

**Contribución al análisis de la dinámica del agua en el suelo en un sistema de cultivo  
de caña de azúcar en el Valle del Cauca**

Jennifer Eliana Chamorro Barahona

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente- ECAPMA

Programa de Agronomía

Palmira

2022

**Contribución al análisis de la dinámica del agua en el suelo en un sistema de cultivo  
de caña de azúcar en el Valle del Cauca**

Jennifer Eliana Chamorro Barahona

Trabajo para optar al título de Agrónomo

Director:

Milton Cesar Ararat Orozco

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente- ECAPMA

Programa de Agronomía

Palmira

2022

**Página de Aceptación**

---

Milton Cesar Ararat Orozco

Director Trabajo de Grado

---

Jurado

---

Jurado

2022

### **Dedicatoria**

Quisiera dedicar este proyecto aplicado a Dios ya que me concedió el regalo de la vida y la oportunidad de realizar mi sueño ser profesional, desempeñarme y conocer más a fondo sobre los procesos investigativos, además de darme la fuerza para soportar los momentos más difíciles en mi vida.

Dedico este trabajo también a mis padres Álvaro José Chamorro y a mi madre Jenny Edith Barahona, ya que me apoyaron y me motivaron a ser una mujer independiente y profesional los amo con todo mi corazón.

También quiero dedicar este trabajo a mi pareja porque es una persona muy importante en mi vida y a mis demás familiares, tutores compañeros y amigos ya que sus consejos y motivación también han hecho de mi lo que soy hoy en día.

## Resumen

En el Valle geográfico del río Cauca se están presentando problemas de drenaje ocasionados principalmente por la mala distribución de las precipitaciones en el tiempo y el riego durante el verano, por lo cual el nivel freático se eleva, causando problemas por exceso de humedad, falta de aireación y en áreas salinas, el ascenso de las sales por la capilaridad.

Lo anterior asociado con el uso, manejo del suelo de las aguas de riego y sumado a la ausencia o deficiencia del sistema de drenaje adecuado, incide una baja capacidad productiva de los suelos, por lo cual es necesario identificar y analizar los factores que causan o agudizan los problemas del drenaje agrícola (Marino et., al 2016).

El presente estudio busca analizar la conductividad hidráulica y nivel freático del suelo en un sistema de cultivo de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

**Palabras clave:** Conductividad hidráulica, drenaje, suelo agrícola, caña de azúcar.

### **Abstract**

In the geographical valley of the Cauca river there are drainage problems caused mainly by the poor distribution of rainfall over time and irrigation during the summer, for which the water table rises, causing problems due to excess humidity, lack of aeration and in saline areas, the rise of sales by capillarity.

The foregoing associated with the use, soil management of irrigation waters and added to the absence or deficiency of the adequate drainage system, affects a low productive capacity of the soils, for which it is necessary to identify and analyze the factors that cause or exacerbate the problems of agricultural drainage (Marino et., al 2016).

The present study seeks to analyze the hydraulic conductivity and the groundwater level in a sugarcane cultivation system in Valle del Cauca.

**Keywords:** Hydraulic conductivity, drainage, agricultural soil, sugar cane.

## Contenido

Dedicatoria .....	4
Resumen .....	5
Abstract .....	6
Lista de figuras .....	8
Lista de anexos .....	9
Introducción .....	10
Problema.....	11
Justificación.....	12
Objetivos .....	13
Marco teórico .....	14
Metodología .....	18
Conclusiones .....	30
Recomendaciones.....	31
Referencias bibliográficas .....	32
Anexos.....	36

**Lista de figuras**

Figura 1.	Mapa del municipio de Tuluá .....	18
Figura 2.	Escorrentía en las diferentes zonas de estudio. ....	22
Figura 3.	Escorrentía en la Zona 5 (Zausal- Mallorca y Zuluaga). ....	23
Figura 4.	Escorrentía en la Zona 3 Ballesteros. ....	23
Figura 5.	Escorrentía en la Zona 4 Mallorca. ....	24
Figura 6.	Escorrentía en la Zona 7 (Esmeralda). ....	25
Figura 7.	Nivel freático en los meses observados de 2015 hasta 2016. ....	26
Figura 8.	Nivel freático en varios pozos 2015. ....	26
Figura 9.	Nivel freático en varios pozos 2016. ....	27
Figura 10.	Valores de conductividad hidráulica. ....	28

**Lista de anexos**

Anexo A. Tabla interpretación de conductividad hidráulica.....	36
Anexo B. Nivel freático año 2015.....	36
Anexo C. Nivel freático año 2016.....	37

## Introducción

El drenaje agrícola consiste en la eliminación de los excesos de agua tanto del perfil del suelo como de la superficie del terreno, con el objeto de mantener las condiciones de aireación y actividad biológica en el suelo que garanticen una buena producción de los cultivos (Gómez, 1995). En este tipo de estudios, se requiere implementar una serie de requisitos, análisis y evaluaciones en campo para discutir las diferencias entre zonas como lo menciona Ararat et al (2014), es decir, garantizar acceso para el muestreo e información o registros históricos por parte del productor (diferentes tipos de manejo agronómico del cultivo, datos de productividad y clima).

En el Valle Geográfico del río Cauca se están presentando problemas de drenaje ocasionados principalmente por la mala distribución de las precipitaciones en el tiempo y el riego durante el verano, por lo cual el nivel freático se eleva, causando problemas por exceso de humedad, falta de aireación y en áreas salinas, el ascenso de las sales por capilaridad.

Lo anterior asociado con el uso, manejo de suelos, aguas de riego y sumado a la ausencia o deficiencia de sistemas de drenaje adecuados, incide en una baja capacidad productiva de los suelos, por lo cual se hace necesario identificar y analizar todos los factores que causan o agudizan los problemas de drenaje agrícola, teniendo relación con lo reportado por Sanclemente et al (2015), en la cual menciona que es indispensable el manejo edáfico para la productividad de sistemas de cultivos cuando las alternativas tecnológicas son viable la favor de la sustentabilidad del sector.

En el presente estudio se busca contribuir a la información técnica en un área de 2300 hectáreas de varios sectores del Ingenio San Carlos. Este ejercicio académico hace parte del “Semillero de Investigación en Producción Agropecuaria Sostenible (SIPAS)” que corresponde al grupo de investigación “Producción Sostenible” de la Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA.

