Alterno	1042,59	1389,98	308	85,6

En el 2017 se empieza a implementar la herramienta informática para el manejo del recurso hídrico al igual con las velocidades de avance y de inmediato se empiezan a ver los resultados como lo muestra la tabla 6.

**Tabla 6. Resumen riego año 2017**

Resumen Riego 2017					
FINCA	NOMBRE	Area Reg.	M <sup>3</sup> /Ha	M <sup>3</sup> Horas	Lts/seg
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Surco Continuo	143,69	1168,44	255	70,8
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Surco Alterno	740,74	1135,08	242	67,2

**Tabla 7. Resumen riego año 2018**

Resumen Riego 2018					
FINCA	NOMBRE	Area Reg.	M <sup>3</sup> /Ha	M <sup>3</sup> Horas	Lts/seg
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Surco Continuo	171,07	1186,79	285	79,2
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Surco Alterno	578,11	1154,96	280	77,8
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Con Ventanas	22,37	1144,61	260	72,2

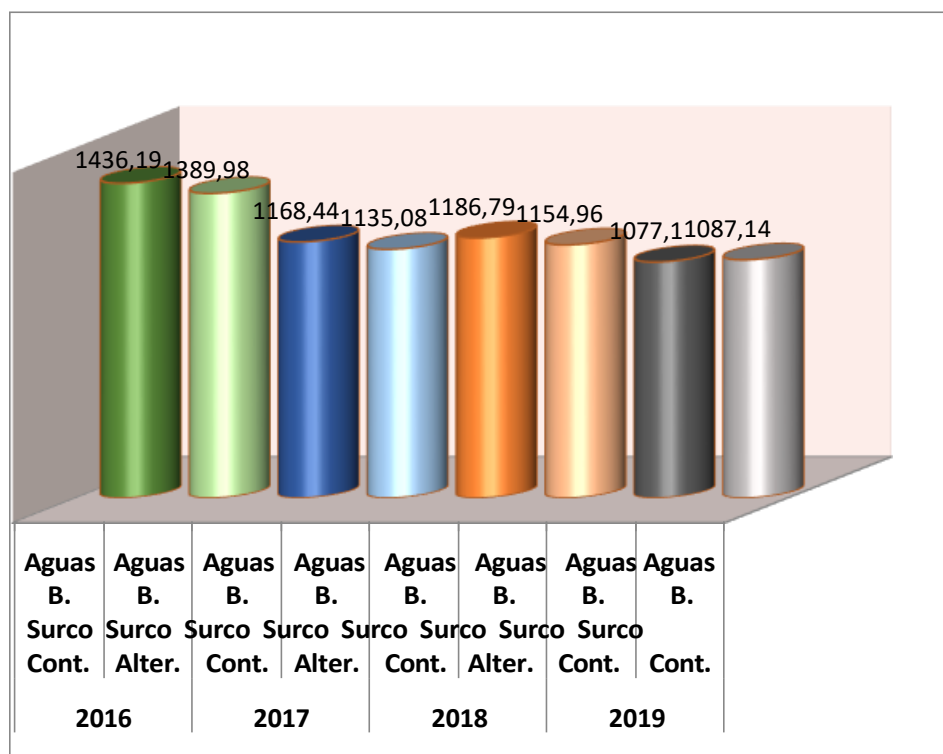
**Tabla 8. Resumen riego año 2019**

Resumen Riego 2019					
HACIENDA	NOMBRE	Area Reg.	M <sup>3</sup> /Ha	M <sup>3</sup> Horas	Lts/seg
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Surco Continuo	103,98	1187,1	272	75,6
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Surco Alterno	203,61	1153,14	274	76,1
Potrero Verde	Aguas Bombeadas Con Ventanas	8,56	1188,08	221	61,4

En la gráfica 15. Se pueden evidenciar los dos tipos de riego alterno y continuo<sup>5</sup>, que fueron evaluados en este proyecto y se realizó el comparativo mostrando los consumos año tras año y se puede observar la reducción en m<sup>3</sup> haciendo notorio la importancia de esta herramienta que se implementó a lo largo de este proyecto logrando un beneficio económico muy importante.

<sup>5</sup> Riego Continuo es el que se realiza en calles seguidas

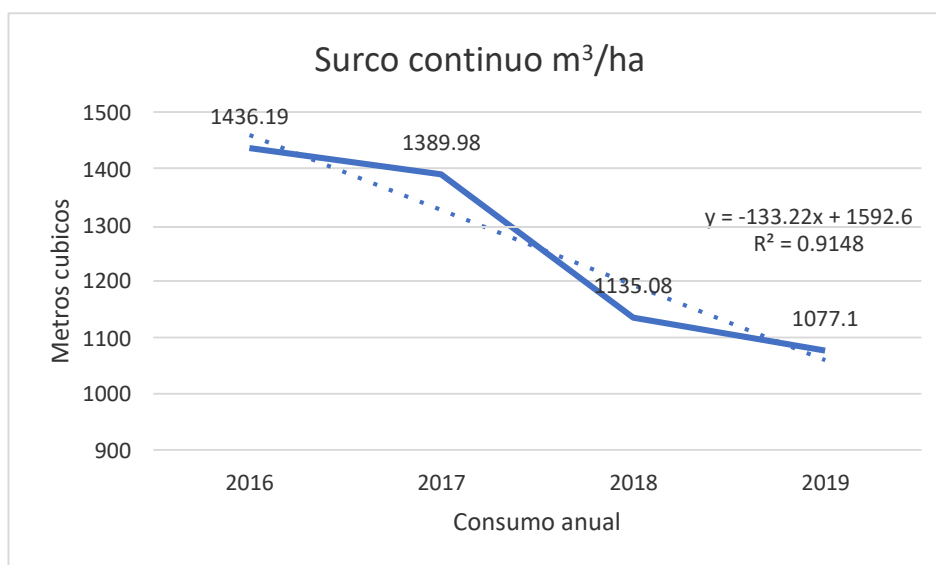
Riego Alterno se realiza dejando una calle de por medio



