



Neiva, \_\_\_\_\_ 15- OCTUBRE-2021 \_\_\_\_\_

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

LILIANA ANDREA CARANTON GARCIA, con C.C. No 1083924057 de Pitalito - Huila

JULIAN FERNANDO MOLINA GORDILLO, con C.C. No 1083911335 de Pitalito-Huila

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_ LILIANA ANDREA CARANTON GARCIA, JULIAN FERNANDO MOLINA GORDILLO \_\_

titulado IMPLEMENTACIÓN DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH* COMO TUBERÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE AGRÍCOLA EN LA USCO – PITALITO

presentado y aprobado en el año \_\_2021\_\_ como requisito para optar al título de

\_\_\_\_\_ INGENIERO AGRICOLA \_\_\_\_\_;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Liliana A. Carantón García

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** IMPLEMENTACIÓN DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH* COMO TUBERÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE AGRÍCOLA EN LA USCO – PITALITO.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
CARANTON GARCIA	LILIANA ANDREA
MOLINA GORDILLO	JULIAN FERNANDO

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MUJICA RODRÍGUEZ	EDINSON

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** INGENIERO AGRÍCOLA

**FACULTAD:** INGENIERÍA

**PROGRAMA O POSGRADO:** INGENIERÍA AGRÍCOLA

**CIUDAD:** PITALITO - HUILA    **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2021    **NÚMERO DE PÁGINAS:** 99

**TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):**

Diagramas\_\_\_ Fotografías\_X\_\_ Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general\_X\_\_ Grabados\_\_\_  
Láminas\_\_\_ Litografías\_\_\_ Mapas\_X\_\_ Música impresa\_\_\_ Planos\_X\_\_ Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_  
Tablas o Cuadros\_X\_



**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MICROSOFT WORD Y NITRO O ACROBAT READER DC.

**MATERIAL ANEXO:**

FOTOGRAFÍAS Y PLANOS.

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Drenaje agrícola	Agricultural drainage	6. Recurso renovable	Renewable resource
2. Guadua	Guadua	7. Banco de perforación	Drilling bench
3. Espaciamiento entre drenes	Spacing between drains	8. Rodal	Rodal
4. Canal colector	Collecting channel	9. Tubería de drenaje	Drain pipe
5. Material filtrante	Filter material	10. Textura arcillosa	Clay texture

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En vista de la problemática de drenaje agrícola que muestra Pitalito, se usó una nueva tecnología elaborada desde un recurso natural exuberante en la zona como es la guadua *Angustifolia Kunth*. Para ello se ha transformado la guadua en una tubería de drenaje agrícola por medio de un análisis de caracterización del material vegetal, adecuación como tubería de drenaje y diseño e instalación de un sistema de drenaje agrícola. El proceso de adecuación se inició a partir de la caracterización del rodal, donde se extrajeron las guaduas con la finalidad de cuantificar su potencial de aprovechamiento.

La guadua a emplear en tubería de drenaje agrícola, pasó por el proceso de perforación de la cavidad transversal de cada culmo, para ello, se construyó un banco de perforación de entrenudos; se cuantificaron las propiedades geométricas de la tubería, mostrando un diámetro interno promedio de 4 pulgadas aproximadamente; la zona de la guadua que presentó mayor homogeneidad es la Basa, por lo que se estableció trabajar con una longitud de 3 metros. El suelo del área de implementación, se definió como arcilloso (Ar) y consistencia friable. Para este estudio se empleó teóricamente el cultivo de Plátano (*Musa x paradisiaca*) para así cuantificar el espaciamiento de cada dren. El diseño del drenaje se estableció en parrilla con un espaciamiento entre drenes de 3 metros y pendiente del 2 y 3% que convergen a un canal colector trapecoidal. El material filtrante utilizado fue de trozos de guadua y gravilla de granulometría de 1".



**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

In view of the agricultural drainage problems in Pitalito, a new technology was used, based on a natural resource that is exuberant in the area, such as the guadua *Angustifolia* Kunth. For this purpose, the guadua has been transformed into an agricultural drainage pipe by means of a characterization analysis of the plant material, adaptation as a drainage pipe and design and installation of an agricultural drainage system. The adaptation process began with the characterization of the ground, where the guaduas were extracted in order to quantify their potential for use.

The guadua to be used in agricultural drainage pipes went through the process of perforation of the transversal cavity of each culmo, for this purpose, an internode perforation bench was built; the geometric properties of the pipe were quantified, showing an average internal diameter of approximately 4 inches; the area of the guadua that presented greater homogeneity is the Basa, so it was established to work with a length of 3 meters. The soil in the implementation area was defined as clayey (Ar) and friable consistency. For this study, the banana crop (*Musa x paradisiaca*) was used theoretically in order to quantify the spacing of each drain. The drainage design was established as a grid with a spacing between drains of 3 meters and a slope of 2 and 3% that converge to a trapezoidal collector channel. The filtering material used was pieces of guadua and gravel of 1" granulometry.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: LUIS HUBERTO MARTINEZ PALMETH

Firma:

Nombre Jurado: JUAN GONZALO ARDILA MARIN

Firma:

IMPLEMENTACIÓN DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH* COMO TUBERÍA  
PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE AGRÍCOLA EN LA USCO  
PITALITO

LILIANA ANDREA CARANTON GARCIA  
JULIAN FERNANDO MOLINA GORDILLO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
PITALITO HUILA  
AGOSTO DE 2021

IMPLEMENTACIÓN DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH* COMO TUBERÍA  
PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DRENAJE AGRÍCOLA EN LA USCO  
PITALITO

LILIANA ANDREA CARANTON GARCIA  
JULIAN FERNANDO MOLINA GORDILLO

Proyecto de grado presentado a la facultad de ingeniería como requisito parcial para optar  
al título de ingeniero agrícola

Director  
EDINSON MUJICA RODRÍGUEZ  
Magister en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
PITALITO HUILA  
AGOSTO DE 2021

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Director  
**EDISON MUJICA RODRIGUEZ**  
MSc en ingeniería agrícola y uso integral del agua

---

Firma del jurado  
**LUIS HUMBERTO MARTINEZ PALMETH**  
Doctor en diseño avanzado en ingeniería mecánica

---

Firma del jurado  
**JUAN GONZALO ARDIL MARIN**  
MSc en gestión energética industrial

## DEDICATORIA

### **LILIANA ANDREA CARANTON GARCIA**

Al todo poderoso mi Dios, por bendecirme con vida y salud, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad, por permitirme superar todos los obstáculos que se me presentaron durante este proceso académico, agradezco por regalarme la dicha de estar rodeada de amigos y compañeros valiosos, que contribuyeron en mi crecimiento como persona y futura profesional.

A mi padre Walter Carantón Ospina, por su amor, apoyo y motivación incondicional durante mi vida, por enorgullecerme con su ejemplo de padre y ser humano. A mi madre Beatriz García Medina (QEPD), porque durante su vida siempre se sacrificó por ayudar a nuestra familia a salir adelante, gracias porque en vida me brindaste las mejores armas para afrontar este camino, por su voz de aliento y esa mano que siempre está aquí para reconfortarme en los momentos de dificultad. Gracias papás, sin dudar este logro es también de ustedes y para ustedes.

A mi pareja Vicente Hernández, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, su ayuda a sido fundamental para concluir esta etapa de manera satisfactoria, por su generosidad en todo momento desde que se empezó este proyecto hasta culminarlo. Gracias por estar a mi lado en todo momento.

A mi familia paterna y materna, por brindarme su apoyo absoluto para terminar de culminar este logro, por sus llamadas y mensajes de aliento recordándome que a pesar de la distancia están conmigo en todo momento.

A mi compañero y amigo Juli, por confiar en mis capacidades y creer en mí, por su entrega, amor y dedicación a nuestro proyecto, gracias por sus palabras de ánimo cada vez que fueron necesarias.

Para todos ustedes que hicieron parte de este proceso y sé que comparten conmigo esta alegría, mil gracias.

## DIDICATORIA

### **JULIAN FERNANDO MOLINA GORDILLO**

A mi señor Dios todo poderoso, a la santísima virgen María, por el don y gracia de la vida, salud, por permitirme llegar hasta este momento tan importante y trascendental para mi vida, por la oportunidad de desarrollar este proceso rodeado de seres maravillosa como lo son mi familia, amigos y compañeros.

A mi padre Jacinto Molina, un campesino que con amor y esfuerzo me ha apoyado durante todo mi proceso de formación como persona, por su ejemplo que me enorgullece, como padre y como hombre. A mi madre Olga Gordillo por su entrega todos los días por nuestra familia, por sus horas de madrugadas y trasnochadas apoyándome, física, moral y espiritualmente, sin lugar a duda mis padres mi motor fundamental para vivir y luchar todos los días para ser una mejor persona íntegra y útil para la sociedad.

A mis hermanas, Maritza Molina Gordillo, por su ejemplo de vida, por su apoyo incondicional en los todos los momentos, por su esfuerzo de mujer influyente en el sector agrícola en un mundo donde desafortunadamente aún prevalece el machismo. A María Camila Molina Gordillo, por su solidaridad y generosidad son ejemplo para mi vida, por los momentos que nos han unido como hermanos y la empatía que siente cuando me ha pasado sucesos difíciles. A nuestro bebe José Pablo Castro Molina, a pesar de su corta edad me ha llenado de alegría es un motivo más para luchar en superarme todos los días, para poder ser un ejemplo para su vida en un futuro.

A Lili, la admiro por su talante y valentía para afrontar las pruebas que la vida le ha puesto, por aceptar trabajar juntos y hacer realidad este proyecto de grado, desde sus inicios aquel octubre del 2019 hasta hoy que lo pudimos culminar.

Para ustedes que conocen mi ser, con todo cariño.

## AGRADECIMIENTOS

### **LILIANA CARANTON Y JULIAN MOLINA**

A la Universidad Surcolombiana por hacer presencia en el municipio de Pitalito y abrirnos las puertas como nuestra alma mater, donde pudimos formarnos como profesionales íntegros con capacidades para afrontar las necesidades que vive el sector rural a nivel regional y nacional.

A nuestro Director y profesor Edison Mujica Rodríguez, por darnos la oportunidad de participar en este maravilloso proyecto, por su apoyo incondicional y su generosidad para con nosotros. A los profesores: Jhon Jairo Beltrán, por su munificencia, al colaborarnos con detalles técnicos para sortear las adversidades que se nos presentaron; Mauricio Duarte, por su apoyo para sacar adelante las tres tesis que nacieron de este proyecto así como su ayuda con la sede Pitalito; Armando Torrente, por su colaboración con los análisis de suelo y a todos nuestros maestros que durante nuestra formación nos colaboraron para escalonar y obtener conocimientos técnicos, académicos que fortalecen nuestra futura vida profesional. Al ingeniero Juan Manuel Silva por su gentileza y colaboración durante todo este tiempo de trabajo para el desarrollo y culminación del presente trabajo. A doña Berta, Pedro, Jair, Quiacha, y los amigos de la portería, personal administrativo y demás que nos acompañaron durante nuestra vida estudiantil. A ustedes señores jurados por sus previas observaciones y disposición para leer nuestro trabajo.

A nuestros compañeros y amigos: El Gordo, Alejita, Chel, Yimer, Carrillo, Yadira, Diana, Vanessa, por su compañía y solidaridad en todo este tiempo de aprendizaje.

A todos ustedes muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	OBJETIVOS.....	14
2.1.	OBJETIVO GENERAL .....	14
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
3.	MARCO CONCEPTUAL .....	15
3.1.	DRENAJE AGRÍCOLA.....	15
3.1.1.	Causas de los problemas de drenaje .....	15
3.1.2.	Nivel freático .....	16
3.1.3.	Mapas freáticos.....	17
3.1.4.	Tipos de drenes.....	17
3.1.5.	Trazado de drenaje interno .....	18
3.1.6.	Métodos para determinar el espaciamiento de drenaje.....	19
3.2.	DRENAJE SUPERFICIAL .....	21
3.2.	SUELO .....	24
3.2.1.	Morfología del suelo.....	24
3.2.2.	Propiedades físicas del suelo .....	24
3.2.3.	Propiedades hidrodinámicas del suelo.....	26
3.3.	GUADUA.....	29
3.3.1.	Morfología de la guadua <i>Angustifolia Kunth</i> .....	29
3.3.2.	Normativa de aprovechamiento de guadua .....	29
3.3.3.	Preservación de la guadua .....	30
3.3.4.	Perforación de entrenudos .....	32
3.4.	CULTIVO DE PLÁTANO.....	32
4.	METODOLOGÍA.....	34
4.1.	LOCALIZACIÓN .....	34
4.2.	RECONOCIMIENTO DEL TERRENO .....	34
4.3.	INVENTARIO FORESTAL DEL RODAL CON FINES DE APROVECHAMIENTO .....	34
4.3.1.	Tamaño de la muestra e intensidad del muestreo .....	35
4.3.2.	Variables de medición .....	36
4.4.	APROVECHAMIENTO .....	37

4.4.1	Corte .....	38
4.4.2	Tratamientos de preservación.....	38
4.4.3	Secado.....	38
4.5.	DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE BANCO DE PERFORACIÓN DE ENTRENUDOS .....	38
4.5.1	Componentes del banco de perforación.....	38
4.5.2.	Velocidad de perforación.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.6.	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA TUBERÍA.....	39
4.6.1.	Diámetro .....	39
4.6.2.	Espesor .....	40
4.6.3.	Distancia entre nudos .....	40
4.7.	ALMACENAMIENTO DE TUBERÍA .....	40
4.8.	DISEÑO DE PERFORACIÓN DE LA TUBERÍA EN GUADUA.....	41
4.8.1.	Diámetro de los orificios de las perforaciones .....	41
4.8.2.	Perforaciones perimetrales .....	42
4.8.3.	Codificación de tubería.....	43
4.9.	FREATÍMETRIA .....	44
4.10.	ESTUDIO EDAFOLÓGICO.....	44
4.10.1.	Conductividad hidráulica.....	45
4.10.2.	Infiltración .....	46
4.11.	FILTRO DE GUADUA .....	47
4.11.1.	Determinación del volumen (cm <sup>3</sup> ).....	47
4.11.2.	Porosidad del filtro (%) por el método volumétrico .....	48
4.11.3.	Determinación del volumen real (cm <sup>3</sup> ) por medición directa .....	49
4.12.	DISEÑO DE DRENAJE AGRÍCOLA.....	49
4.12.1.	Área de implementación .....	49
4.12.2.	Recolección de la información hidrometeorológica .....	50
4.12.3.	Precipitación de diseño .....	50
4.12.4.	Espaciamiento entre drenes.....	50
4.12.5.	Escorrentía y caudal a evacuar por el canal colector. ....	51
4.12.6.	Dimensionamiento del canal colector.....	52
4.12.7.	Diseño de instalación en campo.....	52
4.12.8.	Replanteo topográfico.....	53