## **Problema**

### **Descripción del problema**

Bajo las condiciones de producción de sistemas de cultivos industriales como es el caso de la caña de azúcar en el Valle Geográfico del río Cauca, se presentan procesos naturales de degradación del suelo como también algunas labores agrícolas que pueden generar salinidad en los suelos; para este caso, en la zona centro del departamento del Valle (municipio de Tuluá) existen unas características naturales del suelo como es la alta saturación de magnesio intercambiable que puede generar problemas fisiológicos al cultivo sin embargo, el principal problema se asocia al manejo de la dinámica del agua en el suelo. Esto obedece a la implementación de estudios de propiedades físicas que son indispensables para la toma de decisiones en los planes del manejo agronómico del cultivo.

### **Planteamiento del problema**

Considerando las relaciones entre las propiedades físicas y químicas del suelo, se pueden presentar limitaciones en el desarrollo fisiológico del cultivo por la alta saturación de magnesio intercambiable, la alta densidad aparente y la baja conductividad hidráulica; por tanto, ¿Es indispensable para procesos de conservación y manejo de labores del cultivo (fertilización y riego) complementar la información de campo con otros parámetros asociados a la dinámica del agua determinada a través de escurrentía, nivel freático?

### **Sistematización del problema**

A través de los registros históricos del clima (datos de lluvias en un periodo de dos años), análisis físicos del suelo y los respectivos muestreos para las determinaciones de la dinámica en el agua, se realizaron de forma estadística las interpretaciones y las relaciones conceptuales.

### **Justificación**

Hoy la industria azucarera colombiana es uno de los complejos productivos de mayor influencia en el desarrollo económico y social de la región y de Colombia (Ripoll, 2019). Las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2015).

Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Gavilanes et al., 2014).

Finalmente, la producción de caña puede disminuir hasta en 40% como consecuencia de los excesos de humedad que ocurren durante la cosecha en los sitios donde la maquinaria que se emplea afecta las cepas y produce compactación al suelo (CENICAÑA, 2015). En consecuencia, la evaluación de parámetros del suelo como la humedad y la oferta hídrica, contribuyen a la sustentabilidad del sector de la caña de azúcar según Sanclemente & Ararat (2015).

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar los resultados de escorrentía, nivel freático y conductividad hidráulica en suelos de un sistema de cultivo de caña de azúcar en el municipio de Tuluá en el Valle del Cauca.

### **Objetivos específicos**

Relacionar los valores de escorrentía y nivel freático en cada una de las zonas evaluadas con registros históricos de precipitación.

Establecer la tendencia de conductividad hidráulica en diferentes fincas a partir de análisis descriptivo de los datos.

## **Marco teórico**

### **Características edáficas en el Valle del Cauca**

Los suelos del Valle del Cauca, Colombia, se caracterizan por poseer una alta fertilidad natural que junto al relieve plano y el clima cálido han permitido en esta zona el desarrollo de un 60% de la agroindustria azucarera (Carbonell et al., 2001). No obstante, según varios autores citados por (Madero et al., 2011) el uso intensivo de estos suelos y las constantes prácticas de laboreo bajo condiciones de alta humedad ocasionan problemas de degradación física reflejados en la estabilidad estructural, la organización del espacio poroso y la densidad en la capa arable, características que pueden limitar en las plantas la utilización de agua y nutrientes del suelo, también originar cambios en el régimen de humedad, la fertilidad y la eficiencia del riego.

La susceptibilidad de estos suelos a la degradación se debe a que el incremento en la intensidad de las labores de labranza convencional expone la materia orgánica a una mayor descomposición, rompe los agregados del suelo (Lal, 1976) y disminuye su macroporosidad (Wagger y Denton, 1989). Una reducción del carbono orgánico (CO) por debajo de los límites críticos además de acelerar la degradación de la estructura del suelo, incrementa la densidad aparente, disminuye la agregación y la capacidad de retención de humedad (Fageria, 2012) e impacta negativamente la producción de los cultivos (Fuentes et al., 2009). (Salamanca & Amézquita, 2015).

### **Escorrentía**

Linsley et al. (1979), expresan que la escorrentía es el volumen de agua que avanza sobre la de la tierra hasta alcanzar cualquier depresión que pueda transportar una pequeña corriente de agua en flujo turbulento durante una lluvia y durante un periodo corto después de su terminación;

la cantidad de escorrentía superficial depende en gran medida de la intensidad de la lluvia la cual debe ser mayor que la capacidad de infiltración del suelo.

La transformación de la precipitación en escorrentía puede tener lugar por saturación del suelo (desde abajo) o por déficit de infiltración en la superficie. El primer mecanismo suele ser más frecuente en zonas húmedas y el segundo, en regiones secas (Puigdefabregas et al., 1998).

El Valle del Cauca está localizado dentro de la zona de influencia de la convergencia intertropical. Como consecuencia de esto presenta dos estaciones secas y dos lluviosas. Los períodos secos ocurren de mediados de diciembre a mediados de marzo y entre junio y septiembre, siendo julio y agosto los más secos. Los períodos húmedos se presentan de mediados de marzo a mayo y de octubre a mediados de diciembre, siendo octubre y noviembre los meses más lluviosos (Häggström, 1989)

### **Nivel freático en el suelo**

El nivel freático es el nivel por debajo del cual el suelo y las rocas están permanentemente mojados o saturados. La profundidad del nivel freático bajo la superficie del terreno suele variar, elevándose y reduciéndose en función de las precipitaciones estacionales o el caudal de agua extraído por las personas para el consumo o el regadío. El agua que se encuentra por debajo del nivel freático se denomina agua subterránea (Ramsar, 2014).

En el cultivo se puede determinar el grado de drenaje requerido y el tipo de drenaje que será instalado. La susceptibilidad al exceso de humedad depende también de la fase de desarrollo del cultivo; la mayoría de los cultivos son más susceptibles durante la germinación, durante el primer mes de su ciclo y durante la fase reproductora (Ortegón, 2004).

En la caña de azúcar los niveles freáticos superficiales y encharcamientos de la superficie del terreno, agudizan el riesgo de compactación del suelo y daños en las cepas durante la cosecha

retraso o imposibilidad de realizar labores mecanizadas en la próxima soca, lo que inciden la disminución apreciable de la producción en la siguiente cosecha.

Ensayos realizados por CENICAÑA mostraron que en los suelos del Valle del Cauca producciones de caña de azúcar no se afectan sustancialmente con niveles freáticos a profundidades de 1 metro (Ortegón, 2004). También se ha encontrado que, en el Valle del Cauca, durante el período de macollamiento de la planta (2 a 4 meses) se puede usar un valor  $K = 0.3$ . y durante en el período de rápido crecimiento (4 a 10 meses) este valor puede ser  $K=0.7$ . En este último período, el valor de  $K$  se puede reducir a 0.5 cuando el nivel freático es alto (entre 1.0 y 1.2 m) para compensar, de esta forma, el aporte del agua capilar. Durante el período de maduración de la caña se recomienda suprimir los riegos (Aguas et al., 2004).