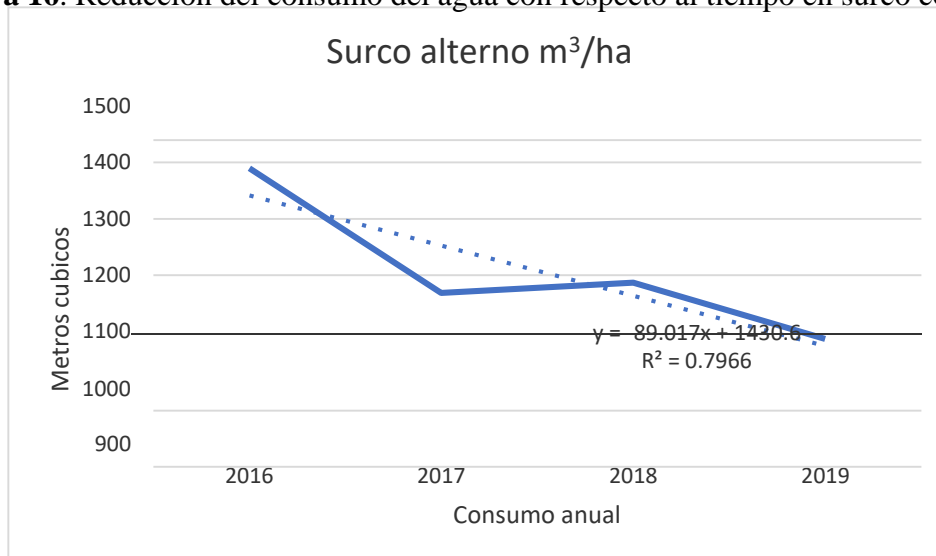
**Figura 15. Reducción del consumo de agua ( $m^3/ha$ ) surco alterno y surco continuo**

Fuente: Autor.

De acuerdo al consumo del agua con respecto al tiempo de evaluación en los dos tipos de riego, se pudo obtener una relación con tendencia la reducción cada año como se aprecia en las figuras 16 y 17 las cuales presentan altos coeficientes de determinación (0.91 y 0,79 respectivamente).



**Figura 16.** Reducción del consumo del agua con respecto al tiempo en surco continuo



**Figura17.** Reducción del consumo del agua con respecto al tiempo en surco alterno

Mediante el monitoreo y la evaluación del sistema implementado como la herramienta informática el respectivo análisis de los resultados da a conocer una disminución considerable en el consumo de agua para riego de la caña de azúcar tomando como referencia o punto de

partida los consumos del año 2016 mostrados en la tabla 5 donde se ven unos valores de consumo en surco continuo de 1436 m<sup>3</sup> y surco alterno 1389 m<sup>3</sup>.

A través de la implementación de la herramienta informática y las velocidades de avance en el siguiente año se comienza a reflejar una disminución notable en el consumo de agua en riego a 1168 m<sup>3</sup> en continuo y en alterno de 1135 m<sup>3</sup>, así se puede cuantificar un ahorro de 268 m<sup>3</sup> en continuo y en alterno de 254 m<sup>3</sup> datos muy parecidos; en el primer año de implementación de la herramienta informática.

Al final de la evaluación del año 2019 entre el mes de enero y febrero se obtienen resultados de consumo de agua para riego en surco continuo de 1077 m<sup>3</sup> y en alterno de 1087 m<sup>3</sup>, se logra obtener un ahorro en continuo de 359 m<sup>3</sup> y alterno de 302 m<sup>3</sup>

Se lograron evaluar en este periodo de riego entre el mes de enero y febrero 275 has en riego donde se pudo cuantificar el ahorro a comparación del año 2016 como testigo de la evaluación, teniendo en cuenta que con 1077 m<sup>3</sup> que consume 1 has de riego en promedio y el ahorro enunciado de 359 m<sup>3</sup> por has de Riego se aprecia en la tabla 9 el beneficio económico.