4.12.9.	Instalación de drenaje agrícola .....	53
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
5.1.	RECONOCIMIENTO DEL TERRENO .....	55
5.2.	INVENTARIO FORESTAL DEL RODAL CON FINES DE APROVECHAMIENTO .....	56
5.2.1.	Longitud, volumen aparente y volumen neto de los culmos .....	57
5.2.2.	Plan de manejo .....	58
5.3.	BANCO DE PERFORACIÓN DE ENTRENUDOS .....	60
5.3.1.	Dimensionamiento .....	61
5.3.2.	Rompimiento de entrenudos de la guadua.....	63
5.4.	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA TUBERÍA.....	64
5.5.	FREATÍMETRIA.....	66
5.5.1.	Isobatas .....	68
5.5.2.	Isohipsas .....	69
5.6.	ESTUDIO EDAFOLÓGICO.....	70
5.6.1.	Conductividad hidráulica (K) .....	71
5.6.2.	Infiltración .....	72
5.7.	PRUEBAS DE LABORATORIO DEL FILTRO DE GUADUA.....	74
5.7.1.	Volumen del filtro .....	74
5.7.2.	Porosidad del filtro .....	75
5.8.	DISEÑO DE DRENAJE .....	75
5.8.1.	Precipitación de diseño .....	75
5.8.2.	Espaciamiento entre drenes .....	77
5.8.3.	Escorrentía y caudal a evacuar por el canal colector.....	77
5.8.4.	Dimensionamiento del canal colector.....	78
5.9.	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE .....	78
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	80
7.	BIBLIOGRAFIA .....	81
8.	ANEXOS.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de pozos de observación y piezómetros. ....	17
<b>Figura 2.</b> Trazado de sistema de drenaje internos. ....	19
<b>Figura 3.</b> Perfil de un suelo ideal. ....	24
<b>Figura 4.</b> Esquema del método de pozo invertido. ....	28
<b>Figura 5.</b> Efecto de la diferencia de niveles de agua entre ambos anillos. ....	28
<b>Figura 6.</b> Perforación de los tabiques de guadua. ....	32
<b>Figura 7.</b> Ubicación del área de estudio. ....	34
<b>Figura 8.</b> Análisis visual del estado fisiológico de la guadua <i>Angustifolia</i> Kunth. ....	36
<b>Figura 9.</b> Daños mecánicos y fisiológicos en los culmos de guadua <i>Angustifolia</i> Kunth... 37	
<b>Figura 10.</b> Medición de los espesores de la guadua <i>Angustifolia</i> Kunth. ....	40
<b>Figura 11.</b> Perforaciones perimetrales de la guadua <i>Angustifolia</i> Kunth.....	43
<b>Figura 12.</b> Codificación tubería. ....	43
<b>Figure 13.</b> Lectura calicata zona de estudio.....	44
<b>Figura 14.</b> Medición de conductividad hidráulica <i>K</i> en campo.....	46
<b>Figura 15.</b> Procedimiento para obtener volumen de los fragmentos del filtro. ....	48
<b>Figura 16.</b> Proceso de aforo del recipiente y toma de volúmenes de filtro. ....	49
<b>Figura 17.</b> Diseño de implementación de la tubería en campo.....	53
<b>Figure 18.</b> Implementación del sistema de drenaje agrícola en campo. ....	53
<b>Figura 19.</b> Sección típica de filtro en gravilla y guadua <i>Angustifolia</i> Kunth. ....	54
<b>Figura 20.</b> Junco ( <i>Scirpus lacustris</i> ), Lenteja de Agua ( <i>Lemma minor</i> ) y Escoba ( <i>Sida Rhombifolia</i> ).....	55
<b>Figura 21.</b> Gráfico del comportamiento de los DAP. ....	57
<b>Figura 22.</b> Comportamiento del DAP vs longitud del culmo. ....	57
<b>Figura 23.</b> Banco de perforación de entrenudos de la guadua <i>Angustifolia</i> Kunth. ....	62
<b>Figura 24.</b> Proceso de rompimiento del tabique transversal de la guadua <i>Angustifolia</i> Kunth. ....	63
<b>Figure 25.</b> Comportamiento del espesor de la guadua vs diámetro externo. ....	65
<b>Figura 26.</b> Comportamiento del diámetro interno vs diámetro externo. ....	65
<b>Figura 27.</b> Comportamiento del diámetro interno vs número de nudos. ....	66
<b>Figura 28.</b> Mapas de isobatas para el mes de mayo. ....	68
<b>Figura 29.</b> Mapas de isobatas para el mes de diciembre. ....	68
<b>Figure 30.</b> Mapa de isohipsas para el mes de mayo. ....	69
<b>Figure 31.</b> Mapa de isohipsas para el mes de diciembre. ....	70
<b>Figure 32.</b> Infiltración acumulada.....	73
<b>Figure 33.</b> Velocidad de infiltración.....	74
<b>Figura 34.</b> Canal colector trapezoidal.....	78
<b>Figura 35.</b> Instalación del sistema de drenaje en tubería de guadua. ....	79

## TABLAS DE IISTRACIONES

<b>Tabla 1.</b> Número de pozos recomendada por área de estudio. ....	16
<b>Tabla 2.</b> Número de curva de escorrentía según complejo hidrológico suelo – cobertura. .	22
<b>Tabla 3.</b> Clasificación hidrológica de los suelos. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Modelos de perforación de orificios. ....	41
<b>Tabla 5.</b> Análisis físicos y químicos del suelo. ....	45
<b>Tabla 6.</b> Valores estadísticos y tamaño de la muestra del inventario. ....	56
<b>Tabla 7.</b> Consolidado del inventario forestal al rodal. ....	56
<b>Tabla 8.</b> Intervalos de longitud y volúmenes de la guadua. ....	57
<b>Tabla 9.</b> Intensidad de cosecha. ....	58
<b>Tabla 10.</b> Culmos aprovechables para el área intervenida. ....	59
<b>Tabla 11.</b> Estructura después del aprovechamiento programado. ....	59
<b>Tabla 12.</b> Cantidad de culmos aprovechables luego de la cosecha. ....	60
<b>Tabla 13.</b> Descripción de los componentes del banco de perforación de entrenudos. ....	61
<b>Tabla 14.</b> Dimensiones del banco de perforación de entrenudos. ....	63
<b>Tabla 15.</b> Estadística descriptiva de espesores y diámetros internos de la guadua. ....	64
<b>Tabla 16.</b> Coordenadas planas de pozos de observación y piezómetros. ....	66
<b>Tabla 17.</b> Lecturas del mes de mayo. ....	67
<b>Tabla 18.</b> Lecturas del mes de diciembre. ....	67
<b>Tabla 19.</b> Información recolectada en campo de la inspección de la calicata. ....	70
<b>Tabla 20.</b> Resumen de los resultados de laboratorio. ....	71
<b>Tabla 21.</b> Valores de conductividad hidráulica. ....	72
<b>Tabla 22.</b> Grado de permeabilidad del suelo. ....	72
<b>Tabla 23.</b> Procesamiento de datos para el cálculo de infiltración. ....	73
<b>Tabla 24.</b> Valor de infiltración básica. ....	73
<b>Tabla 25.</b> Valores de volumen del filtro. ....	74
<b>Tabla 26.</b> Valores de volumen real y porosidad. ....	75
<b>Tabla 27.</b> Valores de tiempo de retorno y probabilidad de ocurrencia. ....	75
<b>Tabla 28.</b> Valores de distanciamiento entre drenes. ....	77
<b>Tabla 29.</b> Valores de diseño del canal colector. ....	77
<b>Tabla 30.</b> Contenido de volumen removido en el canal colector apoyado con el software civil3D. ....	78

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los problemas de mal drenaje en las zonas rurales son cada vez más frecuentes, esto debido al inadecuado manejo del agua en zonas de implementación de sistemas de riego o por eventos de precipitación extraordinarios (Llenara & López, 2017). “El mal drenaje de los suelos, tanto externo como interno, ha sido un aspecto al que históricamente no se le ha dado la importancia merecida. Por un lado, la actitud normal de los agricultores ha sido evitar utilizar aquellos suelos con problemas de drenaje, o usar cultivos de corto período de desarrollo que crezcan durante la temporada en que el problema no es evidente” (Ortega & Sagado, 2000).

En un suelo donde existe la presencia de niveles freáticos en condiciones de equilibrio, se establecen varias zonas diferenciadas por el contenido de humedad y por la energía asociada con el agua. Es necesario resaltar que los cambios en el contenido de energía del agua en el suelo son graduales y continuos en la medida que el agua pasa del medio no saturado al saturado. Existe una zona por encima del nivel freático donde el contenido de humedad está muy cercano a la saturación, pero la presión del agua es ligeramente negativa y se conoce con el nombre de franja capilar (Jorge & Torres, 2014).

Fundamentalmente existen dos tipos de drenajes agrícolas. El drenaje superficial hace mención a grandes volúmenes de agua que sobrepasan la capa vegetal del terreno causando encharcamientos o inundación, ocasionando en zonas generalmente húmedas con pendientes bajas o ya sea cuando sobrepasen los niveles naturales del drenaje en el suelo; por otro lado, se encuentran los drenajes subterráneos, internos o subsuperficial caracterizado por un manto freático cercano a la superficie del suelo, ocasionando una alta humedad en zona de desarrollo radicular del cultivo, donde se hace necesaria la implementación de: Zanjas abiertas profundas, zanjas profundas cubiertas por filtros de grava y arena, drenes topo y drenaje entubado, que es el más común en la actualidad (Llenera, 2017).

Naturalmente, factores que afectan el mal drenaje son las condiciones hidrográficas, topografía, así como el suelo, agente importante para el desarrollo del cultivo, la formación de este incide el óptimo progreso de las plantas, en los suelos arcillosos, el espesor de la franja capilar puede ser superior a un metro, mientras que en los suelos arenosos puede ser de unos pocos centímetros (Jorge & Torres, 2014). Buscando mantener un equilibrio

hidrodinámico con relación Suelo-Agua-Planta se hace necesario la implementación y diseño de sistemas de riegos y drenajes agrícolas. Generalmente en los sistemas de drenajes subsuperficial se emplean tuberías de plástico corrugado con alta frecuencia en el mercado; en muchas ocasiones para reducir costos se fabrican tubos de hormigón o tubos de cerámica (FAO, 2009). Aprovechando las propiedades geométricas de la guadua *Angustifolia Kunth*, se pueden realizar estudios que conlleven a la implementación de una tubería capaz de resolver problemas de mal drenaje; ya que en el sur del departamento del Huila se cuenta con una gran abundancia de plantaciones; como lo afirma Sánchez y Cortes (2016) ‘‘En el Huila, principalmente en la zona sur del departamento, las condiciones climáticas y geográficas son muy benéficas para los guaduales. Dadas estas características, la guadua *Angustifolia* en los últimos tiempos se ha convertido en materia prima para los pobladores de esta zona, principalmente en el municipio de Pitalito, donde gracias a esta especie de gramínea se pueden desempeñar en varias actividades económicas desde productores, comercializadores, constructores, artesanos hasta la participación industrial’’.

El suelo del municipio de Pitalito Huila, presenta seis clases (III, IV, V, VI, VII y VIII) y cuatro subclases (erosión y susceptibilidad a ella (e), exceso de humedad en el suelo (h), limitación de la zona radicular (s) y limitación por clima (c)). Por lo anterior se indica que este municipio presenta suelos con drenaje natural pobre e imperfecto siendo éste su mayor limitante; la profundidad efectiva en algunos sectores es superficial y en otros profunda, está limitada por horizontes arcillosos compactos y con presencia de sales en algunos de ellos. Estos suelos son aptos para cultivos transitorios, pero para ello deben hacerse prácticas de drenaje (POT-Pitalito, 1999).

Este proyecto de investigación tiene como objetivo transformar e implementar la guadua *Angustifolia Kunth* como tubería para el diseño y construcción de drenaje agrícola en un área experimental de la USCO-Pitalito; se tomará como referencia teórica el cultivo de Plátano *Musa × paradisiaca* para cálculos pertinentes del diseño. Así mismo, este proyecto apoyó los estudios hidráulicos asociado a la ‘‘Determinación del coeficiente de rugosidad (n de Manning) en tubería de guadua *Angustifolia* para drenaje agrícola’’ realizados por los estudiantes Jesús Carrillo y Yadira Vidal.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar la guadua *Angustifolia Kunth* como tubería para el diseño y construcción de drenaje agrícola subsuperficial en la Universidad Surcolombiana sede Pitalito.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar y transformar culmos de guadua *Angustifolia Kunth* en tubería de drenaje agrícola.
- Dimensionar y construir un banco perforador de entrenudos de la guadua *Angustifolia Kunth*.
- Diseñar e instalar un drenaje agrícola con tubería de guadua *Angustifolia Kunth*.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1. DRENAJE AGRÍCOLA

Según lo afirma (Liotta, *et al.*, 2015), la función del drenaje es eliminar el exceso de agua deprimiendo los niveles freáticos, mejorando la aireación, la exploración radicular y acceso a nutrientes. Así mismo, facilita la remoción de sales y evita la salinización de los suelos, tales condiciones mejoran y devuelven la productividad a tierras potencialmente fértiles que se encuentran marginadas.

##### 3.1.1. Causas de los problemas de drenaje

Según (Jorge & Torres, 2014) “la presencia de excesos de humedad en el suelo por periodos prolongados da origen a los problemas de drenaje agrícola que pueden tener causas diferentes; por ello, es necesario identificar en primera instancia la fuente del exceso de agua antes de proceder con el diseño de una solución de drenaje. En cualquier situación se debe prevenir que el nivel freático está cercano a la superficie del suelo y afecte negativamente el desarrollo y producción de los cultivos. Entre las causas más comunes de los problemas de excesos de humedad tenemos:

- A. Presencia de estratos impermeables:** cuando existen estratos o capas endurecidas en el subsuelo, el agua de lluvia o riego no fluye verticalmente y se pueden presentar niveles freáticos colgados. En estos casos la fuente de agua es localizada y entra al suelo por infiltración.
- B. Agua artesiana:** el agua llega a la zona de las raíces por flujo vertical de agua a presión proveniente de un acuífero confinado por un punto de fuga. En este caso, el problema está localizado.
- C. Fuentes externas de agua:** en el paisaje natural se pueden ubicar lagos, represas, reservorios, canales y ríos que aportan agua a través de flujo subterráneo lateral hacia las zonas más bajas en donde aflora el nivel freático.
- D. Baja permeabilidad:** se debe a la presencia de estratos superficiales de baja permeabilidad que no transmiten el agua de manera rápida para evitar excesos de humedad. Existen suelos que tienen altos contenidos de arcilla y estructura masiva que en épocas de lluvias permanecen saturados por periodos prolongados.

**E. Aplicación de láminas excesivas:** en este caso la ocurrencia de aguaceros muy intensos o la aplicación de riego por inundación pueden conducir al represamiento del agua debido a que se supera la capacidad natural de drenaje del suelo.

**F. Zonas planas con poca pendiente:** ocurre cuando el gradiente hidráulico dentro del suelo no es suficiente para obligar al agua a fluir hacia el nivel freático.

**G. Depresiones:** en los valles, el agua fluye hacia el sitio más bajo y muchas veces la topografía impide la salida natural del agua por gravedad”.