### **Conductividad hidráulica del suelo**

La conductividad hidráulica es una propiedad fundamental de los suelos, que determina su participación en el ciclo hidrológico. Condiciona, por un lado, la humedad disponible para las raíces. Por otro lado, determina, la capacidad cantidad de escorrentía que se produce y por lo tanto tiene mucho que ver con la susceptibilidad del suelo a la erosión y con las exportaciones de sedimentos en eventos de precipitación (Forsee, 2007).

Los cultivos que no toleran saturación permanente soportan periodos cortos de saturación continua sin que se afecte la producción en forma significativa, uno o hasta dos días en la mayoría de los casos y según la especie, tiempo después del cual debe removerse el exceso de humedad de la zona de raíces.

La anterior discusión sugiere que siendo la conductividad hidráulica mayor en condiciones de saturación y por consiguiente mayor también el caudal de drenaje, el flujo saturado reviste la mayor importancia desde el punto de vista cuantitativo en la solución del problema de drenaje, no obstante, no puede desconocerse que el drenaje es simplemente la ocupación por aire de parte del

espacio poroso del suelo ocupado antes por agua y que por consiguiente durante el mismo proceso de remoción de excesos de humedad los espacios porosos que van quedando libres de agua van siendo ocupados por aire, con lo cual se cambia la primera fase de flujo saturado a una segunda fase de conjugación de flujo saturado en profundidades del suelo donde los espacios porosos completamente ocupados por agua, con flujo no saturado en aquellas profundidades perfil en las cuales parte del espacio poroso ha sido ocupado por aire.

Esta situación crea condición de flujo inestable la cual introduce gran complejidad en la formulación de soluciones al problema de drenaje (Forero, 2000).

Las funciones de pedotransferencia se basan en que las propiedades hidráulicas están en función de la textura del suelo y de otras características disponibles como la distribución del tamaño de partículas, densidad aparente y/o contenido de materia orgánica (Bouma y Van Lanen, 1987). Por ejemplo, los suelos de textura fina suelen tener características diferentes de retención de agua y muy baja conductividad hidráulica saturada comparados con los suelos de textura gruesa (Schaap, 1999).

Según algunos autores como Reichart consideran que la conductividad hidráulica es afectada por la textura del suelo, siendo mayor en suelos altamente porosos, fracturados o agregados y menor en suelos densos y compactados.

### **Densidad aparente del suelo**

La densidad de un material que se define como el peso que tiene dicho material, por unidad de volumen. En el suelo, por ser éste un cuerpo poroso, se presentan dos situaciones diferentes con respecto a la densidad: si se considera la masa de las partículas sólidas, únicamente, se tiene la densidad real, pero si, aparte de la masa de las partículas, se tiene en cuenta su organización, entonces se tiene la densidad aparente (Jaramillo, 2002).

Por otra parte, la densidad aparente se ha utilizado para caracterizar la condición de la

estructura del suelo y como indicadora de la compactación de este (Gabriels y Lobo, 2011).

En suelos arcillosos compactados el sistema de preparación mediante labranza profunda tiende a disminuir la densidad aparente y la resistencia a la penetración (Amezquita et al., 1998).

### **Textura del suelo**

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Berrocal, 2011).

Estudios realizados en CENICAÑA se determinó que, en su mayoría, los suelos presentan texturas entre media y fina, su estructura es en forma de bloques subangulares y rangos estrechos de agua aprovechable que corresponden a una capacidad de retención de humedad aprovechable que varía entre 1 y 2 milímetros de agua por cada centímetro de profundidad en el perfil del suelo (Aguas et al., 2004).

### **Metodología**

#### **Figura 1.**

*Mapa del municipio de Tuluá*



Nota. El área de estudio corresponde al muestro de diferentes fincas del Ingenio San Carlos S.A, ubicado en el municipio de Tuluá, al norte del departamento del Valle del Cauca.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Tulu%C3%A1>

### **Obtención de datos**

A partir de los registros históricos y estudios detallados de suelos de algunas fincas del Ingenio San Carlos en las diferentes zonas las cuales son: Zona 5 (Zausal - Mallorca Zuluaga), Zona 4 (Mallorca), Zona 7 (Esmeralda), Zona 3 (Ballesteros) con los respectivos pozos los cuales fueron: (SZ) Pozo1, (SZ) Pozo2, (SZ) Pozo3, (SZ) Pozo4, (SZ) Pozo7, (SZ) Pozo 8, (SZ) Pozo 10, (MZ-MA) Pozo 14, (MA) Pozo 18, (MA) Pozo 23, (MA) Pozo 24, (MA) Pozo 27, (MA) Pozo 29, (MA) Pozo 33, (MA) Pozo 34, (MA) Pozo 35, (ES) Pozo 42, (ES) Pozo 46A, (BA) Pozo 47, (BA) Pozo 55, (BA) Pozo 56. A través de la red de pluviómetros del ingenio San Carlos se obtuvieron los valores de precipitación anual (lluvias).

### **Calculo caudal de escorrentía**

El caudal de escorrentía producto del presente estudio, utilizando un pluviómetro para cada zona se determina mediante la siguiente formula:

$$Q = CA^{5/6} \text{ (Metodo del S.C.S)}$$

$$C = 4.573 + 0.162 E/2$$

$$E = (Pc - 0.25)^2 / Pc + 0.85$$

$$S = (25400/CN) - 254$$

Donde:

Q= Caudal a evaluar (l/s)

A= Área (has)

C= Coeficiente de drenaje

Pc= Precipitación crítica

E= Escorrentía

S= Infiltración potencial (depende del suelo, de su capacidad de almacenamiento)

CN= Numero de la curva (depende de la condición y clase hidrológica del suelo, del cultivo y grado de cobertura)

Se registraron tres valores de escorrentía a través del tiempo (24, 48 y 72 horas).

### **Nivel Freático**

En cada uno de los sitios donde se describió el perfil del suelo, se instalaron 233 baterías de piezómetros o pozos de observación de nivel freático, para analizar el comportamiento de nivel freático. La instalación de baterías piezométricas es muy importante.

Como piezómetros se utilizaron tubos de PVC de ½ pulgada de diámetro, instalados a 0.50, 1.05 metros de profundidad y pozos de observación a 2, 00 metros de profundidad. Las lecturas del nivel freático se efectuaron durante el periodo comprendido entre el 13 de mayo de 2015 y 30 de mayo de 2016 utilizando para su medición una cinta métrica.