**Tabla 9. Comparación de diferentes frecuencias de riego y la relación con el beneficio económico en Riego**

consumo m <sup>3</sup> /ha	frecuencia de riego	Área evaluada (ha)	ahorro m <sup>3</sup>	Ahorro en Área	m <sup>3</sup> Ahorrados	beneficio %	valor riego hectárea	beneficio económico hectárea
1087	1	275	359	90,8	98725	0,33	\$285.357	\$94.243
1087	6	275	359	544,9	149847	1,98	\$285.357	\$565.458

El ahorro económico por ciclo como lo indica la tabla 9. Este calculado a 1 solo riego, donde muestra un beneficio del 0,33 % en ahorro del agua, y a su vez pudo ser comparado con el número de riegos promedio que realizan durante todo el año arrojando unas cifras muy importantes en el aspecto económico.

### **9.1 Conclusiones**

Todas las evaluaciones realizadas por medio de la herramienta informática mostraron una notable disminución de consumo  $m^3$  en un 24% por cada frecuencia de riego.

Para la zona evaluada con un tipo de suelo franco areno - arcilloso se relaciona el consumo de agua entre 950 y 1200  $m^3/ha$ . Para llegar a estos consumos se recomienda trabajar con un promedio de velocidad de avance entre 0,90 a 1,50 m/min. Al igual que el consumo por calle el caudal recomendado es de 3,5 a 6,5 Lts.

Mediante las correcciones realizadas a tiempo se logró una reducción significativa en los consumos de agua de riego.

El riego es la labor más costosa en el cultivo de la caña de azúcar representa entre el 30 – 60 % de los costos totales de producción

Aplicar un riego por surcos en una hectárea puede costar, en promedio:

\$ 200.000 si la fuente de agua es superficial

\$ 285.357 si es agua bombeada o de pozo, donde la energía utilizada representa el 80% del costo del agua.

## **10. Recomendaciones**

Como recomendación efectuar diariamente el control administrativo del riego mediante la herramienta informática de gran valor en el proceso de mejoramiento de la eficiencia ya que permite mantener actualizadas las mediciones de caudales, las áreas regadas, la eficiencia en el uso del agua, la eficiencia administrativa y la sincronización y el rendimiento del riego.

Hay una frase muy importante y vital que se maneja en el campo “lo que no se mide no se controla” a modo de recomendación darle la importancia y el valor que representa la herramienta informática para el ahorro del agua.

También es necesario conocer otros parámetros del suelo donde se está realizando el riego ya que de esta manera se determinaría el caudal por calles a utilizar.

En los suelos con altas pendientes se sugiere trabajar con velocidades y caudales bajos para no ocasionar problemas de erosión.

## **11. Bibliografía**

Alcaldía Padilla (Cauca) (2019). Mapa político y mapa del sector urbano del municipio de Padilla Cauca. Recuperado de <http://www.padilla-cauca.gov.co/noticias/mapa-politico-y-mapa-del-sector-urbano-del-municipio>

Arroyave, J. A., Builes, L. A., & Rodríguez, E. M. (2012). La gestión socio-ambiental y el recurso hídrico. *Journal of Engineering and Technology*, 1(1).

Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, (6), 101-126

Cruz Ricardo, V.; Torres Jorge S. (1997). Corporativo: CENICAÑA. TECNICAÑA. Título: Zonificación Climática por Balance Hídrico. IV Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. P. imprenta: Cali-Colombia. Septiembre. pgs. 201-206.

Cruz, V., & Ricardo, J. (2015). *Manejo eficiente del riego en el cultivo de la caña de azúcar en el valle geográfico del Río Cauca* (No. 631.7/C957). CENICAÑA.

Cruz, R. Título: Gestión de Calidad del Riego en Caña de Azúcar. IV Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. P. imprenta: Cali-Colombia. Septiembre 1997. págs. 217-228.

Cruz, V., Ricardo, T. A., & Jorge, S. (2003). Serie Divulgativa. *Enero*, 2003.

García, H. A. O. (2008). Las Comisiones de Regulación. *Revista Jurídica Piélagus*, 7(1), 27-36.

Pérez, M. A., Peña, M. R., & Álvarez, P. (2011). Agro-industria cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente & Sociedad*, 14(2), 153-178.

Torres, J., Cruz, R., & Villegas, F. (1996). *Avances técnicos para la programación y manejo del riego en caña de azúcar* (No. 15405). Cenicafé.

Torres, J., & Cruz, R. (1993). *El Aforador RBC. Una estrategia sencilla para canales de riego* (No. A-0041). Cenicafé.

Viveros Valens, C. A. (2011). *Identificación de características asociadas con la mayor eficiencia en el uso de agua para la producción de caña de azúcar* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira).