### 3.1.2. Nivel freático

El nivel freático (NF) se define como la superficie del agua subterránea donde la presión del agua es igual a la atmosférica ( $P_{atm} = 0$ ), y por debajo de ella se encuentra el medio saturado que está sometido al efecto de presiones positivas (Jorge & Torres, 2014). A continuación, se describe el método empleado en campo para observar el comportamiento del nivel freático.

**A. Pozos de observación:** Cruz (1995) menciona que, para conocer el nivel freático de una zona se requieren varios puntos de observación, para lo cual se deben instalar una red de pozos de observación que cubran el área. Las distribuciones de estos pozos se deben hacer de forma sistemática en cuadrícula o en áreas críticas, evitando que estén cerca de drenes, ríos, pozos de bombeo y camino o vías de tránsito. El número de pozos depende del área de intervención deseada (figura 8).

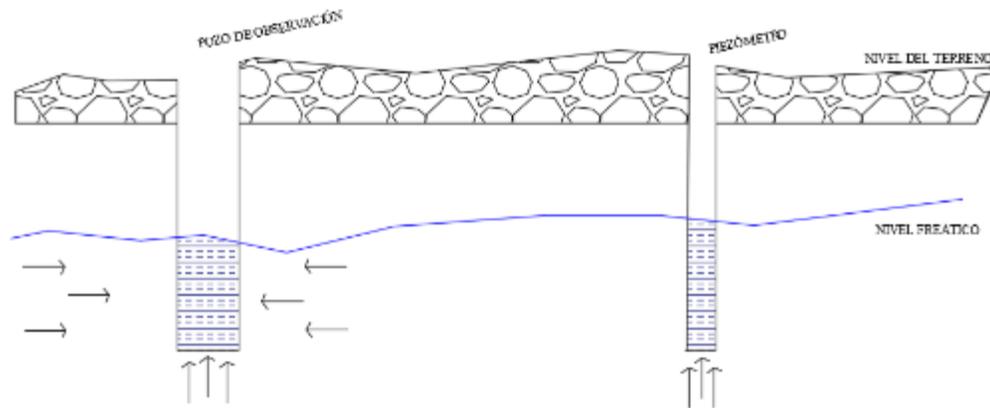
**Tabla 1.** Número de pozos recomendada por área de estudio.

Area (ha)	No. de pozos de observación
100	20
1,000	40
10,000	100

Fuente: (Cruz, 1995)

**B. Batería de Piezómetros:** Las baterías de piezómetros consisten en tubos abiertos en sus extremos, introducidos en el terreno hasta una profundidad en la que se desea determinar la carga hidráulica. El nivel de agua en el tubo corresponde a la carga hidráulica en el extremo inferior del mismo. Debe tenerse en cuenta que cuando se utilizan piezómetros en un acuífero libre, los componentes del flujo vertical son de tan poca importancia que pueden despreciarse. Esto implica que, a cualquier profundidad en un acuífero libre, la carga hidráulica

corresponde a la altura del nivel freático sin importar a qué profundidad ha penetrado el piezómetro en el acuífero (González, 2009). La figura 1, muestra la interacción entre pozos de observación y piezómetros para conformar las baterías piezométricas.



**Figura 1.** Esquema de pozos de observación y piezómetros.

### 3.1.3. Mapas freáticos

Los mapas freáticos permiten dentro del diseño de drenaje agrícola categorizar el área de implementación; entre los más destacados se tiene:

**A. Mapas de Isobatas:** según Ortegón (2004), los mapas de isobatas o curvas de igual profundidad del nivel freático son de gran importancia porque permiten delimitar las áreas que requieren drenaje, es decir aquellas zonas que permanecen afectadas por niveles freáticos superficiales durante períodos prolongados.

**B. Mapas de isohipsas:** los mapas de isohipsas o curvas de igual cota del nivel freático permiten conocer la dirección del flujo freático, su gradiente hidráulico, las zonas de recarga y de descarga del área. Las cotas del nivel freático se calculan para cada sitio restando de la cota de la superficie del terreno la profundidad del nivel freático respectivo (Ortegón, 2004).

### 3.1.4. Tipos de drenes

Para un adecuado diseño de drenaje se deben considerar que tipo de sistema de drenaje proporcionan la mejor solución; los drenes más destacados son:

**A. Drenes abiertos:** Son la solución más rústica para la evacuación de aguas, siendo sus principales ventajas, el bajo costo de construcción y fácil inspección de funcionamiento (Ortega, 1996).

**B. Dren topo:** según el glosario de la FAO, un dren topo es un canal no revestido de drenaje subterráneo que se forma introduciendo un objeto sólido, normalmente un cilindro con una punta en forma de cuña, en el suelo en la pendiente y profundidad adecuadas. Este sistema es más económico que cavar una zanja. Son galerías subterráneas de aproximadamente 7,5 cm de diámetro, construidas en el interior del suelo, rodeadas de fisuras periféricas (Gurovich, 2001).

**C. Drenes cerrados:** Consisten en una tubería de drenaje enterrada en una zanja y revestida por un material filtrante. Las tuberías de drenaje se encuentran disponibles en diversos materiales como: plástico, arcilla, hormigón (Ortega, 1996).

**A. Drenaje subterráneo:** “el drenaje subterráneo consiste en la remoción de los excesos de agua localizados por debajo de la superficie del terreno. Los drenajes abiertos o los drenes entubados sirven para profundizar los niveles freáticos alimentados por la precipitación, agua de riego, fugas de agua desde canales, ríos y por aportes de agua artesiana. La profundidad óptima del nivel freático es función de la textura, estratigrafía del perfil, tipo de cultivo y de la calidad del agua freática, en términos de los riesgos de salinización del suelo. En suelos arcillosos y, en general, de texturas finas se forma una franja capilar que puede alcanzar alturas superiores a 1 metro por encima del nivel freático (NF). En estos casos, si el agua freática es de buena calidad se puede manejar el NF como fuente de agua para subirrigación; pero si el agua freática tiene un alto contenido de sales, el NF se debe controlar a mayor profundidad para evitar riesgos de salinidad. Como regla general, el NF se debe manejar a profundidades superiores a 1,80 m en condiciones de aguas freáticas salinas” (Jorge & Torres, 2014).

### **3.1.5. Trazado de drenaje interno**

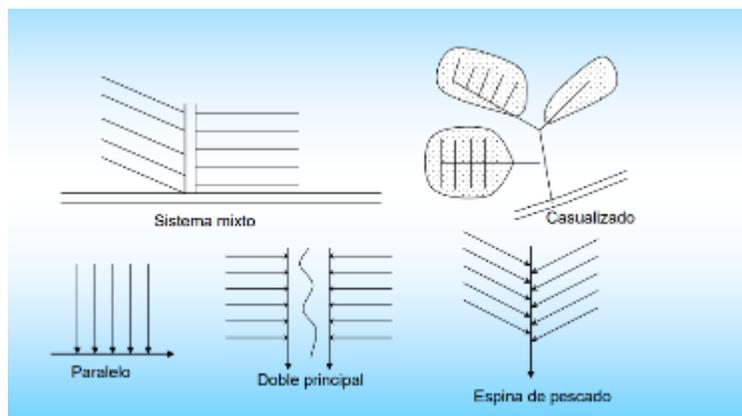
Según Jorge & Torres (2014), los arreglos geométricos más seguidos para la instalación de los sistemas de drenajes de alivio, ya sean en la forma de canales abiertos o de tubería enterrada, son:

**A. Localizados:** estos drenajes se instalan en terrenos de topografía ondulante y cuando los problemas de exceso de humedad son localizados. Se busca construir un drenaje colector común a donde se lleva el agua de los drenajes.

**B. Paralelo:** este sistema de drenaje se adapta muy bien a los terrenos planos con geometría regular y suelos de permeabilidad uniforme. En este caso, los drenajes laterales se trazan perpendiculares a los colectores.

**C. Espina de pescado:** este tipo de instalación de drenaje se acostumbra en terrenos con depresiones, donde el canal colector se instala en la dirección de la mayor pendiente y los drenajes laterales se trazan angulados para aprovechar la pendiente del terreno.

**D. Drenajes de interceptación:** este tipo de drenaje incluye los canales abiertos y los drenajes enterrados que se usan para cortar el flujo de agua proveniente de zonas más altas. En el caso de los drenajes abiertos, se deben construir a una profundidad suficiente para que intercepte el nivel freático y las aguas superficiales.



**Figura 2.** Trazado de sistema de drenaje internos.

Fuente: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Drenaje.pdf>

### 3.1.6. Métodos para determinar el espaciamiento de drenaje

Rothe a principios del siglo XX, aplicó estas ecuaciones a flujo subsuperficial hacia los drenes, deduciendo así la primera fórmula de drenaje (Santander, 2017). Se han establecido dos tipos de regímenes (permanente y variado) para determinar el espaciamiento entre drenes. A continuación, se describen los métodos para determinar el espaciamiento de drenaje.

**A. Ecuación para régimen permanente:** se ha demostrado que con la llamada ecuación de DONNAN-1946, se puede describir el flujo del agua hacia zanjas verticales, que llegan hasta una capa impermeable, basándose en las suposiciones de flujo horizontal unidimensional, es decir siendo las líneas de corriente horizontales y paralela (Takes, 1973). Los métodos más empleados son:

- **Fórmula de Donnan:** según Villón (2001), sus puntos de partida son el flujo hacia los drenes permanente, el flujo es solamente horizontal, el suelo es más o menos homogéneo en toda su profundidad hasta la capa freática, un sistema de drenaje paralelo infinito en ambas direcciones y la recarga es uniformemente distribuida.

- **Fórmula de Hooghoudt:** si las zanjas no alcanzan la capa impermeable, las líneas de corriente no son paralelas y horizontales, sino que convergen hacia el dren, es decir, el flujo es radial. En esta zona el sistema de flujo no puede simplificarse por medio de un campo de flujo formado de líneas de corriente horizontales y paralelas, sin introducir grandes errores. El flujo radial da lugar a un alargamiento de las líneas de corriente, que origina una pérdida de carga hidráulica más que proporcional, ya que la velocidad del flujo alrededor de los drenes es mayor que en cualquier otra parte de la zona de flujo (Takes, 1973). Según Villón (2005), los puntos de partida de Hooghoudt son, el flujo hacia los drenes es permanente, el flujo es horizontal y radial, el suelo está constituido por dos estratos, encontrando los drenes en la interfaz de los dos estratos y la recarga es distribuida homogéneamente.

- **Fórmula de Ernst:** para Villón, (2005), la ecuación de Ernst se utiliza en suelos con dos estratos, y ofrece una mejora sobre las fórmulas anteriores, pues el límite entre los dos estratos puede estar por encima o por debajo del nivel de los drenes. El principio fundamental de la solución de Ernst es el de considerar tres componentes en el flujo: una vertical, una horizontal y una radial. Este concepto implica que la pérdida de carga hidráulica tiene también tres componentes, los cuales pueden ser calculados separadamente, teniéndose por superposición la carga total.

**B. Ecuaciones para régimen variable:** según Takes (1973), en zonas regables y en aquellas que las precipitaciones son de gran intensidad, no se justifica la suposición de una recarga constante. Para resolver el problema del flujo en estas condiciones se deben utilizar soluciones para régimen variable. Los métodos más empleados son:

- **Ecuaciones de Glover –Dumm:** según Yousef, y colaboradores (2016), Dumm, 1954 introdujo una fórmula propuesta por Glover. Esta fórmula se basa en la solución de la ecuación del flujo de calor. En su solución, Dumm consideró la capa freática inicial como una parábola de cuarto grado en lugar de la suposición de una plana.

### 3.2. DRENAJE SUPERFICIAL

Un sistema de drenaje superficial tiene dos componentes: el primero es la red colectora y el segundo consiste en diversas prácticas de acondicionamiento superficial del terreno, con tal de facilitar el flujo del exceso de agua hacia los colectores. El primer componente, la red colectora, consistente en zanjas y tuberías, ha sido el más estudiado hasta ahora y en la actualidad existen métodos suficientemente aceptables para realizar el diseño, cálculo y cubicación respectiva. El segundo componente es más complicado puesto que depende del micro relieve del terreno y hasta ahora no existe un método suficientemente probado para permitir un diseño racional (Ortega & Sagado, 2000). Dentro de los métodos más aceptados se tiene:

**A. Precipitación de diseño:** según Villón (2006), para el cálculo de escorrentía en drenaje superficial se requiere el cálculo de precipitación máxima, para una duración conocida, lo cual es el tiempo de drenaje del cultivo. El procedimiento para calcular la precipitación de diseño es:

1. Recolectar información de precipitaciones diarias, de los años de operación de la estación.
2. Calcular las precipitaciones diarias de cada año para 1,2,3,4 y 5 días consecutivos.
3. Ordenar los datos para cada uno de los días consecutivos de mayor a menor, para obtener la probabilidad mayor o igual al evento de precipitación y determinar cada una de ellas en su periodo de retorno utilizando la fórmula de Weibull.

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

N = Años de registro

m = Número de orden

Tr = Tiempo de retorno

4. Elegir una distribución de valores extremos, por ejemplo, distribución de Gumbel.

**B. Método de la curva número:** este método desarrollado en USA por Soil Conservation Service (SCS) se basa en la precipitación y en las características físicas del área

(Jaramillo, 2013). Por otro lado, Ibañes y colaboradores (2011) señala que, utiliza como primer dato de entrada la lluvia escorrentía precipitada (I) en la zona, asumiendo por tanto que en una misma cuenca diferentes lluvias provocarán diferentes escorrentías. Lo más conveniente será considerar para la estimación aquella lluvia que genere mayor escorrentía, de ahí que se deba utilizar el tiempo de concentración (tc) como punto de entrada en las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de nuestra zona. Para obtener el valor de número de curva N se emplea las siguientes tablas.

**Tabla 2.** Número de curva de escorrentía según complejo hidrológico suelo – cobertura.

Uso de la tierra o cubierta	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Barbecho	en surcos	deficientes	77	86	91	94
Cultivos en I fases	en surcos	deficientes	72	81	88	91
	en surcos	buenas	67	78	85	89
	en fajas a nivel	deficientes	70	79	81	88
	en fajas a nivel	buenas	65	75	82	86
	en fajas a nivel & terr.	deficientes	66	74	80	82
	en fajas a nivel & terr.	buenas	62	71	78	81
Cereales	en surcos	deficientes	65	76	84	88
	en surcos	buenas	63	75	83	87
	en fajas a nivel	deficientes	63	74	82	85
	en fajas a nivel	buenas	61	73	81	84
	en fajas a nivel & terr.	deficientes	61	72	79	82
	en fajas a nivel & terr.	buenas	59	*70	78	81
Leguminosas muy densas o praderas en rotación	en surcos	deficientes	66	77	85	89
	en surcos	buenas	58	72	81	85
	en fajas a nivel	deficientes	64	75	83	85
	en fajas a nivel	buenas	55	*69	78	83
	en fajas a nivel & terr.	deficientes	63	73	80	83
	en fajas a nivel & terr.	buenas	51	67	76	80

Continuación Tabla 2. Número de curva de escurritía según complejo hidrológico suelo – cobertura.