### **Cálculo de la conductividad hidráulica**

$$K = C \Delta Y / \Delta t$$

Donde:

K, conductividad hidráulica (m/día).

$\Delta Y =$  Elevación de la lamina de agua en el sondeo durante la experiencia (cm)

$$= \Sigma Y_t = Y' 0 - Y' N = Y_0 - Y_n$$

$\Delta t,$  = Tiempo transcurrido

Durante la realización de la experiencia (Segundos) =  $t_n - t_0$

C, Coeficiente (adimensional).

### **Recolección de datos**

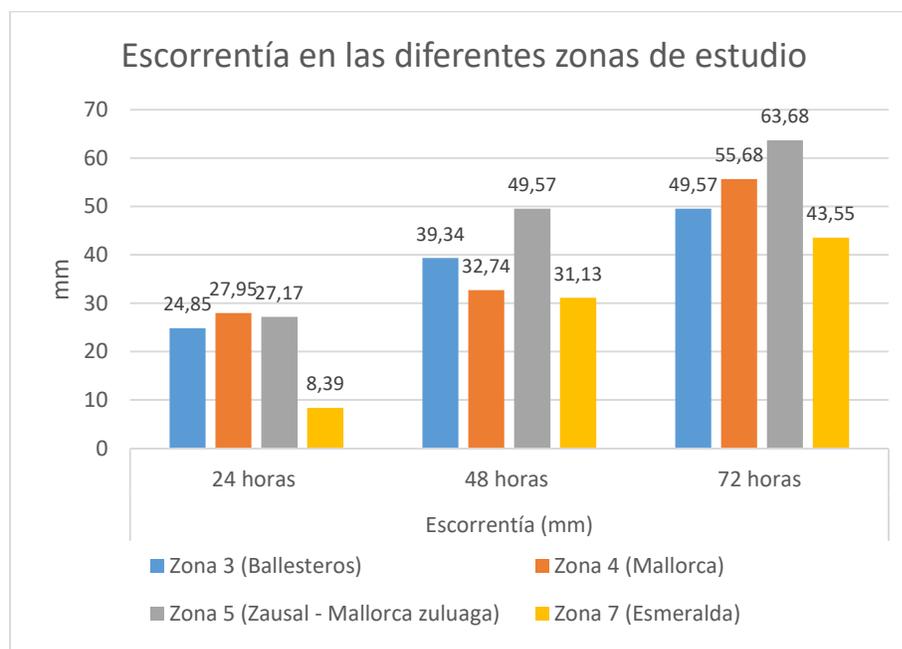
Las estimaciones de tendencia a través de graficas o tablas se realizaron a partir de estadística descriptiva (Media, mediana, moda) y las respectivas correlaciones de Pearson. Los estudios de drenaje agrícola han servido para recopilar y organizar la información básica en cada finca estudiada con los promedios de escorrentía, nivel freático y conductividad hidráulica, ilustrada a través de graficas; en la siguiente figura se muestra la escorrentía en las diferentes zonas de estudio.

### **Análisis de escorrentía**

En términos generales, las tendencias crecientes en la precipitación mensual y total anual surgen en el centro y norte del Valle del Cauca, donde en el mes de marzo las tendencias lineales son crecientes por lo tanto las lluvias aumentan. En agosto hay una evidencia de disminución de lluvias de 2,20 mm, mientras que las tendencias negativas se presentan en el sur del Valle y el Norte del Cauca. Los aumentos de lluvia se presentan en la zona norte del Valle, y la zona donde se presentan tendencias de disminución de lluvias es el sur del Valle y Norte del Cauca (Castro y Escobar, 2013).

**Figura 2.**

*Escorrentía en las diferentes zonas de estudio.*



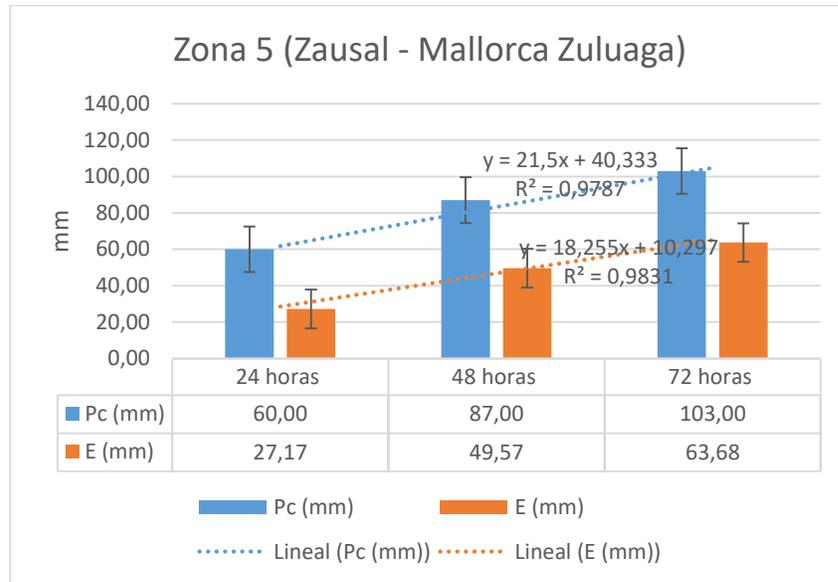
Según la figura 2, en el primer momento de medición de 24 horas se muestra que la zona 7 (Esmeralda) presentó los valores más bajos de escorrentía (8,39 mm); las otras zonas (3, 4 y 5) muestran valores superiores a 24 mm.

En el segundo momento de medición (48 horas), la zona 7 (Esmeralda) sigue con la misma tendencia de menor valor junto con la zona 4 (Mallorca) con registros máximos de 32 mm.

