

**Estimación del Riego por Gravedad con Ventana Reguladora de Caudal (VRC) en  
Suelos Franco-Arenosos para el Cultivo Caña de Azúcar**

Estudiantes:

Carlos Alberto Maya Rivera

Javier Andrés Bermúdez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuelas de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Programa de Agronomía

Palmira

2024

**Estimación del Riego por Gravedad con Ventana Reguladora de Caudal (VRC) en  
Suelos Franco-Arenosos para el Cultivo Caña de Azúcar**

Estudiantes:

Carlos Alberto Maya Rivera

Javier Andrés Bermúdez

Trabajo para Optar al Título de Agrónomo

Asesor:

Milton Cesar Ararat Orozco

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuelas de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA)

Programa de Agronomía

Palmira

2024

### **Dedicatoria**

A Dios por ser quien guio el camino en cada etapa de la vida académica, como padre y mentor.

A nuestras familias (padres, madres, esposa e hijos) que han sido pieza fundamental en este proceso y porque con su apoyo, sabiduría y sobre todo amor nos ayudaron en el transcurso de ser profesionales, constituyéndonos como personas éticas.

Al asesor de la tesis porque a través de su conocimientos y guía se logró concretar la tesis que permitiera el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, a los demás amigos y compañeros de la universidad por lo que hemos vivido en los períodos de formación.

### **Agradecimientos**

Los profesores y personal de la universidad UNAD por el acompañamiento en el proceso académico.

## Resumen

El documento comprende información suministrada por productores del cultivo de caña de azúcar, en condiciones ambientales del municipio de Florida (Valle del Cauca), considerada como una gramínea tropical conocida científicamente como *Saccharum officinarum*, que se caracteriza por la acumulación de sacarosa en su tallo en el periodo de maduración teniendo gran importancia mundial en la producción de azúcar y sus derivados. El riego de caña de azúcar es común en el valle del río Cauca, donde aproximadamente el 95% del área recibe riego suplementario. La precipitación anual oscila entre 800 y 2600 mm, con un promedio de 1000 mm, pero la disponibilidad hídrica ha disminuido por el cambio climático”. (Torres, J.1993 p.193)

El cultivo de la caña para tener un óptimo desarrollo vegetativo de la planta y la acumulación de sacarosa de los tallos requiere de un suministro importante de agua durante las primeras fases, si las condiciones de precipitación no alcanzan los valores óptimos (promedio de 1500mm al año) debe disponerse de un sistema de riego. “En la región los sistemas de riego utilizados en caña son: riego gravedad a canal abierto, riego por gravedad con tubería de ventanas, riego por aspersión y riego por goteo” (Cenicaña, 1995). Los requerimientos hídricos son muy elevados, aun cuando el agua es un recurso escaso, por lo tanto, surge la necesidad de que el riego deben efectuarse de una manera eficiente, es decir, se debe aprovechar el agua de la mejor forma posible; lo que permite regar, con la misma cantidad de agua, más hectáreas. “Para lograr esto existen diversos métodos de riego, éstos pueden ser gravitacionales, en que el agua es conducida por canales abiertos, Sistema de Riego ventanas o Aspersión”. (Cenicaña, 2022). Los métodos de riego superficiales a canal abierto tienen en común que la energía necesaria para el movimiento del agua se logra por la diferencia de altura del terreno, también por ello se llaman

por gravedad. Este método ha sido utilizado desde épocas remotas por el hombre, y actualmente a pesar de los avances tecnológicos es el método que ocupa el primer lugar. En la entrega del agua se implementa un sistema de riego con ventanas reguladoras de caudal instaladas en la entrada de cada surco. En esta metodología se estimó una reducción del caudal en  $\text{m}^3/\text{ha}$  para que los resultados de costos operativos sean más económicos, comparándolo con el riego gravedad a canal abierto convencional.

***Palabras clave.*** Caña de azúcar, agua, canal abierto, ventana reguladora.

## Abstract

The document includes information provided by sugarcane growers under environmental conditions in the municipality of Florida (Valle del Cauca), considered a tropical grass scientifically known as *Saccharum officinarum*, which is characterized by the accumulation of sucrose in its stalk during the maturation period and is of great importance worldwide in the production of sugar and its derivatives. Sugarcane irrigation is common in the Cauca River valley, where approximately 95% of the area receives supplemental irrigation. Annual rainfall ranges between 800 and 2600 mm, with an average of 1000 mm, but water availability has decreased due to climate change”. (Torres, J. 1993, p. 193).

The cultivation of sugarcane for optimal vegetative development of the plant and the accumulation of sucrose in the stalks requires a significant supply of water during the early stages, if rainfall conditions do not reach the optimum values (average of 1500 mm per year) an irrigation system must be available. “In the region, the irrigation systems used in sugarcane are: open channel gravity irrigation, gravity irrigation with window pipes, sprinkler irrigation and drip irrigation” (Cenicaña, 1995).

Water requirements are very high, even when water is a scarce resource, therefore, the need arises that irrigation must be carried out in an efficient manner, that is, water must be used in the best possible way, which allows irrigating more hectares with the same amount of water. “To achieve this, there are several irrigation methods, these can be gravitational, in which water is conducted through open channels, window irrigation system or sprinkling”. (Cenicaña, 2022). Open channel surface irrigation methods have in common that the energy necessary for the movement of water is achieved by the difference in height of the terrain, which is why they are also called gravity irrigation. This method has been used since ancient times by man, and

currently, despite technological advances, it is the method that occupies the first place. In the delivery of water, an irrigation system is implemented with flow regulating windows installed at the entrance of each furrow. In this methodology, a flow reduction in m<sup>3</sup>/ha was estimated in order to obtain more economical results in terms of operating costs, compared to conventional open channel gravity irrigation.