Uso de la tierra o cubierta	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Pastos	en fajas a nivel	regulares	49	69	79	84
	en fajas a nivel	buenas	39	61	74	80
	en fajas a nivel	deficientes	47	67	81	88
	en fajas a nivel	regulares	25	59	75	83
	en fajas a nivel	buenas	6	35	70	79
Praderas (permanentes)		buenas	30	58	71	78
Bosques		deficientes	45	66	77	83
		regulares	36	60	73	79
		buenas	25	55	70	77
Granjas			59	74	82	86
Carreteras sin Afirmary			72	82	87	89
Carreteras afirmadas			74	84	90	92

Fuente: (Jaramillo, 2013)

**Tabla 3.** Clasificación hidrológica de los suelos.

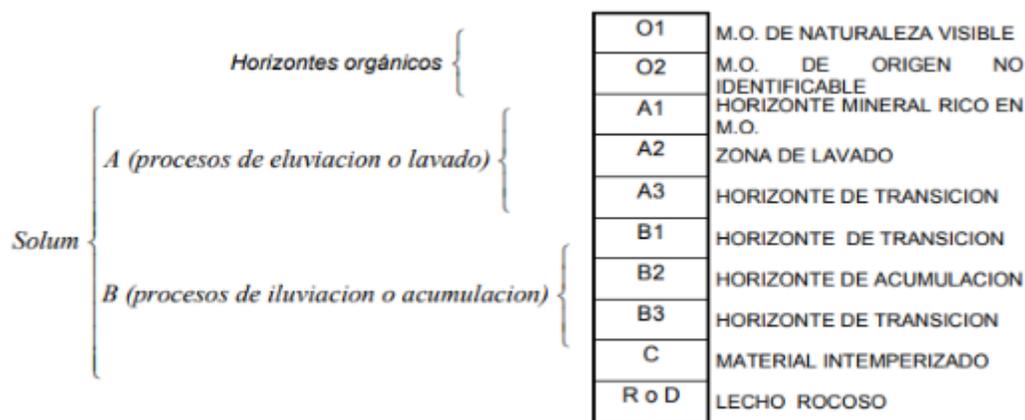
Grupo de suelos	Descripción de las características del suelo
A	Suelo con bajo potencial de escurritamiento, incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelo permeable con grava en el perfil. Infiltración básica 8-12 mm hr-1.
B	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurritamiento. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Este grupo arenosos ligeros y migajones limosos. Infiltración básica 4-8 mm tiene una infiltración mayor que el promedio cuando está húmedo. Ejemplos: suelos migajones, r-1.
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurritamiento. Son suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos. Infiltración básica 1-4 mm hr-1.
D	Suelos con alto potencial de escurritamiento. Por ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Infiltración básica menor 1 mm hr-1

Fuente: (Esrom, 2017)

## 3.2. SUELO

### 3.2.1. Morfología del suelo

El estudio de los suelos se hace a través de calicatas donde se describe una de sus caras (perfil) con todas sus capas (horizontes), es decir la variación vertical en cantidad de arcilla, textura, color, cantidad de materia orgánica, cantidad y tipos de sales existentes en ese suelo; a este estudio se le conoce como morfología de suelos. Uno de los científicos que iniciaron este estudio fue Dokuchaiev, quien es considerado como el padre de la ciencia del suelo, posteriormente, se han dado normatividades para el estudio de los suelos, una de ellas es la de Soil Survey Staff -1975, donde se define el perfil con sus horizontes a través de una nomenclatura establecida, en la cual se incluyen letras mayúsculas (O, A, B, C y R), números (O1, O2, A1, A2, B1, B2, etc.), subíndices (Ap, B2h, Cm, etc.) y números romanos (IIA1, IIICm, etc.). Las letras mayúsculas dividen dos grupos de horizontes: Los orgánicos con la letra O de los minerales con A, B, C y R. Los números denotan diferencias de transición, color, lavado, etc. El uso de subíndices en la nomenclatura se utiliza para especificar con mayor detalle un proceso o característica de un horizonte (figura 3) (Cisneros, 2003).



**Figura 3.** Perfil de un suelo ideal.

Fuente: (Cisneros, 2003)

### 3.2.2. Propiedades físicas del suelo

En el suelo, podemos distinguir diferentes propiedades interactuando entre sí originando a su vez una diversidad de tipos de suelos, en función de la incidencia de cada una de ellas. Las principales propiedades físicas del suelo son:

**A. Textura:** según Cisneros (2003), la textura en todos los sentidos es una de las propiedades más importantes del suelo y que incide en muchas otras características o propiedades de los suelos. En el riego y el drenaje, la textura juega un papel fundamental, en el cálculo de láminas de riego, de lavado.

**B. Estructura:** la estructura afecta la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, incidiendo así en la productividad del suelo y las facilidades de la labranza. Según Amezketa (1999), la naturaleza y estabilidad de la estructura del suelo regula muchos de sus procesos como el intercambio de gas, agua y nutrientes, además, es la base de muchos servicios ecosistémicos proporcionados por los suelos, por ejemplo, producción primaria, control de la erosión o infiltración de agua.

**C. Densidad aparente:** la determinación de la densidad aparente tiene un valor extraordinario para conocer el estado físico del suelo, ya que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad debido a que varía por la acción de agentes externos e internos como por ejemplo la compactación y la dispersión de las partículas respectivamente (Foth, 1987).

**D. Densidad real:** según Cisneros (2003), la densidad real de un suelo es la relación que existe entre el peso de éste, en seco ( $P_{ss}$ ) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas ( $V_p$ ). La densidad real se puede considerar casi constante debido a que varía de 2.60 a 2.75  $\frac{g}{cm^3}$ .

**E. Porosidad:** “la porosidad total se refiere a todo el espacio que no está ocupado por fracciones sólida, mineral u orgánica; diferente si éste está ocupado por agua o por aire en el momento del muestreo” (Castillo, 2005).

La clasificación de la porosidad, de acuerdo con sus características de conducción o almacenamiento, puede resumirse en tres categorías (González, *et al.*, 2004):

- Porosidad sub-microscópica, con poros demasiado pequeños que dificultan el agrupamiento de moléculas de agua y por lo tanto tampoco permiten el flujo continuo.
- Porosidad microscópica o capilar, con poros dados por la matriz del suelo y la estructura entre agregados; su morfología depende de la génesis y del uso del suelo, el tamaño de los poros es de entre 15 y 30  $\mu m$ .

- Macroporosidad, con poros grandes no capilares que pueden tener diferente origen: actividad microbiana, grietas, cambios volumétricos, contracción-expansión del suelo y efectos inducidos (labranza) en el caso de suelos agrícolas (Pires, *et al.*, 2008).

**F. Consistencia:** la consistencia del suelo es una propiedad física que define la resistencia del suelo al ser deformado por las fuerzas que se aplican sobre él. Esta propiedad del suelo define el contenido de humedad, materia orgánica del suelo y tipos de arcilla (Jaramillo, 2002).

**G. Color:** es un indicador visible de otras características del suelo, como la materia orgánica (humus y turba), el hierro en sus tres estados, oxidado, reducido e hidratado; el manganeso y el material parental intervienen en el color en condiciones específicas (Ortiz & Ortiz, 1990).

Según Arias (1998), por la coloración del suelo podemos asumir algunos de sus compuestos, como los siguientes:

- El color rojizo, se desarrolla por oxidación del hierro, lo que indica que es un suelo aireado, altamente meteorizado.
- El color amarillo, en suelos tropicales se debe a la presencia de óxido de hierro hidratado (limonita), altamente meteorizado.
- El color gris, indica abundancia de cuarzo que tiene un tono grisáceo, presenta una incipiente meteorización química y también indica ausencia de materia orgánica.
- El gris verdoso, se debe a procesos de reducción de hierro.
- El color oscuro, indica presencia de materia orgánica, la turba es generalmente de color pardo (café), y el humus de color negro.

### 3.2.3. Propiedades hidrodinámicas del suelo

**A. Permeabilidad:** según López (2016), la permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire.

**B. Percolación:** según Ortiz & Ortiz (citado por Cisneros, 2003), el movimiento del agua a través de una columna de suelo se llama percolación. Ellos mencionan que los estudios de percolación son importantes por dos razones. Primero, las aguas que percolan son la única

fuentes de agua de manantiales y pozos; segundo, las aguas percolantes arrastran nutrientes de las plantas que se sitúan fuera del alcance de las raíces.

**C. Conductividad hidráulica (k):** Para Cisneros (2003), la conductividad hidráulica es la facilidad con la que el suelo deja pasar el agua a través de él. Esta conductividad hidráulica, representa el coeficiente  $k$  en la ley de Darcy, en la que:

$$V = K * i$$

Donde:

$V$  = velocidad del flujo efectivo, cm/h.

$i$  = gradiente hidráulico, m/m.

Según Yap (citado por Santander, 2017), se define la conductividad hidráulica como la constante que nos define la capacidad del medio poroso para transmitir el agua a través del mismo, por lo que también se llama constante de transmisión; cuantitativamente se puede definir como la cantidad de flujo por unidad de área de sección, bajo la influencia de un gradiente unitario, pero no debe ser confundida con velocidad. Lo que es dependiente de las características del fluido y del medio poroso en conjunto.

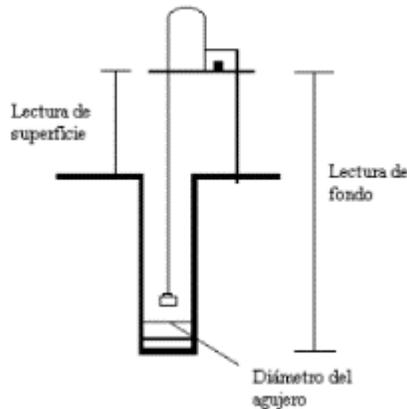
La conductividad hidráulica del suelo no es un valor constante debido a que en ella influyen muchos factores, por lo que no puede llegar a determinar un valor exacto de esta, pero sí un valor estimado que refleja las condiciones reales del movimiento del agua en el suelo; he aquí algunos de los factores más importantes:

- Tamaño de las partículas.
- La porosidad del suelo.
- El contenido de arcilla y su distribución.
- El contenido del aire del sistema.
- Los microorganismos del suelo.

Uno de los métodos más empleados en campo para la determinación de la conductividad hidráulica es:

- **Pozo invertido:** si el suelo está saturado, el gradiente hidráulico puede ser supuesto igual a la unidad. El método se basa en lecturas del desnivel del agua dentro del pozo en función del tiempo, estas lecturas se realizan una vez logrado que el suelo haya sido saturado

previamente (figura 4). En estas condiciones, se asume que la tasa de infiltración a través de las paredes del agujero es aproximadamente a  $K$ .

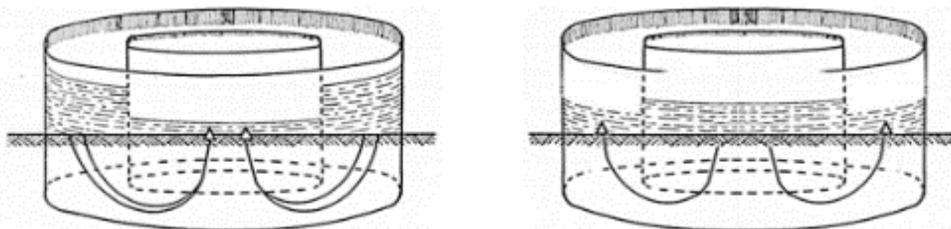


**Figura 4.** Esquema del método de pozo invertido.

Fuente: (Coello, 2005)

**D. Infiltración:** La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/hr o cm/min (Cisneros, 2003). Para determinar la infiltración ( $i$ ) uno de los métodos más empleados es:

- **Anillos de Munz:** el método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos, con base en estos se mide la variación del nivel del agua en el cilindro interior (figura 5). Este proceso simula la cantidad de agua que se infiltra en una porción de suelo (Ibáñez, *et al.*, 2010).



**Figura 5.** Efecto de la diferencia de niveles de agua entre ambos anillos.

Fuente: (Ibáñez, *et al.*, 2010)

Según la ley de Darcy, la velocidad de infiltración del agua en un medio no saturado medido con el infiltrómetro de anillo puede indicarse mediante la siguiente expresión:

$$v = K_1 \frac{\Phi + z + h}{z}$$

Donde:

V= velocidad de infiltración (LT-1)

K1= conductividad capilar o permeabilidad insaturada [LT-1]

Φ= fuerza de succión en el frente húmedo [L]

z= distancia al frente húmedo [L]

h= altura de la columna de agua [L]

### 3.3. GUADUA

La guadua es una gramínea nativa de la familia del bambú. En Colombia se encuentran cuatro especies. En la región andina es abundante la presencia de la Guadua *angustifolia* Kunth, en la Orinoquia y en la costa atlántica se encuentra la Guadua *Amplexifolia* y en el Amazonas y el pacífico se encuentran la Guadua *Superba* y la Guadua *Weberbauri* (Uribe & Durán, 2002). La guadua es el bambú nativo de mayor importancia en el país. Es un excelente recurso renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que brinda beneficios económicos, sociales y ambientales a las comunidades rurales en el país (Mejía, 2004).

#### 3.3.1. Morfología de la guadua *Angustifolia* Kunth

Takeuchi (2014) indica que, las partes principales de la guadua son: el rizoma, el tallo o culmo, las ramas y las hojas. El rizoma es el sistema de soporte de la guadua. El culmo de guadua es su tallo y sale del rizoma, se caracteriza por tener forma cilíndrica y hueca con segmentos formados por entrenudos, separados transversalmente por tabiques o nudos; la distancia entre los nudos puede variar entre 10 cm y 40 cm de acuerdo con la variedad y posición en altura del culmo. Las ramas salen de las yemas que se encuentran por encima de las líneas de los nudos cuando ha terminado el proceso del desarrollo del culmo. Las hojas tienen forma alargada.

#### 3.3.2. Normativa de aprovechamiento de guadua

La resolución 1740 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2016) determina que, para el aprovechamiento de guadua se debe tener en cuenta el estudio elaborado por la

autoridad ambiental regional competente. Según el artículo 5 de la presente resolución quien esté interesado en el aprovechamiento de guadua debe presentar:

**A.** Solicitud escrita de aprovechamiento que contenga:

- Nombre, identificación y dirección domiciliaria del solicitante.
- Cuando el peticionario sea una persona jurídica, se aportará el certificado de existencia y representación legal y el RUT.
- Identificación, localización y extensión del predio, en caso de propiedad privada, donde se encuentra ubicado el gradual objetivo de la solicitud de aprovechamiento, indicando jurisdicción departamental, municipal y veredal.
- Localización y extensión del área, cuando el gradual objeto de la solicitud de aprovechamiento se encuentre ubicado en terrenos de dominio público, indicando jurisdicción departamental, municipal y veredal.

**B.** Acreditar la calidad de propietario del predio, mediante copia del certificado de tradición y libertad del inmueble respectivo, con una fecha de expedición no mayor a tres (3) meses; o en su defecto, prueba sumaria que demuestre su calidad de tenedor.

Con relación a lo estipulado por el formato P-CAM-017 (CAM, 2019), se deben tramitar licencias y permisos ambientales para concebir el uso de cualquier material renovable a partir del estudio técnico realizado por la corporación.