Para el tercer momento de medición (72 horas) los mayores registros de escorrentía se detectaron en la zona 5 (Zausal-Mallorca Zuluaga) con valores superiores a 63 mm. De forma contraria la zona 7 continuó siendo el menor valor de escorrentía

**Figura 3.**

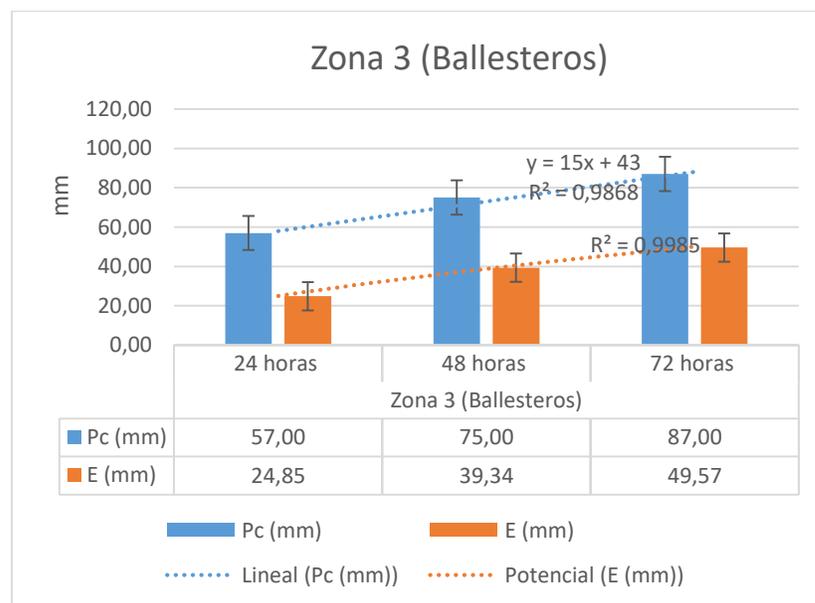
*Escorrentía en la Zona 5 (Zausal- Mallorca y Zuluaga).*



En la figura 3, se describe la finca con los mayores registros de escorrentía y precipitación crítica (Pc) en función del tiempo (horas), presentando un R<sup>2</sup> de 0.98 y 0.97 respectivamente.

**Figura 4.**

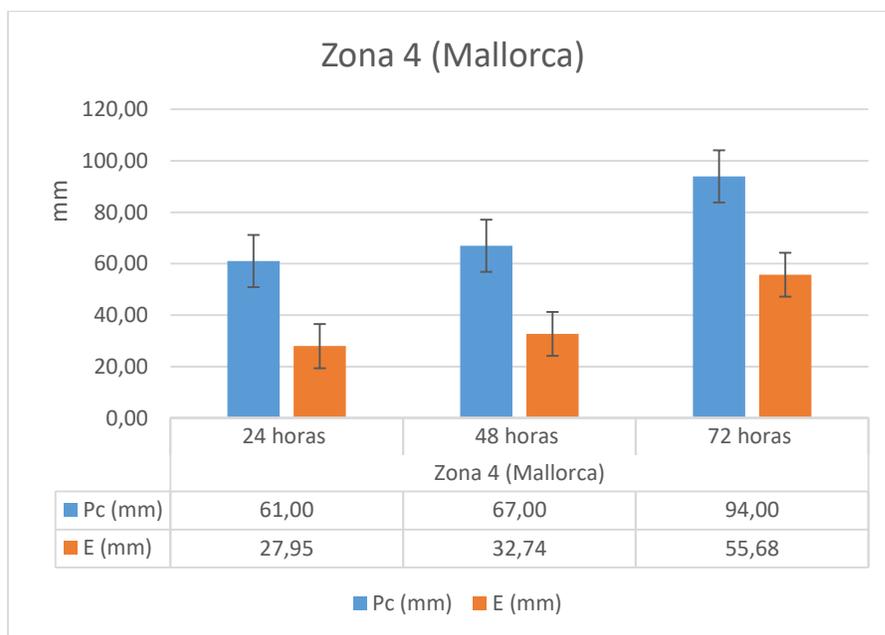
*Escorrentía en la Zona 3 Ballesteros.*



En la figura número 4 se describe la zona 3 (Ballesteros) en el primer momento de medición de 24 horas con el valor más bajo de escorrentía con 24,85 mm y el valor más alto se obtuvo en el tercer momento de 72 horas con 49,57 mm.

### Figura 5.

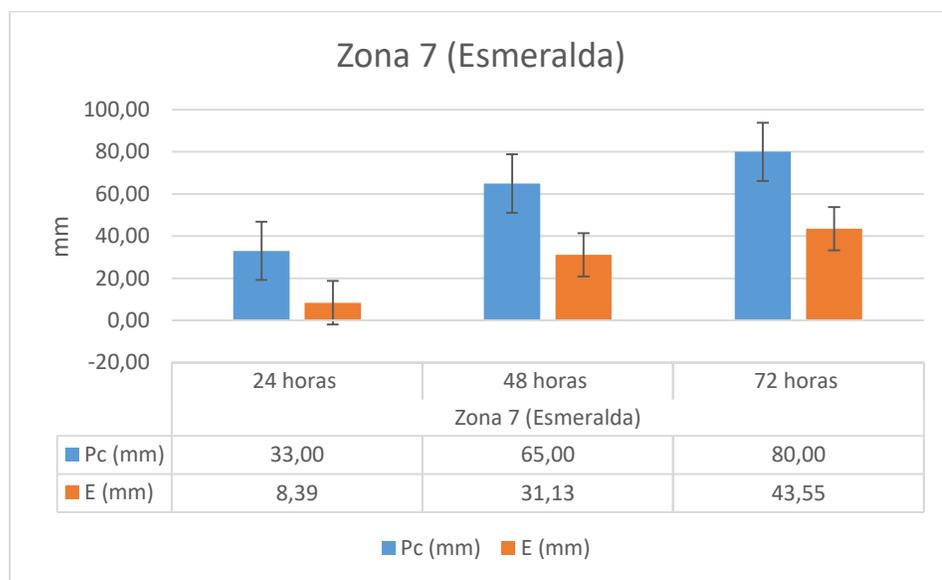
*Escorrentía en la Zona 4 Mallorca.*



En la figura 5 se indica que la zona cuatro (Mallorca) sigue con la misma tendencia de escorrentía sin embargo sus valores en 24 horas es de 27.95 mm y a las 72 horas es de 55.68 mm siendo más altos que la zona 3 (Ballesteros).

**Figura 6.**

*Escorrentía en la Zona 7 (Esmeralda).*



En la figura 6 se muestra el valor más bajo de escorrentía en la zona 7 (Esmeralda) en comparación con las demás zonas (3,4 y 5) en el momento de medición de 24 horas y muestra valores superiores de 30 mm en precipitación crítica.