***Keywords.*** Sugarcane, water, open channel, regulating window.

**Tabla de Contenido**

Introducción	9
Planteamiento del Problema	10
Justificación	11
Objetivos	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
Marco Teórico	13
Contexto Regional	13
Riego	18
Frecuencia de Riego	20
Metodología	23
Localización	23
Materiales y Métodos	24
Número de Operarios de Riego	27
Área Regada por Día y por Operario	27
Resultados	28
Discusión	33
Conclusiones	35
Referencias Bibliográficas	37

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1.</b> <i>Características Morfológicas de la Lámina</i>	27
<b>Figura 2.</b> <i>Instalación VRC</i>	28

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Condiciones Ambientales y Agronómicas del Estudio de Caso</i>	22
<b>Tabla 2.</b> <i>Tratamientos de Mediciones de caudal.</i>	23
<b>Tabla 3.</b> <i>Calculo de Costos por Hectárea en Riego Gravedad</i>	25
<b>Tabla 4.</b> <i>Cálculo de la Reducción de Caudal</i>	29

**Lista de Gráficos**

<b>Gráfico 1.</b> <i>Caudal (L/s) en un riego</i>	29
<b>Gráfico 2.</b> <i>Caudal del Riego Total en el Ciclo del Cultivo</i>	31

## Introducción

La agricultura en regiones semiáridas, como la zona agroecológica 11H2 en Florida, Valle del Cauca, enfrenta desafíos significativos debido a la escasez de agua y las condiciones del suelo. El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), que requiere un manejo adecuado del agua para maximizar su rendimiento, se beneficia de técnicas de riego eficientes. En este contexto, la implementación de una ventana reguladora de caudal (VRC) en sistemas de riego por gravedad puede optimizar el uso del agua, permitiendo un control más preciso del caudal y una distribución uniforme en los campos.

A través de este estudio, se busca contribuir al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes que mejoren la productividad del cultivo de caña de azúcar en la región. A fin de disminuir pérdidas económicas de los agricultores, es necesario implementar nuevas tecnologías que permitan incrementar la productividad de los cultivos y disminuir los costos de producción para obtener mayores ingresos. Bajo estos antecedentes se planteó esta investigación con el propósito de evaluar la eficiencia de riego con la Ventana Reguladora de Caudal (VRC) en diferentes Áreas. En condiciones ambientales del municipio de Florida (Valle del Cauca), se reconocieron los factores agronómicos en el cultivo de caña de azúcar.

### **Planteamiento del Problema**

El municipio de Florida en el Valle del Cauca posee extensiones inmensas sembradas en caña de azúcar en los últimos años, según Cenicaña (2014) “el agua para riego ha decrecido entre el 40% y 70%, debido al deterioro de las cuencas y al incremento de agua para usos municipales y agrícolas.”

“El riego es la labor más costosa del cultivo de caña y representa el 40% de los costos totales de la producción”. (Cenicaña, 2014). Por tanto, es necesario estimar el alto consumo de agua  $m^3/ha$  en el riego por gravedad para poder optimizar su uso en el cultivo de caña de azúcar.

## Justificación

Debido a que el riego por gravedad es una de las labores más costosas e importantes en el cultivo de la caña de azúcar, se ha identificado altos volúmenes de consumo de agua ( $M^3/Ha$ ) en el lote lo que conlleva a desperdicios y erosiones en la entrada de los surcos, en donde es difícil controlar el caudal, por ende, se tiene más horas máquina y menos eficiencia, los cuales se traducen en labores de alto costo. (Cruz, R. 2015)

“Para obtener el máximo beneficio de los cultivos, recursos hídricos y elementos tecnológicos que permiten hacer la actividad agrícola más competitiva y rentable, el manejo de los sistemas de riego debe ser óptimo”. (Martínez, L. (2001).

Cruz, R. (2015) hace énfasis en que:

debido a que el riego por gravedad es una de las labores más costosas e importantes en el cultivo de la caña de azúcar, se ha identificado altos volúmenes de consumo de agua ( $M^3/Ha$ ) en el lote lo que conlleva a desperdicios y erosiones en la entrada de los surcos, en donde es difícil controlar el caudal, por ende, se tiene más horas máquina y menos eficiencia, los cuales se traducen en labores de alto costo.

Vale la pena recordar que “para obtener el máximo beneficio de los cultivos, recursos hídricos y elementos tecnológicos que permiten hacer la actividad agrícola más competitiva y rentable, el manejo de los sistemas de riego debe ser óptimo” (Martínez, L. 2001).

Rivera, O. ( 2014) menciona que si Colombia veinte años antes era el cuarto país de mundo en recursos hídricos, y ahora descendió hasta el puesto 24, deberíamos analizar las causas y tenerlas en cuenta, para no continuar con esa forma de “progreso” basado en la destrucción artera de los recursos naturales (p.4)

A fin de disminuir pérdidas económicas de los agricultores, es necesario implementar

nuevas tecnologías como el riego superficial a canal abierto (VRC) que permitan incrementar la productividad de los cultivos y disminuir los costos de producción para obtener mayores ingresos.