### **3.3.3. Preservación de la guadua**

El tratamiento de preservación de la guadua ha sido fundamental en la durabilidad del material. Diferentes métodos desde los más tradicionales hasta los más sofisticados son adaptados por el hombre (derivados de petróleo, químicos, etc.). Sin embargo, es importante mencionar que, para la aplicación de preservantes, existen diversos sistemas que incluyen desde el empleo de modernos equipos de calderas y cámaras especiales de vacío y presión (Hidalgo, 2003); hasta los métodos naturales, sistemas silviculturales y de aprovechamiento de la guadua.

La guadua al igual que la madera también contiene humedad, la cual es indispensable extraer, para obtener su mayor resistencia y controlar hongos y agentes que la puedan atacar. El

material después del proceso de corte debe ser sometida a un proceso de secado, “en este proceso se contrae y obtiene su color amarillo, al estar seca pierde toda la savia y no es tan propensa al ataque de hongos, en este proceso se desecha casi un 20% de guadua por estar rajadas o torcidas” (Garzón, 1996).

Algunos de los tratamientos más empleados para la preservación de la guadua son los siguientes (Montoya, 2005):

**A. Avinagrado:** este tratamiento se conoce también como curado en mata, se efectúa después de cortado el tallo de guadua, este se deja en pie con ramas y hojas, recostado a los otros tallos no cortados durante un tiempo superior a ocho días, momento en el cual se considera que la guadua comienza un proceso de fermentación de los azúcares y carbohidratos reaccionando y produciendo alcoholes. Esta técnica es conocida también como desjarretado y se considera además que el corte debe hacerse en horas de la madrugada y en época de menguante para así evitar la atracción lumínica sobre los líquidos internos de la planta incrementando así la humedad contenida en ella.

**B. Curado por inmersión en agua:** consiste en sumergir los tallos cortados en agua, ya sea en un estanque o un río, por un tiempo no mayor a cuatro semanas. Posteriormente se dejan escurrir y secar. Aparentemente, la penetración del agua internamente en los haces vasculares hace que se evacue el aire que penetra al interior de la guadua.

**C. Curado al calor:** la guadua cortada es “bañada” con fuego o colocada en brasas a distancia prudente, sin quemarla. Una variante de este método es aplicada en Japón, sometiendo los bambúes durante un lapso de 20 minutos a una temperatura entre 120 °C y 150 °C, lo que le da mayor efectividad, sin embargo, pueden presentarse fisuras en la guadua.

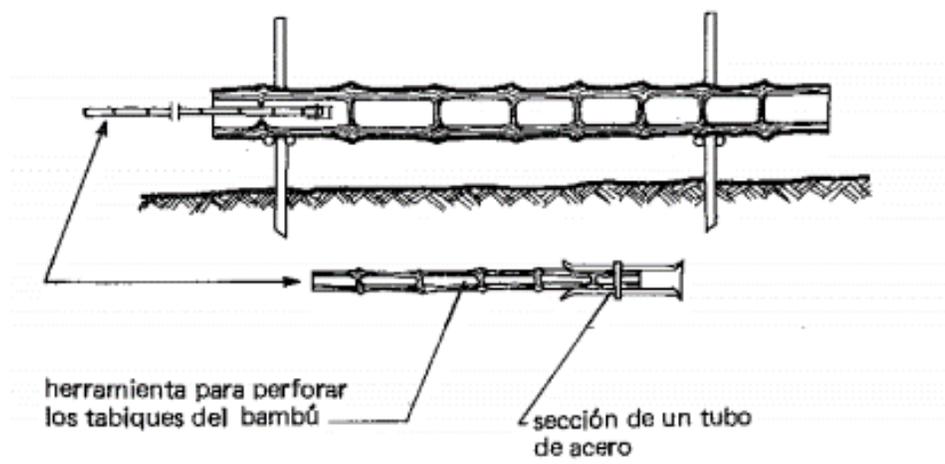
**D. Tratamiento con humo:** consiste en someter las guaduas a humo directo proveniente de un proceso de combustión orgánica e incompleta (en ausencia de oxígeno) hasta que adquieran una capa exterior de hollín, con un alto contenido de alquitrán, este método necesita de estar nuevamente cada 6 meses haciendo un mantenimiento preventivo, es decir repitiendo el procedimiento de ahumado.

**E. Inmersión:** este método consiste en introducir la guadua previamente agujereada por los tabiques (entrenudos de la guadua) preferiblemente con una varilla puntiaguda de 12.7

mm (½") ó con broca soldada a la punta de una varilla ½" y utilizar taladro, luego sumergir en un tanque que contiene la solución de ácido bórico y bórax en relación 1:1 que podría oscilar entre el 2 al 4%, por ejemplo: si fuera 4%, la relación sería 2 y 2% (de ácido bórico y bórax); dejando allí la guadua en exposición prolongada por 8 días, porque es el tiempo mínimo requerido, donde la guadua deja de absorber la solución.

### 3.3.4. Perforación de entrenudos

Según Hidalgo (1981) indica que, las perforaciones de los tabiques de la guadua se realizan de manera muy artesanal, ya que no se conoce de una máquina o instrumento que realice dicha función de manera sencilla y efectiva. La figura 6, muestra la sección transversal del tabique siendo rasgada por un objeto de trabajo manual, una forma práctica y artesanal de perforar los entrenudos de la guadua.



**Figura 6.** Perforación de los tabiques de guadua.

Fuente: (Hidalgo, 1981)

### 3.4. CULTIVO DE PLÁTANO

Alvares (2018) afirma: el Plátano es una planta herbácea, que comprende tres fases Vegetativa, Floral y de Fructificación, que se explican a continuación:

**A. Fase vegetativa:** tiene una duración de 6 meses y es donde en su inicio ocurre la formación de raíces principales y secundarias, desarrollo de pseudotallo e hijos. Ocurre desde la emisión de raíces hasta los 6 meses después, formando raíces principales y secundarias, alcanzando hasta 4 metros en forma horizontal. Las raíces principales se ramifican en

secundarias y emiten pelos absorbentes, estas se localizan entre 20-25 cm. de la base de la planta a una profundidad de 10-15 cm.

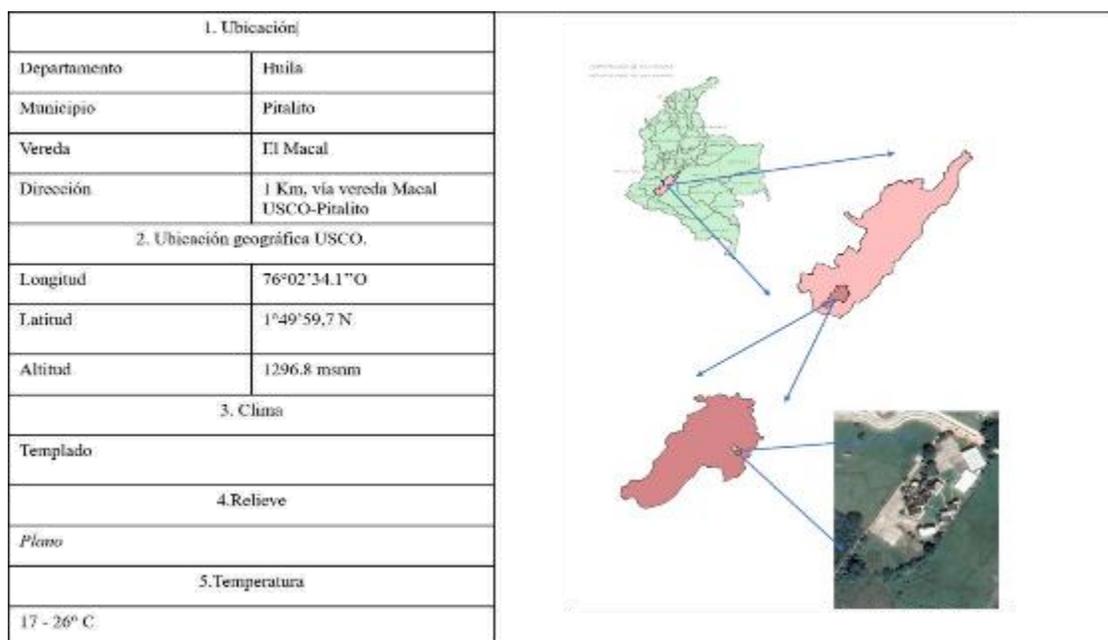
**B. Fase floral:** tiene una duración aproximada de tres meses, a partir de los seis meses de la fase vegetativa. El tallo floral se eleva del cormo a través del pseudotallo y es visible hasta el momento de la aparición de la inflorescencia, en este momento falta que se desarrollen de 10 -12 hojas.

**C. Fase de fructificación:** tiene una duración aproximada de tres meses y ocurre después de la fase floral, en esta fase se diferencian las flores masculinas y las flores femeninas (dedos). Hay una disminución gradual del área foliar y finaliza con la cosecha. El tiempo desde el inicio de la floración a la cosecha del racimo es de 81 a 90 días; en esta fase los factores adversos sólo influyen en el tamaño de los frutos, la cantidad de frutos fue dada en las dos fases anteriores. Los factores adversos que influyen son la sequía, la defoliación, las bajas temperaturas, la luz y el viento.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. LOCALIZACIÓN

Los estudios tuvieron sede en la finca Bélgica ubicada en el sector rural del municipio de Pitalito - Huila, vereda Cálamo, donde se realizó la caracterización y aprovechamiento de la guadua, así como, la transformación de la guadua en tubería de drenaje agrícola. La implementación tuvo lugar en los predios de la universidad Surcolombiana sede Pitalito, situada geográficamente en las coordenadas  $1^{\circ}49'59,7''N$   $76^{\circ}02'34,1''E$  y ubicada en el km 1 vía vereda el Macal.



**Figura 7.** Ubicación del área de estudio.

### 4.2. RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

Mediante visita de inspección realizada a la granja experimental de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, se pudo evidenciar alta presencia de pastizales, malezas, especies arbustivas y bovinos, ocasionando limitaciones de soleado y aireación al suelo. Además, se logró el reconocimiento de algunas plantas indicadoras de mal drenaje .

### 4.3. INVENTARIO FORESTAL DEL RODAL CON FINES DE APROVECHAMIENTO

El inventario forestal aplicado al rodal se realizó a partir de los criterios establecidos por la Norma técnica colombiana (NTC) 5726 (2009), Camargo y colaboradores (2008a). Para este

proceso se realizó el levantamiento planimétrico con estación Topcon GTS 235, con el fin de conocer el área del rodal. La NTC 5726 (2009) recomienda que el tamaño de la parcela sea de 100 m<sup>2</sup> de forma circular, cuadrada de 10mt x10mt o rectangular de 5 m x 20 m. Sobre el plano topográfico se trazaron la cantidad posible de parcelas cuadradas dentro del área total del rodal (anexo 1).

#### 4.3.1. Tamaño de la muestra e intensidad del muestreo

El tamaño de la muestra ( $n$ ) se realizó a partir de muestreo aleatorio simple (MAS). Según (Otzen & Manterola, 2017), el MAS garantiza que los individuos que componen determinada población tengan las mismas oportunidades de ser incluidos dentro de una muestra. De igual manera el propietario del rodal establece que este cultivo lleva más de 20 años de plantado, por lo que se puede deducir que su población es homogénea. Para determinar MAS se aplica la siguiente ecuación:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

Siendo:

$$n_0 = \left( \frac{(z\alpha/2)\sigma}{e} \right)^2$$

Donde:

$N$  = es el tamaño de la población, número total de parcelas posibles de establecer dentro del área del rodal de guadua objeto de estudio.

$n$  = es el tamaño de la muestra.

$\sigma^2$  = es la varianza poblacional.

$\sigma$  = es la desviación estándar.

$e$  = es el error muestral deseado (10%).

$z\alpha/2$  = es el nivel de desviación estándar en la distribución Normal que deja una región deseada (nivel de confiabilidad) a cada lado de la media, que son al 90% de confiabilidad 1,65 al 95% 1,96 y al 99% 2,58.

La intensidad del muestreo ( $i$ ) relaciona el porcentaje intervenido bajo el inventario forestal del rodal. Para determinar  $i$  se aplica la siguiente ecuación:

$$i = [(n \times a)A] \times 100$$

Donde:

i = intensidad del muestreo.

n = es el número de parcelas.

a = es el área de la parcela.

A = es el área del rodal de guadua.

#### 4.3.2. Variables de medición

Las variables de medición que se tuvieron en cuenta para realizar el inventario del rodal son: cantidad de culmos, estado de madurez, estado fitosanitario y diámetro a la altura del pecho (DAP) para guaduas maduras. Los datos obtenidos se analizaron a partir de estadística descriptiva usando el programa Excel.

**A. Estado de madurez:** el estado de madurez de la guadua es un factor clave que afecta sus propiedades mecánicas (Correal & Arbeláez, 2010); para ello, se necesita conocer en qué estado de madurez se encuentran los culmos del rodal. Una de las técnicas que se emplea típicamente, se hace mediante el contacto visual con cada tallo de guadua. La NTC 5726 establece cinco estados de maduración de la guadua (figura 8). La guadua de estado de madurez maduro, que se identifica con un color verde opaco, el culmo gradualmente toma tonalidades grises, como líquenes, hongos y musgos (Kleinn & Morales-Hidalgo, 2006). Según la identificación de los culmos maduros, se toma como partida los culmos biches y sobremaduros, es decir cuando el culmo de guadua se encuentre con tonalidades de verdes más brillantes obedece a un estado de madurez biches, en contraste a esto, cuando el verde desaparece gradualmente y empiece a notarse presencia de manchas amarillas, indica un estado de madurez sobremadura. Para fines del inventario se contabilizaron la cantidad de culmos en sus diferentes estados de madurez, intersectados en cada parcela.



**Figura 8.** Análisis visual del estado fisiológico de la guadua *Angustifolia Kunth*.

**B. Estado fitosanitario:** las condiciones de sanidad del culmo de guadua, fueron indispensables a la hora de seleccionar el material vegetal, los culmos que contaban con

daños (perforaciones, rasgaduras perpendiculares, transversales, etc.) (figura 9), fueron clasificados como estado fitosanitario malo. En las plantaciones de edad avanzada, las faltas de raleos generan focos de infección para el cultivo, que afectan principalmente el sistema radicular, ya que la guadua depende de la sanidad de su sistema radicular (Briceño, *et al.*, 2017).



**Figura 9.** Daños mecánicos y fisiológicos en los culmos de guadua *Angustifolia Kunth*.

**C. Medición del CAP:** la NTC 5726 (2009) determina: “el diámetro o la circunferencia de los culmos, se debe medir a la mitad del entrenudo a la altura del pecho. No obstante, hay que mantener como referencia la altura de 1,3 m y medir sobre el entrenudo localizado a esa altura (...) La medición de los diámetros se hará únicamente sobre los culmos maduros, encontrados en la parcela”. Con las mediciones en campo del CAP (circunferencia a la altura del pecho), se procede a determinar el DAP (diámetro a la altura del pecho) como la relación entre el perímetro o CAD con PI. Todos los datos recopilados en campo se tabularon (anexo 2) para posteriormente analizarlos.