## 12. ANEXOS

**Anexos 1.Tabla 10. Evaluaciones del primer periodo de Riego 2019**

Evaluación De Riego Periodo 2019												
Fecha de riego	Ste	Hora total	Area regada	Tipo de riego	M3_ ha	M3_ hr	Edad ctivo	L/s	Velocidad de avance	Log. Sur	No de surcos con agua	Caudal x surco
06-ene-19	301	13	2,76	Surco Alterno	1272	270	9,0	75	0,92	120	16,0	4,7
17-ene-19	301 A	8	2,17	Surco Alterno	995	270	4,1	75	1,09	120	17,0	4,4
18-ene-19	301 A	12	2,94	Surco Alterno	1102	270	4,2	75	0,94	120	18,0	4,2
19-ene-19	301 A	12	2,84	Surco Alterno	1156	274	4,2	76	0,90	120	18,0	4,2
20-ene-19	301 A	5	1,08	Surco Alterno	1200	259	4,2	72	0,94	120	16,0	4,5
12-mar-19	301 A	8,5	2,09	Surco Alterno	1098	270	5,9	75	1,04	120	17,0	4,4
13-mar-19	301 A	14	3,03	Surco Alterno	1198	259	5,9	72	0,92	120	17,0	4,2
14-mar-19	301 A	4	1	Surco Alterno	1094	274	6,0	76	1,00	120	18,0	4,2
14-ene-19	301 B	9,5	2,35	Surco Alterno	1121	277	9,8	77	1,04	120	16,0	4,8
15-ene-19	301 C	6	1,56	Surco Alterno	1149	299	5,8	83	0,91	120	19,0	4,4
16-ene-19	301 C	3	0,76	Surco Alterno	1080	274	5,8	76	0,96	120	18,0	4,2
18-ene-19	301 D	3	0,9	Surco Alterno	1020	306	3,5	85	1,00	120	19,0	4,5
16-ene-19	301	9	2,14	Surco	1151	274	5,1	76	0,94	120	18,0	4,2

17-ene-19	E 301	4	1,03	Alterno Surco	1049	270	5,1	75	1,04	120	17,0	4,4
17-ene-19	E 301	11	2,63	Alterno Surco	1265	302	4,1	84	0,96	120	18,0	4,7
14-ene-19	Z 302	6,5	1,47	Alterno Surco	1258	284	8,5	79	1,02	120	17,0	4,9
15-ene-19	A 302	12	2,65	Alterno Surco	1190	263	8,5	73	1,00	120	16,0	4,6
16-ene-19	A 302	4	0,93	Alterno Surco	1208	281	8,6	78	0,91	120	18,0	4,3
08-ene-19	A 302	10	2,19	Alterno Surco	1233	270	8,0	75	0,93	120	17,0	4,4
09-ene-19	B 302	12	2,59	Alterno Surco	1218	263	8,1	73	0,95	120	17,0	4,6
27-ene-19	B 302	7,5	1,85	Alterno Surco	1109	274	8,7	76	0,98	120	18,0	4,2
28-ene-19	B 302	12	2,93	Alterno Surco	1150	281	8,7	78	0,94	120	18,0	4,3
13-ene-19	B 302	9,5	2,25	Alterno Surco	1140	270	8,1	75	1,02	120	17,0	4,4
14-ene-19	C 302	2,5	0,58	Alterno Surco	1195	277	8,1	77	0,94	120	17,0	4,5
22-feb-19	C 302	2,5	0,6	Alterno Surco	1110	266	2,8	74	0,98	120	17,0	4,4
23-feb-19	T 302	12	2,41	Continuo Surco	1291	259	2,8	72	0,90	120	16,0	4,5
24-feb-19	T 302	7	1,84	Continuo Surco	1027	270	2,8	75	1,01	120	17,0	4,4
25-feb-19	T 302	12	2,44	Continuo Surco	1239	252	2,8	70	1,09	120	17,0	4,4
08-mar-19	T 302	10	2,04	Continuo Surco	1288	263	2,8	73	0,94	120	18,0	4,2

	T			Continuo									
09-mar-19	302	12	2,55	Surco	1254	266	2,8	74	0,90	120	18,0	4,2	
	T			Continuo									
09-mar-19	302	12	2,41	Surco	1291	259	2,8	72	0,94	120	16,0	4,5	
	T			Continuo									
10-mar-19	302	12	2,62	Surco	1253	274	2,8	76	1,04	120	17,0	4,4	
	T			Continuo									
10-mar-19	302	12	2,73	Surco	1155	263	2,8	73	0,92	120	17,0	4,2	
	T			Continuo									
11-mar-19	302	12	2,71	Surco	1196	270	2,8	75	1,00	120	18,0	4,2	
	T			Continuo									
11-mar-19	302	1,5	0,32	Surco	1232	263	2,8	73	1,04	120	16,0	4,8	
	T			Continuo									
03-ene-19	304	9	1,74	Surco	1303	252	4,1	70	1,09	120	17,0	4,4	
	B			Continuo									
04-ene-19	304	6,5	1,33	Surco	1320	270	4,1	75	0,94	120	18,0	4,2	
	B			Continuo									
25-ene-19	304	4,5	1,18	Surco	1043	274	4,8	76	0,90	120	18,0	4,2	
	B			Continuo									
26-ene-19	304	7,5	1,89	Surco	1071	270	4,8	75	0,94	120	16,0	4,5	
	B			Continuo									
11-mar-19	304	10,5	2,23	Surco	1237	263	6,3	73	1,04	120	17,0	4,4	
	B			Continuo									
12-mar-19	304	3,5	0,84	Surco	1125	270	6,3	75	0,92	120	17,0	4,2	
	B			Continuo									
10-ene-19	304	7	1,8	Surco	1190	306	8,4	85	1,00	120	18,0	4,2	
	R			Alterno									
11-ene-19	304	10	2,53	Surco	1181	299	8,4	83	1,04	120	16,0	4,8	
	R			Alterno									
12-ene-19	304	7	1,77	Surco	1167	295	8,5	82	1,09	120	17,0	4,4	
	R			Alterno									
12-ene-19	304	3	0,83	Surco	1067	295	8,5	82	0,94	120	18,0	4,2	