Por lo mencionado, es necesario comparar la eficiencia de riego canal abierto con (VRC) y riego canal abierto (convencional) de esta manera crear una alternativa que compense en las operaciones de campo, ahorro de agua, mayor producción de cultivo entre otras actividades que beneficien nuestros agricultores. “Por lo tanto, los métodos de riego por surco y del riego por aspersión con cañones son los más usados en el cultivo de la caña de azúcar en la región. El primero se utiliza el 79% del área y el segundo 21%. “(Torres Aguas, 2004)

Para mejorar la competitividad de cualquier sistema productivo agrícola y en este caso para un sistema de cultivo de caña de azúcar (*Sachcarum officinarum*), una de las alternativas viables viene a ser el uso y la implementación del riego por gravedad con ventana reguladora de Caudal.

Se requiere entonces un gran potencial de mejora, donde la estimación de la reducción del caudal con ventana reguladora de caudal es una opción para la toma de decisiones en la administración agronómica del cultivo.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Estimar el caudal de riego por gravedad con ventana reguladora de caudal (VRC) en suelos franco-arenosos para el cultivo caña de azúcar (*Sachcarum officinarum*) en el municipio de Florida (Valle del Cauca).

### ***Objetivos Específicos***

Caracterizar el proceso de implementación de la ventana reguladora de caudal (VRC) en canales abiertos para el cultivo caña de azúcar.

Calcular la reducción del caudal a través de la ventana reguladora en suelo franco arenoso de la zona agroecológica 11H2.

Relacionar costos operativos del riego por gravedad con ventana reguladora de caudal (VRC) vs Método convencional de canal abierto.

## Marco Teórico

### Contexto regional

En el Valle geográfico del Rio Cauca, Colombia, existen 240.000 hectáreas cultivadas con caña de azúcar. En esta región, la precipitación es variable con una media de 700 a 1500 mm, durante los cuales es necesario aplicar riego suplementario. “Los requerimientos de agua de la caña de azúcar varían considerablemente entre regiones o haciendas, con diferencias en los ciclos del cultivo, por lo general el consumo de agua de este cultivo por año varía entre 1200 a 1500 mm.” (Ayala, G. 2019).

La caña de azúcar es el motor de la economía en el Valle del Cauca gracias a las condiciones climáticas de la zona, la deforestación, la variabilidad climática y el incremento de la temperatura son una de las causas principales de los escasos del agua, por tal motivo se busca una tecnología que minimice el alto consumo de agua en el riego del cultivo de caña de azúcar. (Cruz, R. 2015).

Con el propósito de facilitar la adopción de diferentes tecnologías para hacer un uso más eficiente del recurso hídrico en el valle del río Cauca por parte de la agroindustria de la caña de azúcar, Cenicaña (2014) afirma que” el manejo de aguas ha mostrado que si los agricultores adoptan las tecnologías desarrolladas lograrán bajar los volúmenes de agua por hectárea hasta en un 50%, cifra que puede representar cerca de 8900 m<sup>3</sup>/ha/año.”.

### *Riego*

El riego es un componente principal en la producción agrícola que influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. “Existen diferentes métodos para irrigar que permiten incrementar la producción de los cultivos, como son el riego superficial, por aspersión, microaspersión y goteo”. (Hargreaves y Merkle, 2000).

La eficiencia de riego es una variable dinámica que depende de una variedad de factores, incluido el mal manejo del regante debido a su falta de conocimiento o experiencia en el cultivo. De esta manera, la eficiencia de utilización varía en cada evento de riego a lo largo de la temporada, así como en cada sector y subsector de riego dentro de un sistema. (Cenicaña ,2015).

Este método se utiliza desde hace más de un siglo en la región y forma parte de una cultura arraigada entre productores de caña. Consiste en un canal abierto construido en tierra y localizado en la cabecera del lote a regar. “En el mismo canal se hacen trinchos con el fin de elevar el nivel del agua, la cual, por medio de boquetes, es vertida en la parte alta de los surcos, desde allí avanza por acción de la gravedad hasta el extremo final de dichos surcos; cuando se suspende el riego en la cabecera del lote, por esta razón se llama riego de avance. “(Cenicaña, 2015).

Por su parte Vásquez, F. (1999), mencionó que:

Los resultados comparativos de eficiencias de aplicación en el riego con recorte en surcos abiertos cuando existen una y dos pendientes longitudinales fuertes (0.2% o mayores). En surcos de dos pendientes, con la menor en la parte baja y el cambio de ellas a 0.75 de la longitud, el incremento de la eficiencia, con respecto a la de surcos con pendiente única es del orden del 13%.

Esto permite concluir que, si en el campo se presenta esta situación favorable, no es conveniente explanar las parcelas con una sola pendiente, o bien, si ya tienen una pendiente y fuera posible explanar para que los surcos tuvieran dos pendientes, la eficiencia sería más alta.