#### **4.4. APROVECHAMIENTO**

Posterior al inventario del rodal, se tuvo como criterio de aprovechamiento la uniformidad de los D.A.P, seguido a esto, se procedió a marcar cada tallo con cinta reflectiva a una altura de 1.65 m con la finalidad de ser observada en el momento del corte. Las guaduas que se aprovecharon tenían un estado de madurez maduro, de igual manera no presentaban ningún daño mecánico o fitosanitario. Siguiendo las indicaciones de varios autores (Velásquez, 1998, Morales 2002, Perea, *et al.*, 2003), la fase lunar óptima de cosecha es durante la época de luna menguante, en horas de la madrugada, por lo que se decidió realizar el corte entre las 5:00 a 6:00 am.

#### **4.4.1 Corte**

El corte se realizó de forma mecánica a partir del uso de motosierra; dentro de las guaduas aptas se seleccionó el total de material aprovechar, se les dio un periodo de 30 días de avinagramiento dentro del rodal. La zona que se utilizó para el proceso de transformación fue la Basa con una longitud de 3 metros ya que en esta parte hubo mayor homogeneidad con respecto al DAP.

#### **4.4.2 Tratamientos de preservación**

Los culmos fueron sometidos a inmersión natural de agua dulce, por un periodo consecutivo 180 días con recambios de esta cada 30 días; para eso se depositaron en un estanque de mampostería 3.2 m<sup>3</sup>.

#### **4.4.3 Secado**

Se sometieron a secado por aireación natural por un periodo 60 días, los culmos se apilaron de forma horizontal en un lugar aireado y seco, libre de la exposición de lluvia y sol, como lo establece (Contresa & Diaz, 1994) para reducir el peso de las piezas y hacerlas más fácil en su manipulación, es necesario reducir el contenido de humedad de los tallos, hasta alcanzar el 10% o el 15% de humedad.

### **4.5. DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE BANCO DE PERFORACIÓN DE ENTRENUDOS**

La adecuación de la guadua *Angustifolia Kunth* como tubería de drenaje, nace a partir de la perforación del tabique transversal que interrumpe la cavidad (entrenudo), para esta labor se construyó un banco de perforación artesanal. Se dimensionó y construyó de manera empírica una máquina capaz de perforar, de manera uniforme los entrenudos del culmo de guadua, con la finalidad de convertirla en tubería. Para la construcción de la máquina se emplearon planos de detalle de cada una de las componentes (anexos 3-5). Como criterio general se tuvo en cuenta que el dispositivo tuviera capacidad de perforar el entrenudo de toda sección longitudinal de la guadua evitando daños mecánicos como: deformación de la fibra, astillamiento, entre otros. La profundidad de corte se da a partir del impulso ejercido por un operario de forma manual.

#### **4.5.1 Componentes del banco de perforación**

Los componentes que conforman el banco de perforación de entrenudos son:

**A. Bastidor:** este elemento fue construido en madera de nogal y tiene como función soportar la guadua y conservar el nivel con respecto a la broca de corte, para esto cuenta con un movimiento vertical, generado por un tornillo de potencia articulados en los dos extremos del bastidor; a su vez el bastidor tiene como guía cuatro platinas fijadas al componente marco, que permiten su movimiento vertical, impidiendo el movimiento en otras direcciones.

**B. Broca de corte:** su función principal es romper el tabique transversal de la guadua, este componente está constituido por un eje de acero galvanizado de 25.4 mm de diámetro y 1670 mm de longitud; unido a una cabeza de corte, que se constituye con un cilíndrico macizo de 70 mm de diámetro y 30 mm de alto, que alberga dos cuchillas de corte de quitar y poner.

**C. Carrito:** este dispositivo es el encargado de transmitir el movimiento horizontal a la componente broca de corte, así como sujetar y desplazar el motor. El carrito es una estructura cúbica elaborada con ángulos metálicos y platinas soldadas entre sí, en su parte inferior se ancla una estructura con bisagra que soporta el motor. El desplazamiento de forma horizontal se da a partir de la fricción que ejerce cuatro rodamientos soldados en los vértices de la estructura cúbica, sobre dos rieles anclados al componente del marco.

**D. Marco:** es la estructura que permite la articulación de todos los componentes del banco de perforación, así como soportar el peso propio de cada componente. Este elemento está construido en madera de nogal.

**E. Rodamiento de apoyo:** es una chumacera construida a partir de un rodamiento y un soporte de apoyo, ubicado en el centro del componente marco, este permite direccionar el componente de la broca de corte en toda su profundidad de corte.

**F. Motor:** el motor utilizado para este proceso fue un SIEMENS tipo 1LF7095-4YE50 de 2.0 Hp a 1715 rpm, la transmisión de potencia se dio con una polea de 2 pulg al motor y de 4 pulg a la componente broca de perforación, así mismo, se empleó una correa en tipo V.

## **4.6. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA TUBERÍA**

### **4.6.1. Diámetro**

Se determinaron los diámetros internos, para ello se realizó la medición del perímetro de cada guadua con ayuda de una cinta métrica, para obtener un margen de error más pequeño y un dato más confiable, se realizó la medición cada 0.50 metros del largo de la guadua. Los perímetros tomados por cada guadua dan como resultado su perímetro promedio. A partir de

la relación existente entre perímetro y diámetro, se calculó el diámetro exterior de cada tubería con la siguiente ecuación:

$$P = \pi * D$$

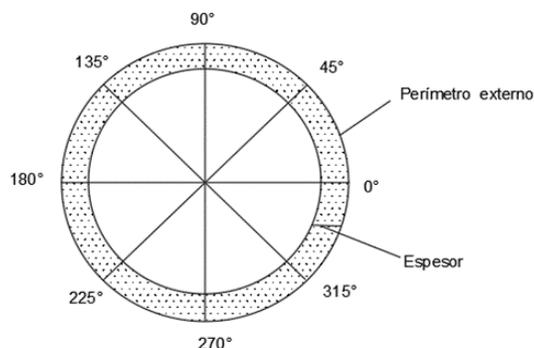
Donde:

P= perímetro

D= diámetro

#### 4.6.2. Espesor

Para calcular el espesor se realizó la medición de las paredes de la guadua cada 45° (Figura 10). Para obtener el espesor promedio de cada guadua, se realizó la medición en los cortes transversales del culmo, esto con ayuda de un calibrador de Vernier (rango de medición 150 mm y precisión 0.02 mm). La información recolectada se evaluó y analizó a partir de estadística descriptiva, esto, para corroborar si existía diferencia significativa entre los datos.



**Figura 10.** Medición de los espesores de la guadua *Angustifolia Kunth*.

#### 4.6.3. Distancia entre nudos

Para conocer la distancia entre los nudos de la guadua, se cuantifica la cantidad de nudos presentes en cada culmo, de esta manera con ayuda de una cinta métrica se tomaron los datos necesarios; como la distancia entre los nudos no son iguales se promediaron los datos de cada culmo.

#### 4.7. ALMACENAMIENTO DE TUBERÍA

Para el almacenamiento de la tubería se tomó en cuenta la información de Red Internacional de Bambú y Ratán (2011); por lo que se dispuso de la siguiente manera: la técnica de almacenamiento de guadua transformada en tubería de drenaje agrícola fue horizontal,

garantizando que el material quedará alejado de la humedad del suelo, protegido de la radiación solar y en un sitio ventilado.

#### **4.8. DISEÑO DE PERFORACIÓN DE LA TUBERÍA EN GUADUA**

Basado en la NTC – 6028 (2013), expresa que el área mínima de entrada de agua por metro de longitud de tubo debe ser de 8 cm<sup>2</sup> y que las ranuras para entrada de agua deben estar dispuestas de manera uniforme en al menos 5 líneas sobre la circunferencia del tubo.

##### **4.8.1. Diámetro de los orificios de las perforaciones**

En conjunto con Carrillo & Vidal (2021), para el cálculo del diámetro de los orificios se debe tener en cuenta el área de las ranuras de drenaje y la cantidad de líneas sobre la circunferencia del tubo por cada metro lineal, en el presente caso de estudio, el material vegetal con el que se cuenta se puede asimilar a la tubería de drenaje para uso agrícola de 4 pulgadas que dispone PAVCO (1994), ésta cuenta con un área de drenaje de 30 cm<sup>2</sup> por cada metro lineal.

Las ranuras que dispone PAVCO en su tubería para drenaje agrícola son de forma ovalada; para facilitar el trabajo de perforación de la tubería en guadua, se utilizó brocas para madera convencionales que se ajusten al diámetro necesario. La tabla 4 indica los modelos de perforación establecidos, así mismos para el cálculo del diámetro de los orificios se aplicó la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

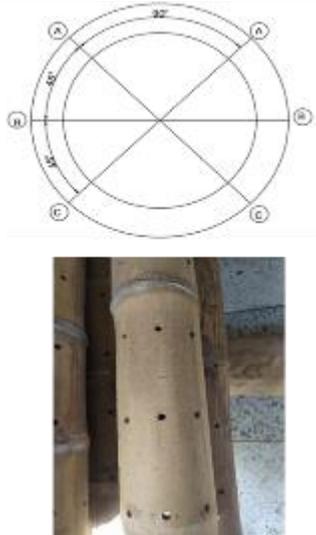
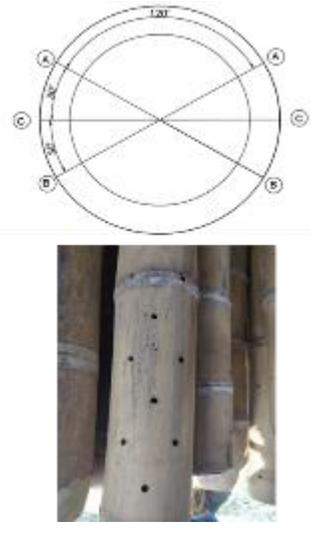
Donde:

d= diámetro de los orificios

A= área de drenaje correspondiente a cada orificio

**Tabla 4.** Modelos de perforación de orificios.

<b>MODELO A</b>	<b>MODELO B</b>
-----------------	-----------------

	
<p>Este modelo estará determinado por 6 agujeros en la misma línea sobre la circunferencia de la guadua, espaciados gradualmente.</p>	<p>Este modelo contará con 3 agujeros por cada línea sobre la circunferencia de la guadua, con un total de 20 líneas cada 5 cm por metro lineal, espaciados gradualmente.</p>

#### 4.8.2. Perforaciones perimetrales

Para el proceso de perforación se empleó una banda elástica de tela de 50 mm de ancho con un espesor de 1 mm, ésta se ajustó al diámetro exterior de un transportador con el fin de marcar la abertura angular requerida según los modelos de perforación establecidos. La finalidad de la banda elástica fue proyectar la geometría en cada punto de perforación, cabe mencionar que las condiciones naturales de la guadua no permiten que ésta sea uniforme, por lo que este sistema de marcación se adapta mediante su elasticidad a las diferentes formas de la guadua en cada tramo y admite que la distribución de las perforaciones sea homogénea a lo largo de la sección longitudinal del tubo.

En la demarcación longitudinal sobre la tubería, se buscó la cara más plana de la guadua para trazar una línea central sobre ésta, sobre ella se marcó cada 10 cm para el modelo A y 5 cm para el modelo B con la ayuda de un flexómetro. La banda elástica se trasladó punto a punto a lo largo de la tubería para rotular los puntos que posteriormente se perforaron.

Las perforaciones se hicieron con un taladro manual de marca Work, potencia de 650 W, capacidad de 13 mm y revoluciones que oscilaron entre los 500 y 550 rpm, con el fin de no deformar las fibras vegetales y obstaculizar el paso del agua en la tubería.



**Figura 11.** Perforaciones perimetrales de la guadua *Angustifolia Kunth*.

#### 4.8.3. Codificación de tubería

A partir de las propiedades geométricas de la tubería de drenaje agrícola en guadua, y tomando en consideración los modelos de perforación, se estableció un código de identificación (figura 12), con la finalidad de caracterizar los atributos propios de cada tubería.

S	A/B	Nn	$\varnothing_e$	e	$\varnothing_i$
---	-----	----	-----------------	---	-----------------

**Figura 12.** Codificación tubería.

Donde:

S = región de la guadua (basa)

A/B = modelo de perforación

Nn = número de nudos

$\varnothing_e$  = diámetro exterior promedio (cm)

e = espesor promedio (cm)

$\varnothing_i$  = diámetro interior promedio (cm)

#### 4.8 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se realizó el levantamiento topográfico con estación (Topcon GTS 235), al área experimental de la granja USCO-Pitalito (anexo 6), con la finalidad de conocer las condiciones reales del terreno y detallando los puntos de interés (zanjas, cajillas de inspección, árboles, pozos de observación, piezómetro). De igual manera poder delimitar la zona crítica y de implementación.

#### **4.9. FREATÍMETRIA**

Para determinar el nivel freático se utilizaron los freatómetros que se encontraban ya instalados en la granja experimental, estos consisten en un tubo PVC de 1.40 m de largo y diámetro de 2 pulg, con agujeros aleatorios en la mitad del tubo (70-140 cm), enterrados 1.20 m y sobresalidos 20 cm. Se registró el comportamiento del nivel freático durante los meses de mayo y diciembre de 2020. Los datos obtenidos de las lecturas diarias se tabularon para posteriormente realizar los mapas de isobatas e isohipsas; estos permiten identificar la presencia y movimiento del agua en el suelo.

#### **4.10. ESTUDIO EDAFOLÓGICO**

El estudio edafológico se realizó a partir de la elaboración de una calicata de base 2 mt x 1mt y 1.5 mt de profundidad, esta se ubicó en el extremo opuesto del lote experimental. El perfil del suelo a estudiar se localizó de Este a Oeste. La excavación de la calicata se realizó de forma manual, para su elaboración se extrajo un de volumen aproximado de 3 m<sup>3</sup>. Para la lectura y estratigrafía del perfil del suelo se contó con la experiencia del docente del programa de ingeniería agrícola de la Universidad Surcolombia Armando Torrente Trujillo. Se identificaron y se marcaron los horizontes genéticos presentes en el suelo; de igual manera las características que ayudaron a delimitar las capas fueron, la textura, color, presencia de raíces y microorganismos. La recopilación de datos del suelo se realizó en una cartera de campo estandarizada (anexo 7).



**Figure 13.** Lectura calicata zona de estudio.

Las muestras recolectadas por cada perfil se analizaron en el Laboratorio agroambiental de suelo y agua (LAGSA) (anexo 8) ubicado en la ciudad de Neiva – Huila. Dichas muestras

fueron embaladas en bolsas plásticas herméticas (ziploc), con su respectivo rótulo e información de interés. La tabla 13 indica las variables analizadas en laboratorio.