**Análisis de nivel freático.**

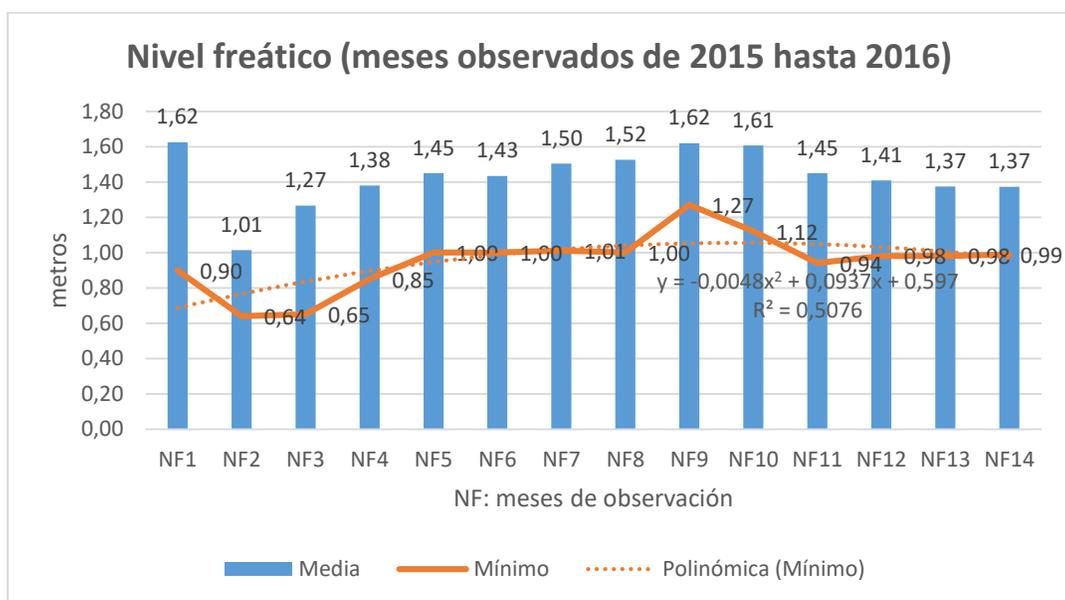
Estudios realizados por CENICAÑA demuestran que en el valle geográfico es común encontrar niveles freáticos superficiales que pueden suministrar hasta 60% de los requerimientos de agua. En el campo es posible controlar la posición del nivel freático entre 1.0 y 1.2 m, sin reducir la producción de caña. Estudios en zonas con nivel freático alto, indican que es posible reducir el valor de K de 0.7 a 0,5 en el período de rápido crecimiento del cultivo, debido al aporte de agua de subirrigación a partir del nivel freático (Agua et al, 2004).

Según la figura 7, se identifica una ecuación de tipo polinómico con un  $R^2$  de 0,50 proporcionando altos y bajos valores que fluctúan en el tiempo para todas las zonas estudiadas. En

NF1 correspondiente al mes de mayo de 2015, NF9 y NF10 del año 2016 presentaron los mayores registros con más de 1,6 m.

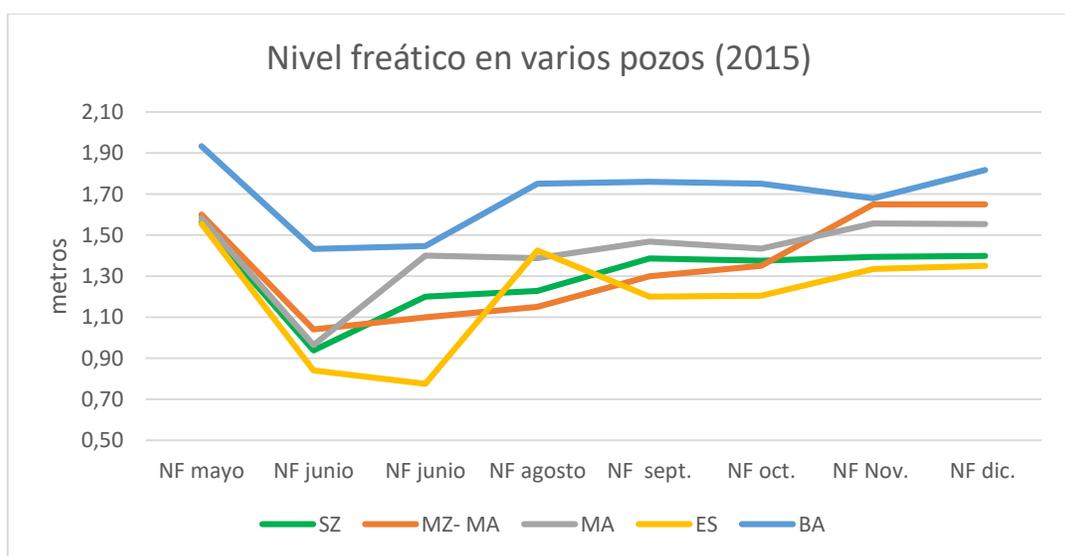
### Figura 7.

*Nivel freático en los meses observados de 2015 hasta 2016.*



### Figura 8.

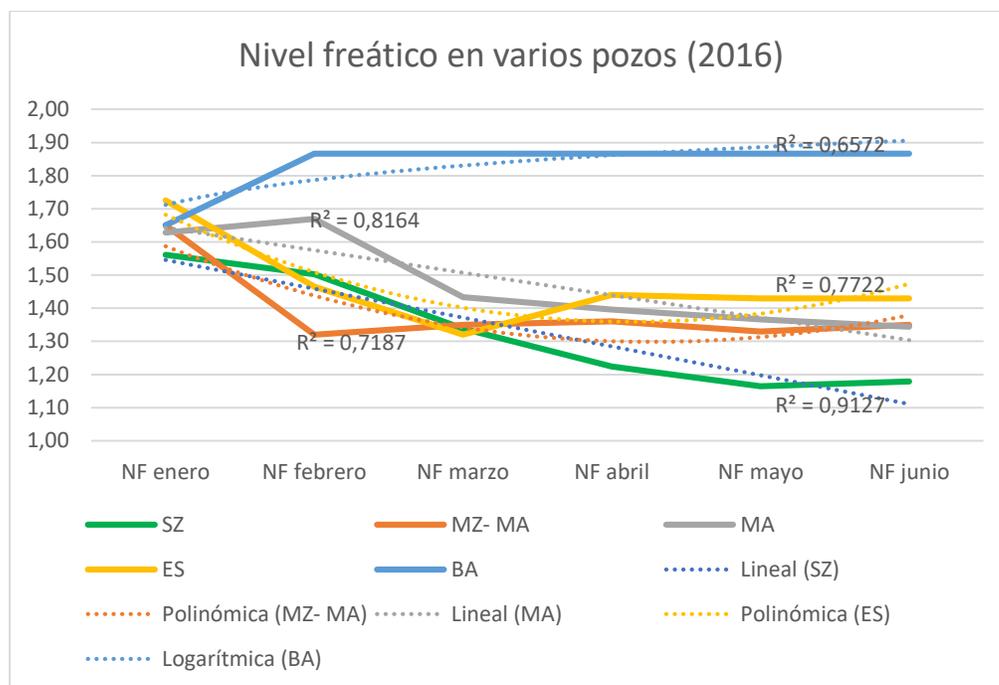
*Nivel freático en varios pozos 2015.*



En la figura 9 se identifica el nivel freático en el primer año de observación (2015), registrando los mayores valores para la finca Ballesteros (zona 3) y los menores valores para la finca Esmeralda (zona 7).