Por su parte, Ramírez E. (2010) aclara que para lograr un uso eficiente del agua en parcelas con riego por gravedad se recomienda:

- Un arado de discos o vertederas para mejorar la aireación del suelo.
- Un rastreo simple o doble para desmenuzar los terrones formados con el barbecho.
- El empareje del terreno para eliminar altos y bajos y evitar que el agua se encharque.
- Nivelación con equipo láser o mecánico de acuerdo con el grado de nivelación o el uso de un tabloneo en terrenos con ligeros problemas de nivelación.
- Construir buenas regaderas y mantenerlas limpias

Si se mide el agua captada en una bocatoma, al que se le llama ( $A_o$ ), este volumen para llegar a la finca recorrerá todo el canal de derivación o canal principal, el volumen medido en la cabecera de dicha finca llamaremos ( $A_f$ ). Durante ese recorrido, en términos generales, se pierde un porcentaje del volumen inicialmente medido en un 20% aproximadamente en canales a tajo abierto y un 20 a 30% en canales revestidos. Este hecho indica que  $A_f < A_o$ . A la relación existente entre cantidad de agua ingresada a la finca y la cantidad de agua medida en la bocatoma se le denomina eficiencia de conducción ( $E_c$ ), cuyo valor será:  **$E_c = A_f/A_o \times 100$**

### **Frecuencia del riego**

En términos básicos según Torres et al. (2004), “la frecuencia de riego es el tiempo que transcurre entre una aplicación del agua y la siguiente, varía según el consumo de agua por las plantas consideradas y según la capacidad de almacenamiento del suelo.”

La velocidad de infiltración instantánea es la lámina de agua infiltrada en el suelo un determinado tiempo para un instante de tiempo dado. En el riego por surcos, se presentan pérdidas de agua por percolación, escorrentía y evaporación, la forma como se hace el riego (riego avance) y el taponamiento al final de los entresurcos permite reducir las pérdidas por escorrentía y percolación profunda, sacrificando en parte la uniformidad en la aplicación del agua.

## Metodología

### Localización

Este proyecto se llevó a cabo en el municipio de Florida (Valle del Cauca), Hacienda Montepalo (ver tabla 1) Corregimiento de Chocosito se halla al sur oriente del departamento del valle del cauca, en la región andina de Colombia cerca del piedemonte de la cordillera central.

La finca seleccionada (Hacienda Montepalo) se encuentra en la zona agroecológica código<sup>1</sup> 11H2, de acuerdo con el análisis de suelo realizado por ingenio del Cauca, apoyado por laboratorio de suelo Ingenio Providencia donde se reporta los siguientes datos:

Estrato de evaluación fue de 0 cm a 40 cm de profundidad. La textura del suelo: arena 72%, limo 24% y arcilla 4%, siendo la clasificación franco arenoso, en las 60 has sembradas en caña de azúcar.

### Tabla 1.

#### *Condiciones Ambientales y Agronómicas del Estudio de Caso*

Ubicación Geográfica:	El manejo agronómico del sistema de cultivo:
Latitud: 3o 19' 20" N	Distancias de siembra:
Longitud: 76° 14' 05. 3" W	Long. de Surco 150 mt.
Altitud: 1038 m.s.n.m.	Entre Surco 1,65 mt.
Temperatura media anual: 32°C.	Área Sembrada: 60 Ha
Precipitación anual: 1140 mm	Lote 1: 2 has
Humedad relativa media anual: 65 %.	
Velocidad promedio del viento: 6. m/s.	

**Fuente.** Elaboración propia.

<sup>1</sup> La zona agroecológica 11H2 tiene un clima semiárido con escasa precipitación y altas temperaturas. Sus suelos son poco profundos y erosionables, y la vegetación incluye matorrales xerófilos adaptados a la sequía.

## ***Materiales y Métodos***

Metodología Objetivo 1: Para obtener la información se buscó caracterizar el proceso de implementación de la Ventana reguladora de Cudal(VRC )de la siguiente manera:

Valoración del tipo de material de la VRC.

Medición en cm de las dimensiones de la lámina.

Modo de instalación.

Metodología Objetivo 2: Los datos cuantitativos de la VRC se calcularon en litros por segundo para determinar la reducción o cambios de caudal; en la siguiente tabla se identifican las respectivas áreas:

**Tabla 2.**

*Tratamientos de Mediciones de caudal.*

Caudales de riego por gravedad (L/s)			
Repetición	Tratamiento 1: riego por gravedad convencional	Tratamiento 2: riego por gravedad con VRC Area1 (25 cm <sup>2</sup> )	Tratamiento 3: riego por gravedad con VRC Area2 (50 cm <sup>2</sup> )
R 1			
R 2			
R n			

**Fuente.** Elaboración propia.

La estimación del riego fue calculada con los siguientes tratamientos:

**Tratamiento 1 (T1):** el riego convencional, que normalmente se abre los sets de riego con la pala en la cabecera del surco.

**Tratamiento 2 (T2):** se diferencia del T1, es que se van a manejar cantidades de aguas controladas con ventana reguladora de caudal, donde su medida aproximada de abertura es de 5x5 (25 cm<sup>2</sup>) para que su capacidad de descarga sea regulada.

**Tratamiento 3 (T3):** capacidad máxima de abertura son de 10x5 (50 cm<sup>2</sup>) donde se

pretende mayor capacidad de descarga del T2.

Al avanzar el agua sobre la superficie del suelo se produce simultáneamente la distribución del agua en la parcela y la infiltración de esta en el perfil del suelo, No se necesitan bombas, por lo que no se necesita de energía adicional o externa para su funcionamiento.

Después de obtener los litros por segundo por cada tratamiento, posteriormente se estima el consumo en el área de estudio ( $m^3/ha$ ) con la siguiente formula de conversión:

**Fórmula:  $m^3/h=L/s \times 3.6$**

Pasos para conversión de unidades.

a. Para convertir litros por segundo a metros cúbicos por hora, debes multiplicar los litros por segundo por 3,6.