	S			Alterno									
13-ene-19	304	10	2,53	Surco	1195	302	8,5	84	0,90	120	18,0	4,2	
	S			Alterno									
14-ene-19	304	10	2,44	Surco	1239	302	8,5	84	0,94	120	16,0	4,5	
	S			Alterno									
15-ene-19	304	3	0,9	Surco	996	299	8,6	83	1,04	120	17,0	4,4	
	S			Alterno									
04-ene-19	310	3,4	0,75	Surco	1212	270	8,1	75	0,92	120	17,0	4,2	
	C			Alterno									
05-ene-19	310	12	2,45	Surco	1270	259	8,2	72	1,00	120	18,0	4,2	
	C			Alterno									
06-ene-19	310	9,5	2,33	Surco	1218	299	8,2	83	1,04	120	16,0	4,8	
	C			Alterno									
07-ene-19	310	9,5	2,62	Surco	1096	302	8,2	84	1,09	120	17,0	4,4	
	C			Alterno									
26-ene-19	310	10	2,56	Surco	1153	295	8,9	82	0,94	120	18,0	4,2	
	C			Alterno									
27-ene-19	310	10	2,91	Surco	1052	306	8,9	85	0,90	120	18,0	4,2	
	C			Alterno									
28-ene-19	310	12	2,68	Surco	1209	270	8,9	75	0,94	120	16,0	4,5	
	C			Alterno									
09-ene-19	311	7,5	1,75	Surco	1296	302	8,3	84	1,04	120	17,0	4,4	
	A			Alterno									
10-ene-19	311	12	2,86	Surco	1178	281	8,4	78	0,92	120	17,0	4,2	
	A			Alterno									
11-ene-19	311	12	2,9	Surco	1102	266	8,4	74	1,00	120	18,0	4,2	
	A			Alterno									
12-ene-19	311	12	2,8	Surco	1173	274	8,4	76	1,04	120	16,0	4,8	
	A			Alterno									
13-ene-19	311	2,5	0,57	Surco	1184	270	8,5	75	0,94	120	18,0	4,2	
	A			Alterno									
03-ene-19	311	6	1,3	Surco	1329	288	4,1	80	0,90	120	18,0	4,2	

	B			Continuo									
04-ene-19	311	8	1,91	Surco	1252	299	4,1	83	0,94	120	16,0	4,5	
	B			Continuo									
05-ene-19	311	2	0,53	Surco	1114	295	4,1	82	1,04	120	17,0	4,4	
	B			Continuo									
23-ene-19	311	3	0,75	Surco	1152	288	4,7	80	0,92	120	17,0	4,2	
	B			Continuo									
24-ene-19	311	10	2,6	Surco	1177	306	4,8	85	1,00	120	18,0	4,2	
	B			Continuo									
25-ene-19	311	1,5	0,39	Surco	1177	306	4,8	85	1,04	120	16,0	4,8	
	B			Continuo									
12-mar-19	311	12	2,78	Surco	1134	263	6,3	73	0,92	120	16,0	4,7	
	B			Continuo									
13-mar-19	311	4	0,96	Surco	1110	266	6,3	74	1,09	120	17,0	4,4	
	B			Continuo									
10-ene-19	312	12	2,92	Surco	1095	266	8,0	74	0,94	120	18,0	4,2	
	A			Alterno									
11-ene-19	312	12	2,7	Surco	1216	274	8,1	76	0,90	120	18,0	4,2	
	A			Alterno									
12-ene-19	312	12	3	Surco	1123	281	8,1	78	0,94	120	16,0	4,5	
	A			Alterno									
13-ene-19	312	12	2,84	Surco	1156	274	8,1	76	1,04	120	17,0	4,4	
	A			Alterno									
14-ene-19	312	5,5	1,28	Surco	1222	284	8,2	79	0,92	120	17,0	4,2	
	A			Alterno									
07-ene-19	315	6,5	1,4	Surco	1220	263	2,2	73	1,00	120	18,0	4,2	
				Alterno									
08-ene-19	315	9,5	2,36	Surco	1188	295	2,2	82	1,04	120	16,0	4,8	
				Alterno									
09-ene-19	315	2,5	0,8	Surco	945	302	2,2	84	0,94	120	18,0	4,2	
				Alterno									
25-ene-19	315	8,5	2,39	Surco	1088	306	2,8	85	0,90	120	18,0	4,2	