### Figura 9.

*Nivel freático en varios pozos 2016.*



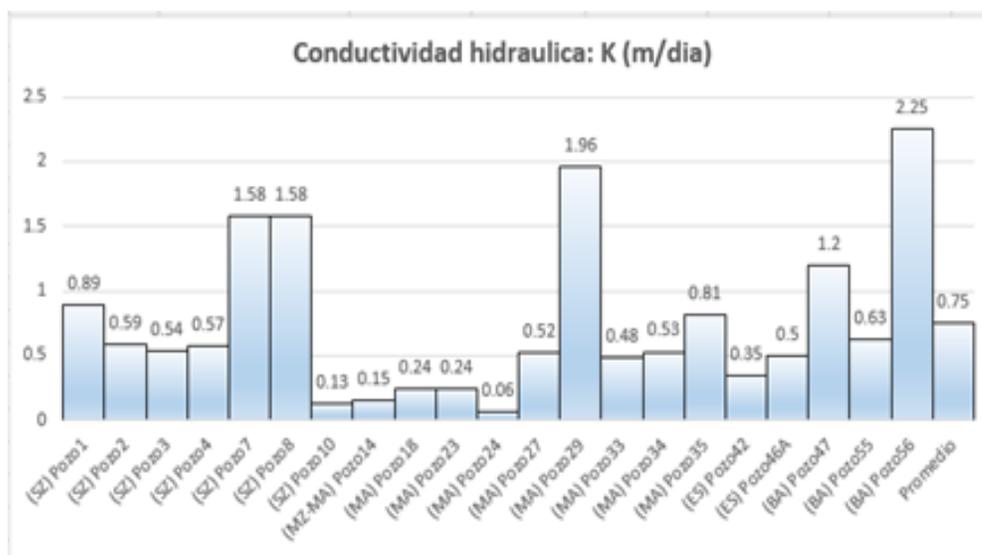
Para el 2016, la zona tres Ballesteros continúan con los mayores valores con una tendencia al aumento, pero se estabiliza a partir del mes de febrero. Por el contrario las demás zonas disminuyeron sus respectivos valores de nivel freático.

Estos datos requieren estudios posteriores que puedan verificar las recargas de agua y confirmar el direccionamiento de estas a través de isoclinas de elevación expresada en unidades de medida geopotenciales.

## Análisis de Conductividad hidráulica

**Figura 10.**

*Valores de conductividad hidráulica*



En la anterior grafica se encuentran los valores de conductividad hidráulica en los pozos donde se llevó a cabo el estudio. El valor más alto de conductividad hidráulica es en el pozo número 56 de la finca Ballesteros (BA) con 2.25 m/día lo que quiere decir que la conductividad hidráulica es moderadamente rápida y el pozo de menor valor es el número 24 de la finca Mallorca (MA) con 0.06 m/día la cual presenta la conductividad hidráulica lenta.

Según Ararat (2004), la determinación de la conductividad hidráulica en las características físicas de suelos de un vertisol de Palmira (Valle del Cauca), presentó una clasificación moderadamente rápida en los primeros 20 cm de profundidad con valores de 8.5 m / día; esta comparación puede evidenciar una muy baja velocidad del agua en los suelos de la finca Ballesteros (BA), considerando también los altos valores de densidad aparente y de arcillas registrados en la tabla 1, en los cuales se puede asociar procesos de degradación como la compactación.

**Tabla 1***Densidad aparente en suelos del ingenio San Carlos*

Finca	Da g.cm-3	Textura
Ballesteros	1,27	F- Ar
Argelia Mallorca	1,25	F- Ar
Zuluaga	1,28	F- Ar
Sauzal	1,29	F- Ar

**Fuente:** Elaboración propia

### **Conclusiones**

El mayor riesgo de erosión se encuentra en la zona 5 (Zausal- Mallorca Zuluaga) que presento 63.68 mm en el momento de 72 horas.

Es posible concluir que en los meses de observación del presente estudio se registraron niveles freáticos entre 1.0 y 1.2 m de profundidad lo cual es adecuado para el desarrollo y producción del cultivo de caña de azúcar.

El valor de conductividad hidráulica se puede reducir a 0.5 en los meses de observación donde se registraron valores altos (entre 1.0 y 1.2 m).

### **Recomendaciones**

Es importante hacer evaluaciones periódicas de los sistemas de drenaje establecidos para verificar su eficiencia y realizar los ajustes necesarios para obtener una mayor productividad y por lo tanto una mayor rentabilidad y competitividad.

Se recomienda continuar con los estudios edáficos con el fin de conocer el estado de los suelos con limitaciones en drenaje interno y tomar los correctivos necesarios.

### Referencias bibliográficas

- Amézquita Collazos, E., Camacho, P., & Ruiz, H. (1998). Efecto de cuatro sistemas de labranza sobre la densidad aparente, la infiltración y la productividad de un suelo degradado en el Valle del Cauca.
- Ararat, M. C., Sinisterra C. L., & Hernández C. (2014). Valoraciones agronómicas y de rendimiento en la cosecha de “papa china” (*Colocasia esculenta* L.) en el trópico húmedo colombiano. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 5(2), 169–180.  
<https://doi.org/10.22490/21456453.1335>
- Aguas, J. S. T., Valderrama, R. C., & Trujillo, F. V. (2004). Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar (No. 04; FOLLETO, 3854.). Cenicaña.
- Bosch Mayol, M., Costa, J. L., Cabria, F. N., & Aparicio, V. C. (2012). Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. *Ciencia del suelo*, 30(2), 95-105.
- Berrocal Nieto, S. G. (2011). Relación de las propiedades fisicoquímicos de los suelos con la productividad de látex de clones de hevea *Brasilensis* muell arg. en las provincias de Tahuamanu, Tambopata-Madre de Dios.
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2014). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Presidencia de la Nación, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.
- Castellanos, J. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas*. Ed. Intagri. Celaya, Gto. México. 186 p.
- Castro-Llanos, D. A. y Carvajal-Escobar, Y. (2013). Análisis de tendencia en la precipitación pluvial anual y mensual en el departamento del Valle del Cauca. *Memorias*, 11(20), 9-18.