Ejemplo: Se requiere convertir 50 litros por segundo a metros cúbicos por hora:

$$50 \text{ L/s} \times 3.6 = 180 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por lo tanto, 50 litros por segundo son equivalentes a 180 metros cúbicos por hora.

Para obtener volumen se toma 180  $m^3/h$  se multiplica por las horas trabajadas.

Formula:  $m^3/h \times \text{horas trabajadas}$

Ejemplo:  $180 \text{ m}^3/h \times 12 \text{ Horas} = 2.160 \text{ m}^3 \text{ día}$

a. Obteniendo  $2.160 \text{ m}^3 \text{ día}$  se divide por el Área Regada

Para calcular el área regada:  $N^\circ \text{ surcos} \times \text{longitud de surco} \times \text{distancia entre surco} / 10.000 \text{ m}^2$  (10.000  $m^2$  equivale a 1 hectárea).

Ejemplo:  $50 \text{ surcos} \times \text{Long surco} (150 \text{ m}) \times \text{distancia de surco} (1.65 \text{ m})$  dividido de  $10.000 \text{ m}^2$

Área: 1.23 ha

2160 m<sup>3</sup> día / 1.23 ha

Se obtiene 1756 m<sup>3</sup> x ha

El análisis de la información se realizó por medio de estadística descriptiva a través del programa de Excel, donde se tomaron 20 repeticiones por tratamiento para su respectivo análisis. El diseño estadístico fue bloques completos al azar BCAA.

-Metodología Objetivo 3: La estimación de los costos del consumo promedio en m<sup>3</sup> del total del área regada por día (hectárea) se realiza con la información de la siguiente tabla:

**Tabla 3.**

*Calculo de Costos por Hectárea en Riego Gravedad*

Sistema de riego gravedad	T1: Riego Convencional	T2: Riego VRC abertura a 25 cm	T3: Riego VRC abertura a 50 cm
fuelle (I/s)	30	38	50
Fuelle (m <sup>3</sup> /h)	108	136.8	180
Horas trabajadas	12	12	12
Total, m <sup>3</sup> día	1296	1641.6	2160
Consumo promedio m <sup>3</sup> x ha	1440	1253	1102
Reducción del caudal total, área regada día	0	187	338
(Eficiencia por ha)	0.90	1.31	1.96
Costo promedio por ha	640000	640000	640000
Costo riego por día	711111	488550	326531

**Fuente.** Autoría propia.

Según Cenicaña (2014) en su estudio Control Administrativo de Riego (CAR) “para planificar el riego en una unidad productiva, debe determinarse la provisión de agua en términos de un caudal, donde es necesario estimar los caudales montados en cada set de riego”. Además menciona que “se estima que un operario de riego por gravedad puede manejar un caudal entre 60 I/s y 100 I/S, cuando se tiene un canal abierto construido sobre suelo limpio en la cabecera de cada campo (Acequia regadora).”(Cenicaña, 2014)

### **Números de Operarios de Riego**

El número de operarios que se requiere para riego en un predio, de acuerdo con la cantidad de agua disponible, se calcula como la relación entre el caudal captado en la fuente y el caudal de manejo por operario de riego de la siguiente forma:

$$\text{Nr: } Q_{fd} / Q_{mr}$$

En el caso de una unidad productiva, donde el caudal entregado en la fuente 140 I/s y el caudal de manejo del operario es de 70 I/s se obtiene el número de operarios requeridos, es decir;  $140/70$  Nr: 2 operarios de riego.

### ***Área Regada por Día y por Operario***

En una jornada laboral de 8 h, puede regar 1.2 ha y 2 ha. Cuando la jornada es de 10 h, este valor se multiplica por  $10/8$  y si es de 12 h, por  $12/8$  es decir

$$1.2 \text{ ha} * (10/8) = 1.5 \text{ ha}$$

$$1.2 \text{ ha} * (12/8) = 1.8 \text{ ha}$$

Para estimar en estos dos métodos convencional vs Ventana reguladora de caudal VRC la operación del riego, se evaluó la eficiencia de riego con respecto a los indicadores principales: consumo de agua, tiempo empleado, área regada por día y costo promedio riego por gravedad (operarios, horas bombeo, maquinaria).

## Resultados

La caracterización del proceso de implementación de la ventana reguladora de caudal (VRC) obtuvo la siguiente información:

Forma trapezoidal con ventana con un área de  $25 \text{ cm}^2$  y  $50 \text{ cm}^2$ , elaborada a partir de materiales reciclables (Lámina galvanizada<sup>2</sup>), teniendo las siguientes características morfológicas:

B=Base de la lámina (13 cm)

Z= Talud horizontal Vertical (17 cm)

E= Talud Vertical (16.5 cm)

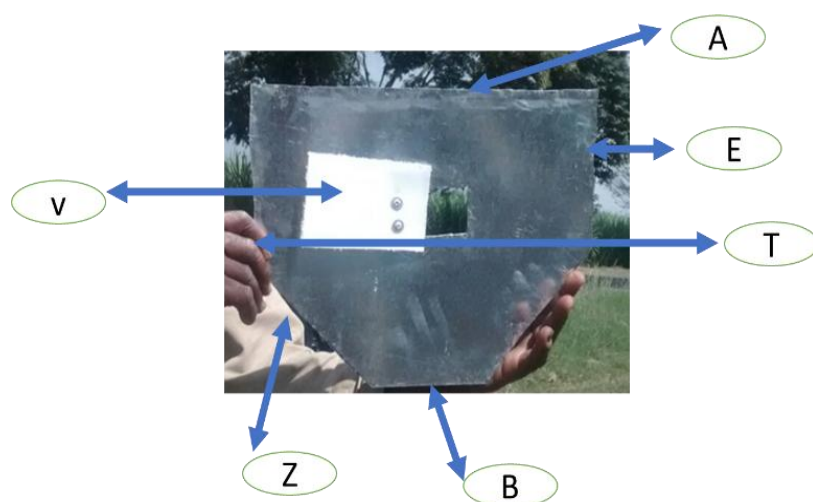
A=ancho de Lámina superior (36.5 cm)