				Alterno									
26-ene-19	315	4,5	1,09	Surco Alterno	1115	270	2,8	75	0,94	120	16,0	4,5	
27-ene-19	315	4,5	1,08	Surco Alterno	1140	274	2,8	76	1,04	120	17,0	4,4	
08-ene-19	315 A	2	0,56	Surco Alterno	964	270	8,9	75	0,92	120	17,0	4,2	
25-ene-19	315 A	2,5	0,56	Surco Alterno	1221	274	8,9	76	1,00	120	18,0	4,2	
07-ene-19	315 B	5,5	1,22	Surco Alterno	1185	263	10,3	73	1,04	120	16,0	4,8	
24-ene-19	315 B	5	1,22	Surco Alterno	1121	274	10,3	76	1,09	120	17,0	4,4	
05-ene-19	315 Z	7	1,6	Surco Alterno	1292	295	1,6	82	0,94	120	18,0	4,2	
24-ene-19	315 Z	7	1,6	Surco Alterno	1197	274	2,2	76	0,90	120	18,0	4,2	
19-ene-19	316	7	1,84	Surco Alterno	1096	288	5,8	80	0,94	120	16,0	4,5	
20-ene-19	316	12	2,53	Surco Alterno	1195	252	5,9	70	1,04	120	17,0	4,4	
21-ene-19	316	11	2,3	Surco Alterno	1205	252	5,9	70	0,92	120	17,0	4,2	
21-feb-19	316	8	2,52	Surco Alterno	983	310	6,9	86	1,00	120	18,0	4,2	
22-feb-19	316	10	2,26	Surco Alterno	1195	270	7,0	75	1,04	120	16,0	4,8	
23-feb-19	316	7	1,89	Surco Alterno	1200	324	7,0	90	0,94	120	18,0	4,2	
23-ene-19	318 C	6,5	1,57	Surco Alterno	1103	266	8,7	74	0,90	120	18,0	4,2	
24-ene-19	318	12	2,55	Surco	1321	281	8,8	78	0,94	120	16,0	4,5	

	C			Alterno									
25-ene-19	318	1,5	0,33	Surco	1211	266	8,8	74	1,04	120	17,0	4,4	
	C			Alterno									
20-ene-19	318	7	1,49	Surco	1218	259	3,2	72	0,92	120	17,0	4,2	
	T			Alterno									
21-ene-19	318	12	2,79	Surco	1192	277	3,2	77	1,00	120	18,0	4,2	
	T			Alterno									
22-ene-19	318	12	2,92	Surco	1139	277	3,2	77	1,04	120	16,0	4,8	
	T			Alterno									
23-ene-19	318	5,5	1,28	Surco	1145	266	3,3	74	0,94	120	18,0	4,2	
	T			Alterno									
15-ene-19	318	12	2,89	Surco	1121	270	8,5	75	0,90	120	18,0	4,2	
	Y			Alterno									
16-ene-19	318	6	1,46	Surco	1154	281	8,5	78	0,94	120	16,0	4,5	
	Y			Alterno									
20-feb-19	318	12	2,55	Surco	1254	266	9,7	74	1,04	120	17,0	4,4	
	Y			Alterno									
21-feb-19	318	7	1,8	Surco	1036	266	9,7	74	0,92	120	17,0	4,2	
	Y			Alterno									
16-ene-19	318	12	3,05	Surco	1048	266	8,5	74	1,00	120	18,0	4,2	
	Z			Alterno									
17-ene-19	318	6	1,54	Surco	1094	281	8,6	78	1,04	120	16,0	4,8	
	Z			Alterno									
21-feb-19	318	5	1,19	Surco	1119	266	9,7	74	0,90	120	18,0	4,2	
	Z			Alterno									
22-feb-19	318	12	2,77	Surco	1123	259	9,8	72	0,94	120	16,0	4,5	
	Z			Alterno									
23-feb-19	318	3	0,63	Surco	1251	263	9,8	73	1,04	120	17,0	4,4	
	Z			Alterno									
03-ene-19	319	6	1,17	Surco	1385	270	4,8	75	0,92	120	17,0	4,2	
				Continuo									
04-ene-19	319	12	2,6	Surco	1213	263	4,8	73	1,00	120	18,0	4,2	