- Cárdenas coronel, H. E. (1987). Relación precipitación-escorrentía en el proceso erosivo en diferentes usos del suelo en la microcuenca de las quebradas El Pugro y Saguachi. Casa Editorial El Tiempo. (1995, 25 noviembre). TIERRAS AFECTADAS POR NIVEL FREÁTICO. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-469941>
- CENICANA (2015). Drenaje De Suelos Cultivados Con Caña De Azúcar. <https://www.cenicana.org/drenaje-de-suelos-cultivados-con-cana-de-azucar/>
- Chirinos, I., & Mattiazzo, M. (2004). Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados en función de la concentración de sodio presente en residuo agroindustrial. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(1).
- Echeverría, M. T. R. (2019). El Desarrollo De La Industria Azucarera En El Valle Del Cauca, Colombia, 1901-2015. *Economía & Región*, 13(1), 87-143.
- FAO; Asociación para un mejor manejo de la tierra. Hidrología, arquitectura del suelo y movimiento del agua; FAO, Roma 2005
- FORSEE, I. E. P. (2007). INFORME REGIONAL FORSEE.
- Gabriels, D., & Lobo, D. (2011). Métodos Para Determinar Granulometría Y Densidad Aparente Del Suelo. *Venesuelos*, 14(1), 37-48.
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., & Marlats, R. M. (2007). Relación precipitación-escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del Sistema Serrano de La Ventana, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 39(1), 21-28.
- Gavilanes, I., Paredes, C., & Perez, A. (2014). Oportunidades y desafíos de la gestión de residuos orgánicos procedentes del sector agroindustrial en América del Sur: Provincia de Chimborazo (ECUADOR)[Tesis de Maestría, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Maestría. Escuela Politécnica Superior de Orihuela-UMH, Master Universitario de

- Investigaciones en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos. España, 28, 1-81.
- Hägström, M., Lindström, G., Sandoval, L. A., & Vega, M. E. (1989). Aplicación del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
- Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria (2001). Dinámica Del Agua En El Suelo. Recuperado De <https://Inta.Gob.Ar/Servicios/Conservacion-De-Suelos.-Dinamica-Del-Agua-En-El-Suelo.-Caracterizacion-Fisica-Del-Suelo>
- Jaramillo Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.
- López Astudillo, A., Rodríguez, L. M., Lubo, C. M., Abadía López, J., Orozco, O. A., Sandoval, J. S., & Arenas, F. (2018). Evaluación de las emisiones de GEI por fertilización del cultivo de caña de azúcar, desde un enfoque en dinámica de sistemas. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), 3-17.
- Lozano, J., Madero, E., Tafur, H., Herrera, O., & Amézquita, E. (2005). La conductividad hidráulica del suelo estudiada en el Valle del Cauca con el nuevo indicador del USDA. *Acta Agronómica*, 54(3), 11-18.
- Madero E., Peña M., Escobar B., Garcia L. F. (2012). Compactación Potencial En Dos Suelos De La Parte Plana Del Valle Del Cauca. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169924335004.pdf>
- Osorio, N. W. (2012). Ph Del Suelo Y Disponibilidad De Nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo Y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4.
- Ortegón, A. (2004). Metodología para la realización de estudios de drenaje a nivel predial. *Revista Palmas*, 25(especial,), 126-136.
- 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 & Sociedade*, 14(2), 153-178.

Ripoll M, 2014. "El desarrollo de la industria azucarera en el Valle del Cauca, Colombia, 1901 - 2015," *Revista Economía y Region*, Universidad Tecnológica de Bolívar, vol. 13(1), pages 87-143, June.

Resultados De Traducción Actas De Ciencias Naturales, Matica Srpska Novi Sad, № 104, 11-21, 2003.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce De León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas Del Suelo*. Universidad De La República: Facultad De Agronomía. Montevideo, Uruguay.

RAMSAR. (2014). *Reposición de aguas subterráneas*. 1-2.

Salamanca, A., & Amézquita, E. (2015). Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. *RIAA*, 6(1), 43-52.

Sancllemente O. E., Ararát M. C., & De la cruz C. A. (2015). Contribución de *Vigna unguiculata* L. a la sustentabilidad de sistemas de cultivo de caña de azúcar. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 6(2), 47–56. <https://doi.org/10.22490/21456453.1404>

## Anexos

### Anexo A. Tabla interpretación de conductividad hidráulica.

Conductividad hidráulica cm hora -1	m día -1	Interpretación
< 0.1	< 0.03	Muy lenta
0.1 - 0.5	0.03 - 0.12	Lenta
0.5 - 1.6	0.12 - 0.38	Moderadamente lenta
1.6 - 5.0	0.38 - 1.20	Moderada
5.0 -12.0	1.20 - 2.90	Moderadamente rápida
12.0 - 18.0	2.90 - 4.30	Rápida
>18.0	>4.30	Muy rápida

**Fuente:** Elaboración propia

### Anexo B. Nivel freático año 2015

NF año 2015

Hacienda	NF mayo	NF junio	NF junio	NF agosto	NF sept.	NF oct.	NF Nov.	NF dic.
SZ	<u>1,56</u>	<u>0,94</u>	<u>1,20</u>	<u>1,23</u>	<u>1,39</u>	<u>1,38</u>	<u>1,39</u>	<u>1,40</u>
MZ- MA	1,60	1,04	1,10	1,15	1,30	1,35	1,65	1,65
MA	<b><u>1,58</u></b>	<b><u>0,96</u></b>	<b><u>1,40</u></b>	<b><u>1,39</u></b>	<b><u>1,47</u></b>	<b><u>1,43</u></b>	<b><u>1,56</u></b>	<b><u>1,55</u></b>
ES	1,555	0,84	0,775	1,425	1,2	1,205	1,335	1,35
BA	1,93	1,43	1,45	1,75	1,76	1,75	1,68	1,82

**Fuente:** Elaboración propia

### Anexo C. Nivel freático año 2016

NF año 2016

Hacienda	NF enero	NF febrero	NF marzo	NF abril	NF mayo	NF junio
SZ	<u>1,56</u>	<u>1,50</u>	<u>1,34</u>	<u>1,22</u>	<u>1,16</u>	<u>1,18</u>
MZ- MA	1,65	1,32	1,35	1,36	1,33	1,35
MA	<b><u>1,63</u></b>	<b><u>1,67</u></b>	<b><u>1,43</u></b>	<b><u>1,40</u></b>	<b><u>1,37</u></b>	<b><u>1,34</u></b>
ES	1,725	1,465	1,32	1,44	1,43	1,43
BA	1,65	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87

**Fuente:** Elaboración propia