T= Espejo de Agua y Profundidad (14.5 cm)

V= Ventana Reguladora (10 cms ancho x 5 cms de alto)

### Figura 1.

*Características Morfológicas de la Lámina*



**Fuente.** Autoría propia

<sup>2</sup> La lámina galvanizada está recubierta de Zinc para prolongar la vida útil del producto y prevenir la corrosión. Cuenta con mayor reflexión al calor y apariencia estética, ideal para la construcción de naves industriales, silos, graneros, entre muchas otras aplicaciones de la agricultura.

**Figura 2.***Instalación VRC*

**Fuente.** Autoría propia.

Para el proceso de instalación se construyó un canal abierto en el suelo y se ubicó la lámina VRC en la cabecera del lote a regar, la profundidad requerida para su buen funcionamiento la es de (14.5 cm).

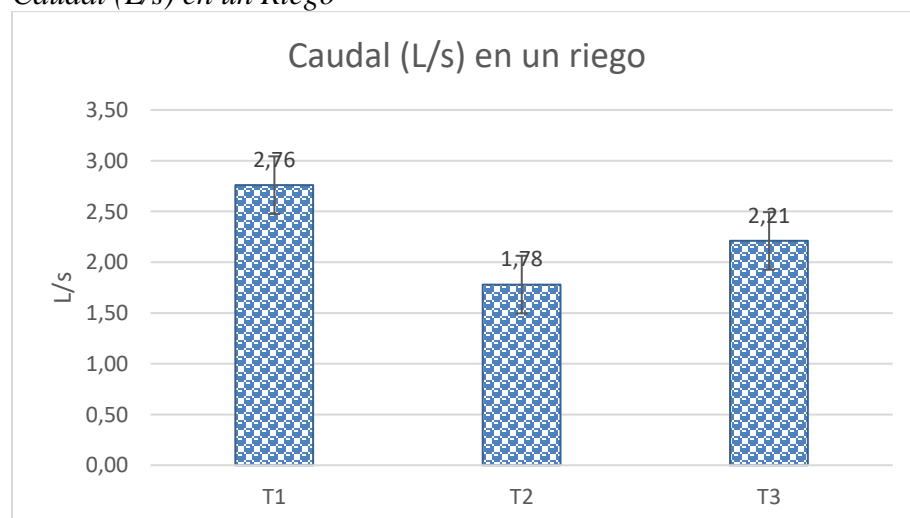
En el mismo canal se construyeron trinchos con el fin de elevar el nivel del agua, la cual, por medio de boquetes o sets de riego, es vertida en la parte alta de los surcos, desde allí avanza por acción de la gravedad hasta el extremo final de dichos surcos, la cantidad de surcos o láminas a instalar es de acuerdo con el aforo de la fuente del agua realizado en el sitio a regar.

**Tabla 4***Cálculo de la Reducción de Caudal*

Sistema de riego gravedad	T1: Riego Convencional	T2: Riego VRC abertura a 25 cm	T3: Riego VRC abertura a 50 cm
fuelle (l/s)	30	38	50
Fuelle (m <sup>3</sup> /h	108	136.8	180
Horas trabajadas	12	12	12
Total, m <sup>3</sup> día	1296	1641.6	2160
Consumo promedio m <sup>3</sup> x ha	1440	1253	1102
Reducción del caudal	0	187	338

**Fuente.** Autoría propia.

Al comparar los valores de los tratamientos (promedios estadísticos) se pudo observar que T1 con 1440 m<sup>3</sup>/ha, comparado con T2 1253 con una reducción de 187 m<sup>3</sup>/ha y el T3 1102 m<sup>3</sup>/ha con una reducción de 338 m<sup>3</sup>/ha, donde se observa un potencial de disminución de volumen de agua del 31%, en la Abertura máxima de la lámina a 50cm<sup>2</sup>. (T3).

**Gráfico 1***Caudal (L/s) en un Riego***Nota.** El gráfico presenta una comparación del caudal, es decir, la cantidad de agua que fluye por

segundo, en tres diferentes momentos o etapas de un riego, denominados T1, T2 y T3. *Fuente.* Autoría propia.

**Mayor caudal en T1:** La etapa T1 es la que presenta el mayor caudal, con un valor de 2.76 litros por segundo. Esto indica que en esta fase se aplicó una mayor cantidad de agua por unidad de tiempo.

**Disminución en T2:** En la etapa T2, el caudal disminuye a 1.78 litros por segundo, lo que sugiere una reducción en la cantidad de agua suministrada al cultivo.

**Aumento moderado en T3:** En la etapa T3, se observa un ligero aumento en el caudal, alcanzando los 2.21 litros por segundo. Esto podría indicar un incremento en la demanda hídrica del cultivo en esta fase, aunque menor que en T1.