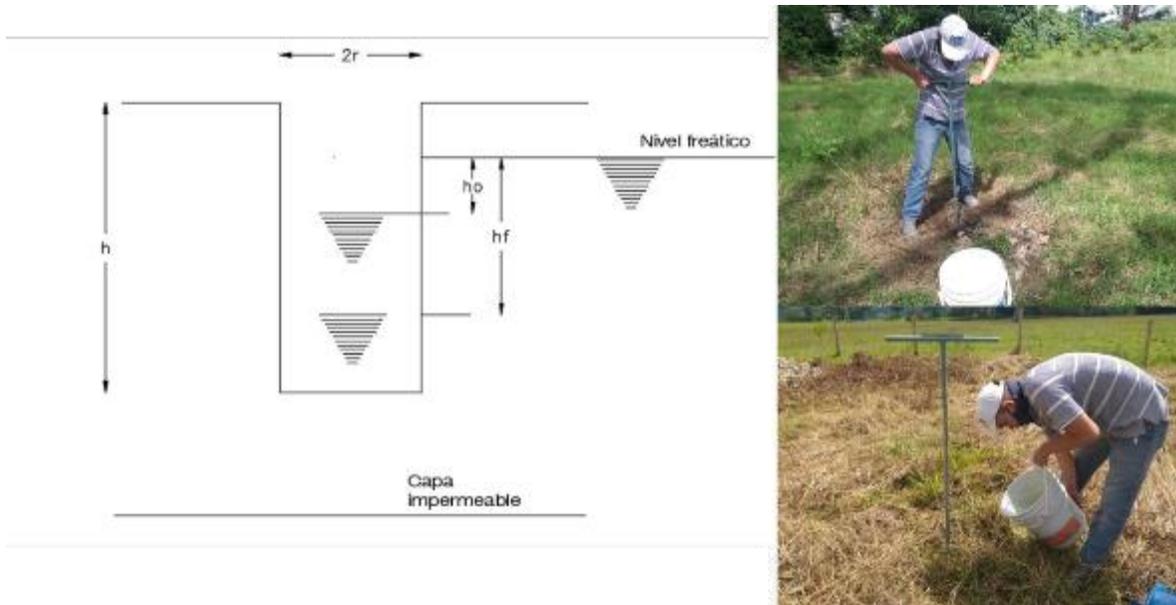
**Tabla 5.** Análisis físicos y químicos del suelo.

Horizonte	Análisis físico	Análisis químico
Ah	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Textura Bouyucos</li> <li>● Densidad aparente</li> <li>● Densidad real</li> <li>● Porosidad</li> <li>● Capacidad de campo (CC)</li> <li>● Punto de marchites permanente (PP)</li> <li>● Color</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● pH</li> <li>● Conductividad eléctrica (CE)</li> </ul>
Bt/c	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Textura Bouyucos</li> <li>● Color</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● pH</li> <li>● Conductividad eléctrica (CE)</li> </ul>
C <sub>1</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Textura Bouyucos</li> <li>● Color</li> </ul>	-
C <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Textura Bouyucos</li> <li>● Color</li> </ul>	-

Ah: primer horizonte encontrado desde la superficie del terreno, ubicado a una profundidad de 0.20 m, Bt/c: segundo horizonte encontrado desde la superficie del terreno, ubicado a una profundidad de 0.2 - 0.60 m, C<sub>1</sub>: tercer horizonte encontrado desde la superficie del terreno, ubicado a una profundidad de 0.6 - 1.05 m, C<sub>2</sub>: cuarto horizonte encontrado desde la superficie del terreno, ubicado a una profundidad de 1.05 – 1.45 m. Fuente: Autoría propia.

#### **4.10.1. Conductividad hidráulica**

La prueba de conductividad hidráulica se realizó por medio del método de pozo invertido, esta consiste en perforar el suelo con ayuda de un barreno holandés; la profundidad se da en función de los perfiles del suelo. Después de estar el pozo perforado, se añade agua hasta el borde del terreno, se contabiliza con un cronómetro el tiempo que tarda el agua en infiltrarse y la diferencia de altura entre el borde del terreno y el espejo de agua. Las diferencias de altura se toman cada 10 segundos durante el primer minuto y posterior cada 30 segundos hasta que esta sea constante.



**Figura 14.** Medición de conductividad hidráulica K en campo.

Una vez realizada la prueba de campo, se tabuló la información y se calculó la conductividad hidráulica con la siguiente ecuación:

$$k = 432r \frac{\ln\left(h_0 + \frac{r}{2}\right) - \ln\left(h_n + \frac{r}{2}\right)}{t_n - t_0}$$

Donde:

K: conductividad Hidráulica (m/día)

R: radio del pozo del barreno (cm)

$h_0$ : nivel de agua inicial (cm)

$h_n$ : nivel de agua final (cm)

$t_0$ : tiempo inicial (seg)

$t_n$ : tiempo final (seg)

#### 4.10.2. Infiltración

Según Parr & Bertrand (1960), la tasa de infiltración es gobernada solamente por la masa del suelo y es en gran parte, independiente de las condiciones superficiales. Para la determinación de infiltración acumulada se utilizó el método del doble cilindro o anillo en campo, estos se enterraron a 5 cm de profundidad aproximadamente para estabilizarlos y reducir su

inclinación. Una vez registrados los datos en campo, se procedió a tabular la información a partir del modelo de Kostiakov -1932.

#### **4.11. FILTRO DE GUADUA**

Para el filtro se aprovechó las partes de la cepa, sobrepasa y varillon de la guadua. El proceso se dio a partir de fragmentar la guadua en octavos de círculos con longitudes diferentes, esto con la ayuda de una sierra acolilladora y un mazo.

Las pruebas de laboratorio se realizaron dentro de las instalaciones de la Universidad Surcolombiana regional Pitalito, en el laboratorio de física y construcciones. Para estos ensayos se adoptó la metodología empleada por Torres y Claros (2017). Para las pruebas realizadas se tomó una muestra representativa de la población total de trozos de filtro en guadua, el tamaño de dicha muestra se calculó con la siguiente fórmula de muestras infinitas, esto se debe a que no conocemos el número total de fragmentos que conforman el volumen total del filtro:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * P * q}{e^2}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

$Z_{\alpha}$ = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza (NC)

P= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q= (1-P) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado (fracaso)

e= Error de estimación aceptado

##### **4.11.1. Determinación del volumen (cm<sup>3</sup>)**

Para poder obtener un rango estadístico representativo se tomó en consideración el tamaño de la muestra del filtro. Con la finalidad de obtener el perímetro y espesor de cada fragmento de filtro se empleó un calibrador de Vernier (rango de medición 150 mm y precisión 0.02 mm) y una cinta métrica (figura 15). Para el cálculo del diámetro se relacionó perímetro y espesor, teniendo en cuenta que cada fragmento era 1/8 del perímetro total de la circunferencia de la guadua. Finalmente se procedió a emplear la siguiente fórmula para el cálculo del volumen:

$$V_P = \frac{\pi * (D_e^2 - D_i^2)}{4} * L$$

Donde:

V<sub>p</sub>= Volumen promedio (cm<sup>3</sup>)

D<sub>e</sub>= Diámetro externo promedio (cm)

D<sub>i</sub>= Diámetro interno promedio (cm)

L=Longitud (cm)



**Figura 15.** Procedimiento para obtener volumen de los fragmentos del filtro.

#### **4.11.2. Porosidad del filtro (%) por el método volumétrico**

En la porosidad del filtro se usó un recipiente con sección rectangular de 20 cm x 50 cm x 50 cm, construido en MDF 9 mm y vidrio 4 mm, para la cara frontal se utilizó vidrio, para permitir observar el acomodamiento de las piezas como el nivel del agua, así mismo, las caras en MDF se impermeabilizaron con cinta adhesiva transparente. El volumen teórico del recipiente es 50000 mililitros, sin embargo, para calcular el volumen real o útil, se agregaron volúmenes de agua conocidos de 15000, 30000 y 45000 ml.



**Figura 16.** Proceso de aforo del recipiente y toma de volúmenes de filtro.

Una vez aforado el contenedor se procedió a ingresar fragmentos de filtro, teniendo en cuenta la cantidad de estos por volumen conocido. Para esto se realizaron 10 repeticiones por volumen para un total de 30 datos.

#### **4.11.3. Determinación del volumen real (cm<sup>3</sup>) por medición directa**

Una vez obtenidos los valores del volumen real y aparente de las muestras de los fragmentos de filtro, se procedió a calcular la porosidad con la siguiente ecuación:

$$P (\%) = \left[ \frac{V_a - V_r}{V_a} \right] * 100$$

Donde:

P= Porosidad del medio

V<sub>a</sub>= Volumen ocupado por los semicírculos y cuartos en el recipiente (ml)

V<sub>r</sub>= Volumen real del número de semicírculos y cuartos de círculo utilizados (ml)

### **4.12. DISEÑO DE DRENAJE AGRÍCOLA**

Para el diseño del drenaje agrícola se tomó en cuenta la literatura estipulada por (Jaramillo, 2013): “Drenaje agrícola notas de clase” de la Universidad Nacional de Colombia.

#### **4.12.1. Área de implementación**

El área de implementación para la instalación del sistema de drenaje se delimitó teniendo en cuenta los siguientes factores: zonas críticas, estudio freaticos, altimetría del terreno (depresiones del suelo) y factores índices de mal drenaje como lo son la compactación en el suelo y las plantas indicadoras de problemas de encharcamiento (anexo 9).

#### **4.12.2. Recolección de la información hidrometeorológica**

Para el análisis de la información hidrológica y climatológica se tuvo en cuenta el comportamiento de variables climáticas del área de la granja de la Universidad Surcolombiana, para esto fue necesario realizar una recopilación de la información climatológica. Los registros fueron tomados de la estación 21015020 Sevilla de Pitalito, facilitados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales) (anexos 10).

#### **4.12.3. Precipitación de diseño**

Para la precipitación de diseño se empleó el método de tiempo de retorno ( $T_r$ ), este es definido como una representación usada comúnmente para demostrar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo establecido; básicamente consiste en tabular las precipitaciones máximas en 24 horas registradas en la información obtenida del IDEAM, se ordenan de mayores a menores y se les asigna un número de orden, para posteriormente calcular el tiempo de retorno con la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{n + 1}{M}$$

Donde:

$T_r$ : Tiempo de retorno

$n$ : Años de registro

$M$ : Número de orden

Se debe tener en cuenta que para drenaje superficial la lluvia crítica con  $T_r = 5$  años y en drenaje subterráneo  $T_r = 1$  año. Para esta investigación se trabajó con tiempo de retorno de 5 años, aunque las condiciones del proyecto eran de drenaje subsuperficial se consideró que por la profundidad a la que los drenes iban a estar, se podía adoptar la condición de drenaje superficial. Finalmente, la precipitación resultante para el tiempo de retorno elegido es la lluvia de diseño.

#### **4.12.4. Espaciamiento entre drenes**

El espaciamiento entre los drenes se calculó por medio de la fórmula de Hooghoudt, empleando la fórmula del caso 1 donde se expone que el suelo cuenta con un solo extracto por ende con una sola conductividad hidráulica, esto debido a que se promediaron las

conductividades y se trabajó como si el suelo fuera uno solo (homogéneo), la ecuación empleada fue la siguiente:

$$l^2 = \frac{4kh}{R} * (2d + h)$$

Donde:

$$d = \frac{l}{8(Rh + Rr)}$$

$$Rh = \frac{(l - 1.4D)^2}{8Dl}$$

$$Rr = \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{0.7D}{r} \right)$$

El radio (r) fue tomado de las propiedades geométricas de la tubería.

l: espaciamiento entre drenes (mt)

k: conductividad hidráulica (mt/día)

h: altura del nivel freático en el punto medio de dos drenes (mt)

R: percolación (mt/día)

d: profundidad equivalente de Hooghoudt (mt)

Rh: resistencia horizontal (adimensional)

Rr: resistencia radial (adimensional)

r: radio, fue tomado de las propiedades geométricas de la tubería (mt)

#### **4.12.5. Escorrentía y caudal a evacuar por el canal colector.**

La escorrentía se calculó por el método de curva número (CN), el modelo sugiere que la escorrentía se debe estimar bajo la fórmula:

$$E = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)}$$

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

Donde:

E: Escorrentía de diseño (cm)

P: Precipitación de diseño (cm)

S: Infiltración Potencial (cm)

CN: Número de curva (adimensional)

Según la clasificación hidrológica del suelo (tabla 3), se establece el valor de CN (Tabla 2). Para el cálculo del caudal se empleó la fórmula del Ciprés Creek en zona planas las cuales no superan el 2% de pendiente:

$$Q = CA^{\frac{5}{6}}$$

Donde:

Q: descarga de diseño (lts/sg)

C: coeficiente de drenaje

A: área (Has)

Sin embargo, el coeficiente exponencial se omite ( $Q = CA$ ), puesto que para cuencas o áreas muy pequeñas es recomendable no agregarlo, para dar mayor confiabilidad a los resultados (Villón, 2006). El coeficiente de drenaje se calculó con la siguiente fórmula:

$$C = 4.573 + 0.162E$$

Según Jaramillo (2013), cuando existen presencia de tormentas críticas de larga duración, el análisis para la escorrentía se debe calcular por 24 horas y dividiendo el valor en 2, quedando de la siguiente manera.

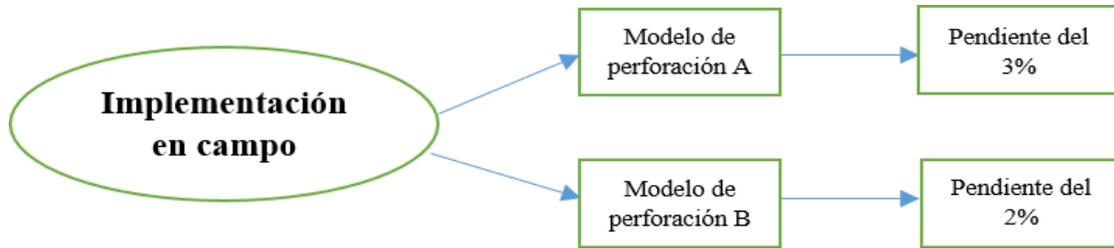
$$C = 4.573 + 0.162 \frac{E}{2}$$

#### **4.12.6. Dimensionamiento del canal colector**

A partir del cálculo del caudal a evacuar por el canal colector, se decidió implementar un canal trapezoidal con talud de 1/0.5, dichos datos se ingresaron al programa Hcanales (anexo 11), este nos permite determinar las características hidráulicas del canal. A partir de la topografía y el análisis mediante el programa civil 3d, se obtuvo el alineamiento del canal colector y trazado dentro del área establecida; calculando las cantidades de volumen de corte de dicha obra (anexo 12).

#### **4.12.7. Diseño de instalación en campo**

Las perforaciones utilizadas obedecen a dos modelos (A y B), el diseño de instalación tomó como relación dos bloques de 2% y 3%, de pendiente para los modelos de perforación establecidos (figura 17).