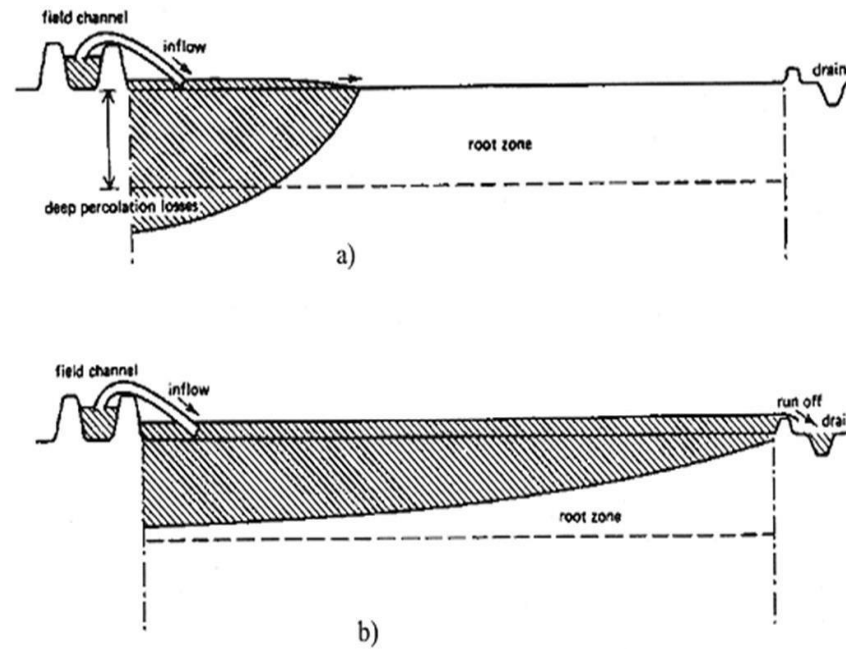
				Continuo									
05-ene-19	319	12	2,59	Surco	1234	266	4,8	74	1,04	120	16,0	4,8	
				Continuo									
06-ene-19	319	12	2,48	Surco	1289	266	4,9	74	0,90	120	18,0	4,2	
				Continuo									
07-ene-19	319	12	2,74	Surco	1198	274	4,9	76	0,94	120	16,0	4,5	
				Continuo									
08-ene-19	319	12	2,5	Surco	1279	266	4,9	74	1,04	120	17,0	4,4	
				Continuo									
09-ene-19	319	12	2,75	Surco	1194	274	5,0	76	0,92	120	17,0	4,2	
				Continuo									
10-ene-19	319	3	0,88	Surco	1043	306	5,0	85	0,92	120	16,0	4,7	
				Continuo									
25-ene-19	319	10,5	2,82	Surco	992	266	5,5	74	1,09	120	17,0	4,4	
				Continuo									
26-ene-19	319	12	3,06	Surco	1101	281	5,5	78	0,94	120	18,0	4,2	
				Continuo									
27-ene-19	319	12	3,22	Surco	1046	281	5,6	78	0,90	120	18,0	4,2	
				Continuo									
28-ene-19	319	7	2,15	Surco	996	306	5,6	85	0,94	120	16,0	4,5	
				Continuo									
19-feb-19	319	11	2,42	Surco	1195	263	6,3	73	1,04	120	17,0	4,4	
				Continuo									
23-feb-19	319	9	1,92	Surco	1232	263	6,4	73	0,92	120	17,0	4,2	
				Continuo									
25-feb-19	319	11	2,56	Surco	1145	266	6,5	74	1,00	120	18,0	4,2	
				Continuo									
26-feb-19	319	11	2,45	Surco	1212	270	6,5	75	1,04	120	16,0	4,8	
				Continuo									
26-feb-19	319	11	2,38	Surco	1181	256	6,5	71	0,92	120	17,0	4,2	
				Continuo									
27-feb-19	319	2,5	0,55	Surco	1162	256	6,6	71	1,00	120	18,0	4,2	

				Continuo									
27-feb-19	319	2,5	0,62	Surco Continuo	1060	263	6,6	73	1,04	120	16,0	4,8	
13-mar-19	319	8	1,84	Surco Continuo	1158	266	7,0	74	0,92	120	16,0	4,7	
14-mar-19	319	3,5	0,83	Surco Continuo	1123	266	7,1	74	1,09	120	17,0	4,4	
21-ene-19	320	3	0,7	Surco Alterno	1142	266	5,6	74	0,94	120	18,0	4,2	
22-ene-19	320	12	2,73	Surco Alterno	1187	270	5,6	75	0,90	120	18,0	4,2	
23-ene-19	320	12	2,95	Surco Alterno	1113	274	5,7	76	0,94	120	16,0	4,5	
25-ene-19	320	3,5	0,57	Surco Alterno	1326	216	5,7	60	1,04	120	17,0	4,4	
20-feb-19	320	11	2,27	Surco Alterno	1221	252	6,6	70	0,92	120	16,0	4,7	
21-feb-19	320	11	2,69	Surco Alterno	1060	259	6,6	72	1,09	120	17,0	4,4	
22-feb-19	320	8,5	1,99	Surco Alterno	1092	256	6,6	71	0,94	120	18,0	4,2	
17-ene-19	320 A	6	1,6	Surco Alterno	1053	281	4,6	78	0,90	120	18,0	4,2	
18-ene-19	320 A	12	3,13	Surco Alterno	1063	277	4,7	77	0,94	120	16,0	4,5	
19-ene-19	320 A	12	2,99	Surco Alterno	1127	281	4,7	78	1,04	120	17,0	4,4	
20-ene-19	320 A	12	2,94	Surco Alterno	1102	270	4,7	75	0,92	120	17,0	4,2	
21-ene-19	320 A	9	2,22	Surco Alterno	1080	266	4,8	74	1,00	120	18,0	4,2	
14-ene-19	321	6	1,35	Surco	1216	274	8,3	76	1,04	120	16,0	4,8	

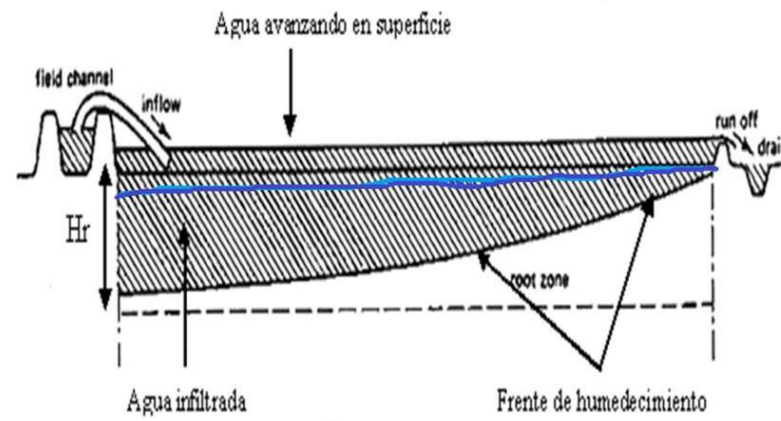
Alterno

275,23

1087

**Anexos 2. Bulbo De Agua De acuerdo A Las Velocidades De Avance****Figura 18. Bulbo de agua de acuerdo a las velocidades de avance**

Fuente: Cenicaña 2015.