Del gráfico 1 es posible interpretar que:

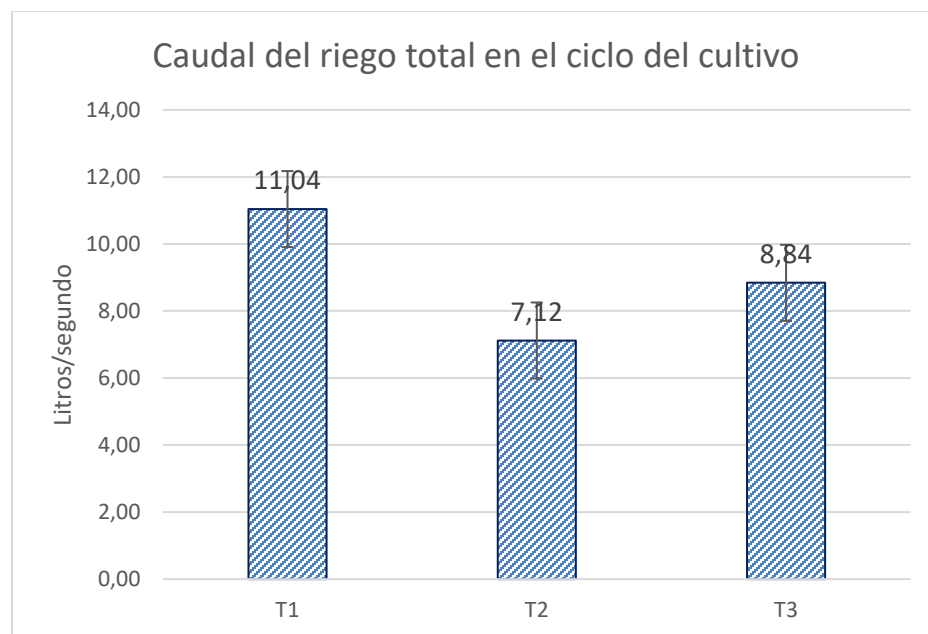
Las diferentes etapas (T1, T2 y T3) corresponden a distintos momentos del ciclo de vida de la planta, donde la necesidad de agua varía. Por ejemplo, T1 es una etapa inicial de crecimiento vigoroso, mientras que T2 representa una fase de menor demanda hídrica.

Los cambios en el caudal podrían reflejar diferentes estrategias de riego implementadas en cada etapa. Por ejemplo, en T1 se aplicó un riego abundante para favorecer el establecimiento de la planta, mientras que en T2 se redujo el riego.

Las variaciones en el caudal también pueden estar influenciadas por factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar, que afectan la evapotranspiración y, por lo tanto, la demanda de agua del cultivo.

## Gráfico 2

### Caudal del Riego Total en el Ciclo del Cultivo



**Nota.** El gráfico muestra la cantidad de agua utilizada para riego en tres diferentes momentos o etapas del ciclo de cultivo, denominados T1, T2 y T3. El eje vertical representa el caudal de riego medido en litros por segundo, mientras que el eje horizontal muestra las diferentes etapas del cultivo. **Fuente.** Autoría propia.

Del gráfico 2 es posible interpretar que:

**Mayor demanda de agua en T1:** La etapa T1 es la que requiere mayor cantidad de agua para el riego, con un caudal de 11.04 litros por segundo. Esto sugiere que esta etapa podría corresponder a una fase de crecimiento inicial del cultivo, donde la demanda hídrica es más elevada.

**Disminución en T2:** En la etapa T2, el caudal de riego disminuye a 7.12 litros por segundo. Esto indica que la necesidad de agua del cultivo se reduce en esta fase, posiblemente debido a cambios fisiológicos de la planta o a condiciones climáticas más favorables.

**Aumento moderado en T3:** En la etapa T3, se observa un ligero aumento en el caudal de riego, alcanzando los 8.84 litros por segundo. Esto indica una nueva fase de crecimiento o desarrollo del cultivo, donde la demanda de agua vuelve a incrementarse, aunque en menor medida que en T1.

## Discusión

La implementación de la ventana reguladora de caudal (VRC) representa un avance significativo en la gestión del agua para el riego agrícola, especialmente en suelos como el franco arenoso. La caracterización del proceso muestra que la VRC, con dimensiones específicas y construida con materiales reciclables, está diseñada para optimizar el flujo de agua en función de las necesidades hídricas de los cultivos.

El diseño trapezoidal de la VRC, con áreas de 25 cm<sup>2</sup> y 50 cm<sup>2</sup>, y su instalación en un canal abierto, permite regular el caudal de agua eficientemente. La profundidad de 14.5 cm es crítica para asegurar un buen funcionamiento, maximizando el uso del agua. La construcción de trinchos en el canal ayuda a elevar el nivel del agua, favoreciendo la distribución uniforme en los surcos.

Los resultados obtenidos de los tratamientos (T1, T2 y T3) indican una clara relación entre la regulación del caudal y el uso eficiente del agua. T1, con un caudal de 2.76 litros por segundo, muestra que, durante la fase inicial del ciclo de vida de la planta, se requiere un riego más abundante para facilitar el establecimiento. Este enfoque es crucial, ya que una adecuada cantidad de agua en las etapas iniciales promueve un crecimiento vigoroso y reduce el estrés hídrico. La reducción observada en T2, con un caudal de 1.78 litros por segundo, sugiere un ajuste estratégico del riego. Disminuir el suministro de agua en esta etapa puede prevenir problemas de encharcamiento, que pueden afectar negativamente el desarrollo radicular y la salud general de las plantas. Es fundamental que los agricultores comprendan la importancia de adaptar el riego a las diferentes etapas del ciclo de vida del cultivo.