*Figura 8.8. Perfil del agua infiltrada en el suelo*

### **Figura 19. Velocidad de avance Uniforme**

Fuente: Cenicaña 2015.

### Anexos 3. Valores de referencia y estrategias de mejoramiento para los indicadores de calidad en la gestión del riego por surcos en caña de azúcar.

Indicador	Valor de referencia	Comentario o estrategia de mejoramiento
<b>Volumen de agua utilizado, medido en la fuente</b>	500 - 1000 m <sup>3</sup> /ha	Volumen sugerido en riegos de germinación, establecimiento de la plantación, rebrote de la soca y acompañamiento de la fertilización.
	750 - 1200 m <sup>3</sup> /ha	Volumen sugerido para cañas con edades entre 2 y 4 meses.
	1000 -1400 m <sup>3</sup> /ha	Volumen sugerido para cañas con edades mayores de 4 Meses.
<b>Volumen de agua aplicado en la suerte</b>	400 - 800 m <sup>3</sup> /ha	Volumen sugerido en riegos de germinación, establecimiento de la plantación, rebrote de la soca y acompañamiento de la fertilización.
	600 - 1000 m <sup>3</sup> /ha	Volumen sugerido para cañas con edades entre 2 y 4 meses.
	1000 -1200 m <sup>3</sup> /ha	Volumen sugerido para cañas con edades mayores de 4 Meses.
<b>Eficiencia total de riego</b>	> 50%	Para lograr este valor, se requiere una eficiencia de aplicación mayor al 60% y una eficiencia de conducción del 80%, como mínimo.  En caso de que la eficiencia de aplicación sea baja, se recomienda ajustar el caudal por surco y adaptar simultáneamente el tiempo de aplicación. Con el fin de evitar las pérdidas por escorrentía, se debe taponar con tierra el final de los surcos y reducir el tiempo de aplicación. Además, se sugiere finalizar la operación de riego en el extremo aguas arriba de la acequia regadora. Finalmente, se debe reutilizar el agua perdida por escorrentía. Al final de las épocas lluviosas, se debe realizar una programación preliminar de los riegos en
<b>Eficiencia aplicación</b>	<b>de</b> > 60%	Cada unidad productiva con el fin de asignar las fuentes de Agua y revisar, mantener y reparar la infraestructura de conducción y distribución del agua con suficiente anticipación. Con base en la inspección de campo del avance, el caudal, la pendiente, el diseño de campo, la penetración de la humedad, el desarrollo del cultivo y la condición de los surcos, se pueden tomar medidas tales como la nivelación a precisión y la construcción y mantenimiento de surcos y acequias tanto de riego como de drenaje.

#### Anexos 4.Indicadores y sugerencias para el riego

Fuente: Cruz (2014).

##### Tabla de indicadores de velocidades de avance

<i>Indicador</i>	<i>Valor de referencia</i>	<i>Comentario o estrategia de mejoramiento</i>
	> 2 m/min	Velocidad sugerida en riegos de germinación y acompañamiento de la fertilización, teniendo cuidado para no afectar la semilla.
	1.5 - 2.0 m/min	Velocidad sugerida para el primer riego de levante.
	1.5 m/min	Velocidad sugerida para los demás riegos.
<i>Velocidad de avance de agua en el surco</i>	Como una guía para el operario de riego, se ha encontrado que el tiempo de avance (min) del agua puede controlarse de acuerdo con la siguiente tabla:	Para mejorar la velocidad de avance del Agua en el riego por surcos, se requiere un buen aporque y, en especial, una conformación adecuada de las calles o Entresurcos. Un aporque deficiente, unido a irregularidades en la pendiente por una mala nivelación o por asentamientos ocurridos en el suelo, no permite el avance Adecuado del agua en los surcos. Además, se debe guiar el agua en los surcos,
	Longitud (m)	Tiempo de avance (min)
		<b>5</b>
	<b>20</b>	<b>20</b>
	<b>40</b>	<b>30 - 35</b>
	<b>60</b>	<b>45 - 50</b>
	<b>80</b>	<b>60</b>
	<b>100</b>	<b>80 - 90</b>
	<b>120</b>	Principalmente, en el riego de germinación y en el primer riego de levante, y remover obstáculos del entresurco como terrones grandes, piedras y malezas. Si el tiempo de avance es mayor que el sugerido, se recomienda aumentar el caudal por surco, y si el tiempo es menor, se debe disminuir el caudal.

## Anexos 5. Evaluación caudal por calles



**Figura 20. Evaluación caudal por calles**

Fuente: Autor.



**Figura 161. Finca potrero verde, vereda yarumales del municipio de padilla norte del cauca**

**Fuente: Autor.**