Por último, el ligero aumento en el caudal en T3 (2.21 litros por segundo) podría interpretarse como una respuesta a un incremento en la demanda hídrica del cultivo a medida que avanza su desarrollo. Este ajuste dinámico es esencial para garantizar que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua a lo largo de su ciclo de crecimiento, lo que también se refleja en la reducción del volumen de agua utilizado por hectárea en comparación con métodos tradicionales.

Los resultados sugieren un potencial de disminución del 31% en el volumen de agua aplicado, lo que no solo implica un ahorro significativo en recursos hídricos, sino que también contribuye a una producción agrícola más sostenible. La capacidad de adaptar el riego a las necesidades específicas de los cultivos puede mejorar la eficiencia en el uso del agua, un aspecto crítico en contextos donde la escasez hídrica es un desafío constante.

Además, el uso de materiales reciclables en la construcción de la VRC subraya la importancia de adoptar prácticas sostenibles en la agricultura. Este enfoque no solo reduce costos, sino que también promueve un manejo responsable de los recursos, alineándose con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad en la agroindustria.

## Conclusiones

La implementación de la ventana reguladora de caudal (VRC) en canales abiertos para el cultivo de caña de azúcar permite una regulación más precisa del flujo de agua, lo que resulta en una reducción efectiva del caudal en suelos franco arenosos, optimizando así el uso del recurso hídrico.

Al comparar los costos operativos del riego por gravedad utilizando la VRC con el método convencional de canal abierto, se puede concluir que la VRC no solo mejora la eficiencia hídrica, sino que también puede contribuir a una reducción significativa en los costos asociados al riego, haciendo el proceso más sostenible económicamente.

La caracterización del proceso de implementación de la VRC sugiere que este sistema no solo facilita un manejo más eficiente del agua en la agricultura, sino que también promueve prácticas más sostenibles en el cultivo de caña de azúcar, favoreciendo tanto el rendimiento agrícola como la conservación del medio ambiente.

La caracterización y los resultados del uso de la ventana reguladora de caudal evidencian la importancia de un enfoque integral en la gestión del riego. Adaptar las estrategias de riego a las necesidades específicas de las plantas en diferentes etapas de su ciclo de vida, junto con la implementación de tecnologías que optimicen el uso del agua, puede resultar en un impacto positivo tanto en la productividad agrícola como en la sostenibilidad del recurso hídrico. Para el futuro, es esencial fomentar la capacitación de los agricultores en la utilización de estas tecnologías y en la adaptación de prácticas de riego que maximicen la eficiencia y reduzcan el desperdicio.

### Referencias Bibliográficas

- Ayala-Osorio, G. (2019). *El monocultivo de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca (Valle del Cauca, Colombia): un enclave que desnaturaliza la vida ecosistémica*. Fórum. Revista Departamento de Ciencia Política, (15), 37–66.  
<https://doi.org/10.15446/frdcp.n15.72452>
- Agua.org.mx, (s.f) *Agua en el planeta*. <https://agua.org.mx/en-el-planeta/#usos-del-agua>
- Cruz, R. (2015). *Manejo del riego en campos con residuos de cosecha*.  
[https://www.cenicana.org/pdf\\_privado/serie\\_divulgativa/sd\\_08/sd\\_08.pdf](https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_divulgativa/sd_08/sd_08.pdf)
- Centro de Investigaciones de la Caña de Colombia -Cenicaña (2014) *Control Administrativo del Riego (CAR) Guía Metodológica*. <https://www.cenicana.org/control-administrativo-del-riego-car-guia-metodologica/>
- Cassalet, C., Isaacs, C., Torres, J (1995). *El cultivo de la Caña en la zona azucarera de Colombia*.[https://www.cenicana.org/pdf\\_privado/documentos\\_no\\_seriados/libro\\_el\\_cultivo\\_cana/libro\\_p3-394.pdf](https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p3-394.pdf)
- Hargreaves, G. H., & Merkle, G. P. (2000). *Fundamentos del riego: un texto de tecnología aplicada para la enseñanza del riego a nivel intermedio*. Water Resources Publications, LLC.
- Martínez, L. (2001). *Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado*. Gobierno Regional de Atacama. Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Huasco, Chile: Vallenar.  
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/e03131c5-4bc0-4dcc-9d82-145085c70fd3/content>
- Ramírez, E. (2010) *Riego por gravedad*. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Riego->

por-gravedad.pdf

Gonzales, F., Playán, E. (1994) *Riego por superficie*. <https://digital.csic.es/handle/10261/18632>

Rivera, O. (2014). *Déficit de agua en el departamento del Valle del Cauca. Desde abajo*.

<https://www.desdeabajo.info/ediciones/edicion-n-229/item/deficit-de-agua-en-el-departamento-del-valle-del-cauca.html/>

Torres, J. (1995). *Riegos*. Cenicana. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*, Cali. P 193-210.

[https://www.cenicana.org/pdf\\_privado/documentos\\_no\\_seriados/libro\\_el\\_cultivo\\_cana/libro\\_p193-210.pdf](https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p193-210.pdf)

Vásquez, F. (1999). *Eficiencia de aplicación en el riego por surcos abiertos al emplear dos pendientes*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/29>