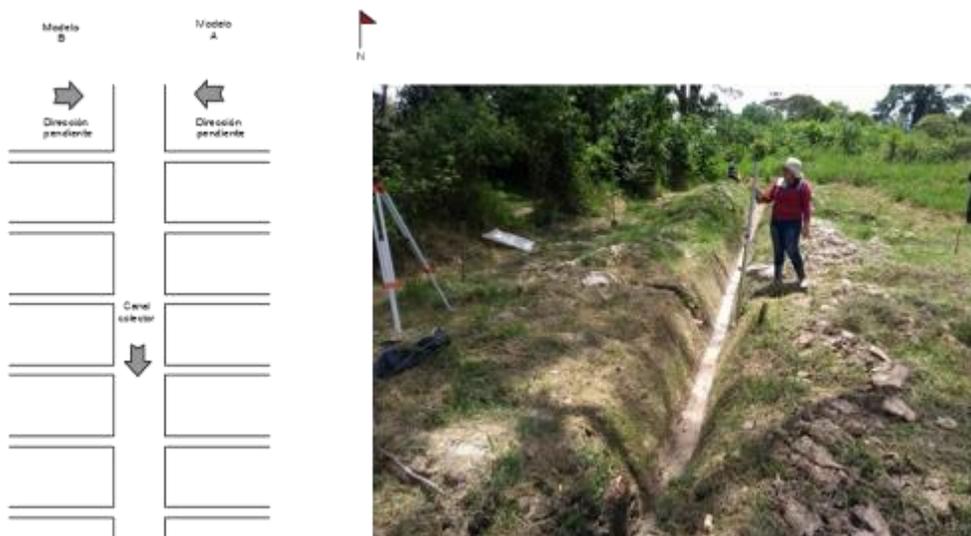
**Figura 17.** Diseño de implementación de la tubería en campo.

#### 4.12.8. Replanteo topográfico

El replanteo topográfico se realizó con la estación Topcon GTS 235, esto, para permitir ubicar con exactitud el canal colector y sus drenes, además, se realizó una nivelación con un nivel de precisión JOKKISHA 41657B2-A de las zanjas donde se instalaría la tubería de drenaje en guadua, esto para garantizar que las pendientes en los drenes (2-3%), como también del canal colector (1.5%).

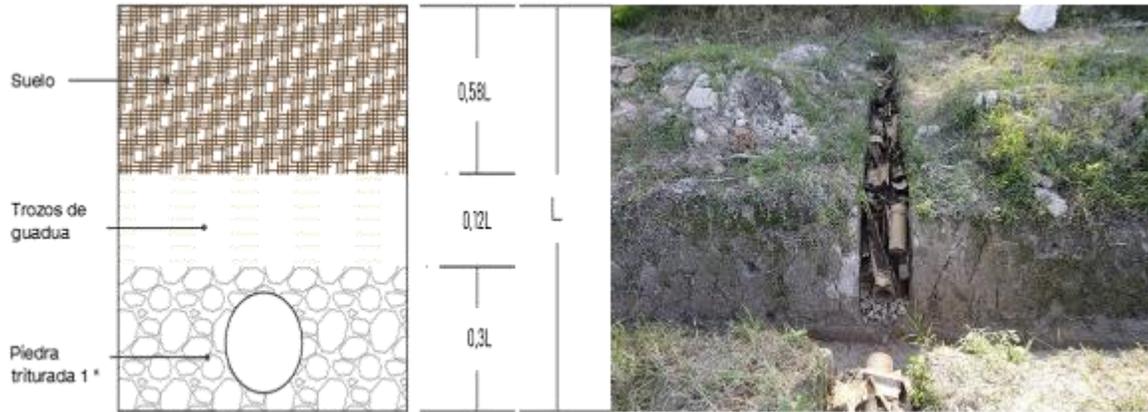
#### 4.12.9. Instalación de drenaje agrícola

El proceso de instalación se dio como continuidad al diseño del drenaje agrícola, a partir de los resultados de espaciamiento entre drenes y diseño de instalación, se realizó el proceso de excavación de forma manual, el sistema de drenaje acogido fue en forma de parrilla con descarga al colector principal ubicado en la parte central del área intervenida (figura 18). El área que se intervino dentro del predio de la granja USCO - Pitalito fue de 147 m<sup>2</sup>.



**Figure 18.** Implementación del sistema de drenaje agrícola en campo.

Los drenes enterrados contaron con dos tipos de material filtrante, la proporción empleada en mayor cantidad y recubriendo la tubería fue de piedra triturada de 1 pulgada de diámetro, seguidamente, trozos en guadua y para finalizar se tapó con la cobertura de suelo (figura 19).



**Figure 19.** Sección típica de filtro en gravilla y guadua *Angustifolia Kunth*.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

Las plantas indicadoras nos dan una ayuda visual hacia los problemas relacionados con mal drenaje dentro de un lote; con base en esto se pudo evidenciar dentro del terreno experimental las siguientes plantas:

- A. Junco (*Scirpus lacustris*): es una especie de planta acuática que crece en las riberas y que es posible de plantar en medios acuosos.
- B. Lenteja de Agua (*Lemna minor*): de acuerdo con Roldán (1992), es una planta acuática flotante de rápido crecimiento y de amplia distribución tropical y subtropical, que se desarrolla principalmente en lagunas.
- C. Escoba (*Sida Rhombifolia*): se encuentra en las partes bajas de regiones templadas, en regiones tropicales húmedas y subhúmedas, pero no en sitios muy áridos (Vibrans, 2010).



**Figura 20.** Junco (*Scirpus lacustris*), Lenteja de Agua (*Lemna minor*) y Escoba (*Sida Rhombifolia*).

Así mismo, se pudo identificar que en las zonas bajas o de depresión presentaban problemas de inundación y encharcamiento. Otro factor que se pudo observar dentro del reconocimiento fue la escorrentía en la zona, debido a la topografía, está albergaba escorrentías de las áreas aledañas, generando un aumento de fluido y agravando el problema de mal drenaje.

En la parte baja de la granja experimental se observó el cauce de una fuente hídrica identificada como quebrada El Pital, también se observó la existencia de una cajilla, donde caen las aguas residuales de las instalaciones de la universidad y son conducidas hacia la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR); así mismo se identificaron, tres piezómetros y cinco pozos de observación.

## 5.2. INVENTARIO FORESTAL DEL RODAL CON FINES DE APROVECHAMIENTO

El levantamiento topográfico realizado al rodal arrojó un área determinada de 1529,00 m<sup>2</sup>, para el inventario se obtuvo un tamaño de la muestra de 11,95 parcelas al azar en el área total del rodal, con un área de 100 m<sup>2</sup> cada una y una intensidad de muestreo del 71.14 %. Según NTC 5726 (2009), Camargo y colaboradores (2008a), el error estándar de la estimación tiene un límite del 10%, lo que indica que se realizó un adecuado inventario forestal del rodal. Así mismo, la tabla 6, muestra los valores de la media de la población y los intervalos de confianza para la media poblacional.

**Tabla 6.** Valores estadísticos y tamaño de la muestra del inventario.

Tamaño de la muestra (n)	Intensidad de muestreo (%)	Media de la población(culmos/ha)	Intervalo de confianza para la media poblacional (culmos/ha)		Error estándar de la estimación (%)
11,95	71,14	3854,55	3643,26	4065.84	5.7

Analizando el consolidado de las parcelas (tabla 6) se obtuvo un total de 424 culmos vivos, de los cuales, 236 culmos son adultos (guaduas maduras + guaduas sobremaduras), extrapolando dicha información se establecen 3854.55 culmos/Ha según el inventario forestal (tabla 7).

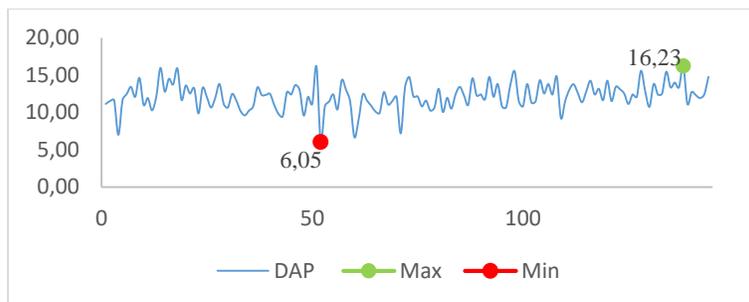
Camargo y colaboradores (2008b) indica que, un criterio que se puede emplear para definir la intensidad de cosecha está dado por las condiciones ideales de un gradual, así mismo, Castaño & Moreno (2004), afirman que un gradual en producción y bien manejado, debe tener una composición de culmos adultos entre el 30% y el 40% de la población total. Por lo que se infiere, que el rodal operado para este estudio es viable para procesos de aprovechamiento.

**Tabla 7.** Consolidado del inventario forestal al rodal.

Estado vegetativo						
	Rebrote	Biche	Madura	Sobremadura	Seca	Total
Total	46	98	165	71	44	424
Tallos parcela	4,18	8,91	15	6,45	4	38,55
Tallos por Ha	418,18	890,91	1500	645,45	100	3854,55
%	10,85	23,11	38,92	16,75	10,38	100,00

### 5.2.1. Longitud, volumen aparente y volumen neto de los culmos

Camargo y colaboradores (2008b) construyeron una tabla (anexo 13) para la estimación de la longitud, el volumen aparente y el volumen neto de los culmos, con respecto al diámetro a la altura del pecho (DAP) del culmo.



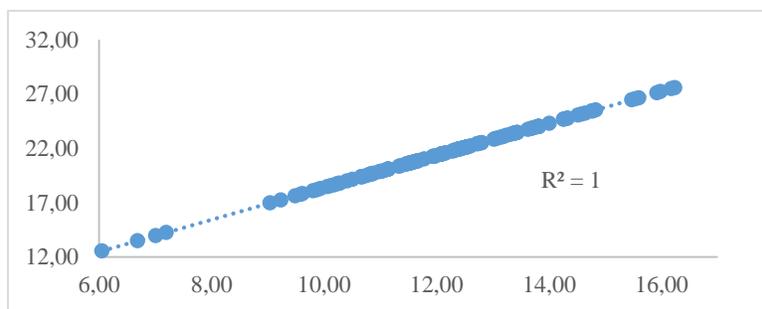
**Figura 21.** Gráfico del comportamiento de los DAP.

El intervalo de los DAP de los culmos maduros inventariados, se encuentran entre 6.05 cm a 16.23 cm (figura 21). Esto indica que la longitud, el volumen aparente y el volumen neto de los culmos se establecen dentro de los rangos (tabla 8) según Camargo (2008b).

**Tabla 8.** Intervalos de longitud y volúmenes de la guadua.

d (cm)	l (m)	V <sub>a</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>n</sub> (cm <sup>3</sup> )
6,02	12,5	0,0243	0,008
16,23	27,59	0,28	0,079

La figura 22, muestra un comportamiento directamente proporcional de los datos (DAP (cm) vs Longitud del culmo(mt)), esto indica que, a mayor diámetro a la altura del pecho, mayor longitud de la guadua según lo estipulado por Camargo (2008b).



**Figura 22.** Comportamiento del DAP vs longitud del culmo.

De igual manera con estos datos se puede apreciar que no existe dispersión significativa entre diámetros y longitud de culmos, ya que la ecuación de regresión lineal, que es la que mejor se ajusta entre estos dos parámetros, da como resultado un valor de  $R^2$  igual a 1 es decir una correlación alta. Orjeda (2009) muestra que, en datos dispersos y con valores de  $R^2$  lejanos a 1, carecen de procesos silviculturales con relación a la regeneración natural y las densidades de la población, así como en los raleos; otro factor también puede ser la variación en las calidades de sitios, ya que hay rodales que se encuentran en sitios de buena o muy buena calidad y otros en condiciones desventajosas.

### 5.2.2. Plan de manejo

Para establecer el régimen de cosecha se determinó según el modelo aritmético propuesto por Camargo y colaboradores (2008a). Este proceso se calcula a partir del procesamiento de la información de forma manual o con el uso de Excel, donde interactúan variables directas del inventario como son las cantidades de culmos vivos por hectárea. La densidad inicial estimada ( $D_i$ ) se obtiene del intervalo inferior de confianza (tabla 6) y los porcentajes de culmos según su estado de madurez se establecen con los valores reales extraídos del inventario forestal. La tabla 9, representa los valores de la intensidad en diferentes densidades de cosecha.

**Tabla 9.** Intensidad de cosecha.

$D_i$ (culmos/ha)	R	B	M	Sm	S	A	IC(%)	TCA	Tco	TR	IE(%)
3643	395	842	1418	610	378	2028	10	203	581	3062	16
3643	395	842	1418	610	378	2028	20	406	784	2859	22
3643	395	842	1418	610	378	2028	22	446	824	2819	23
3643	395	842	1418	610	378	2028	24	487	865	2778	24
3643	395	842	1418	610	378	2028	25	507	885	2758	24
3643	395	842	1418	610	378	2028	35	710	1088	2555	30
3643	395	842	1418	610	378	2028	40	811	1189	2454	33
3643	395	842	1418	610	378	2028	45	912	1291	2352	35
3643	395	842	1418	610	378	2028	48	973	1351	2292	37
3643	395	842	1418	610	378	2028	50	1014	1392	2251	38
%	10.85	23.12	38.92	16.74	10.38						

$D_i$ : densidad inicial estimada; R: rebrote; B: biche; M: maduras; Sm: sobremadura; S: secas; A: adultas (M+Sm); IC %: intensidad de cosecha sobre el total de culmos adultos; TCA: culmos comerciales adultos; TCo: culmos a aprovechar total; TR: culmos remanentes; IE %: intensidad de cosecha evaluada  $IE = \text{tocones} / (\text{tocones} + \text{culmos en pie})$ .

La proyección realizada permite conocer la intensidad de aprovechamiento, este valor no debe superar el 25%, para así garantizar un aspecto conservador dentro del rodal. La tabla 10, consigna los valores de culmos adultos aprovechar por hectárea y por rodal.

**Tabla 10.** Culmos aprovechables para el área intervenida.

Estado	Culmos /Ha	Entresaca (%)	Extracción culmos /ha	Extracción culmos /Rodal
Renuevos ( R)	395			
Biches (B)	842			
Secos (S)	378	100	378	59
Adultas (M+Sm)	2028	25	507	79
Total	3643		885	138

Posteriormente de haber realizado el aprovechamiento según la intensidad establecida, se espera una nueva estructura para el rodal. La tabla 11, estima la proyección del rodal después de la intervención.

**Tabla 11.** Estructura después del aprovechamiento programado.

Di	IC	Df	R	B	A	S
3643	10	3062	395	842	1825	0
3643	20	2859	395	842	1622	0
3643	22	2819	395	842	1582	0
3643	24	2778	395	842	1541	0
3643	25	2758	395	842	1521	0
3643	35	2555	395	842	1318	0
3643	40	2454	395	842	1217	0
3643	45	2352	395	842	1115	0
3643	48	2292	395	842	1054	0
3643	50	2251	395	842	1014	0

Df: densidad final.

Las características de pos-intervención del rodal deben garantizar el estado de equilibrio dentro del mismo, para las densidades totales de los culmos en el menor tiempo posible. La tabla 12, muestra la cantidad de culmos vivos, presente luego del aprovechamiento (segunda cosecha).

**Tabla 12.** Cantidad de culmos aprovechables luego de la cosecha.

ESTADO	N° culmos/Ha	Culmo/rodal
Renuevos ( R)	395	61
Biches (B)	842	131
Secos (S)	0	0
Adultas (M+Sm)	1541	239
Total	2278	432

La intensidad de cosecha (IC) no debe exceder el 25% para el área establecida, a tal punto que se pueden extraer 79 culmo del rodal por año (tabla 10), así mismo para garantizar un estado de equilibrio en la densidad total de los culmos a través del tiempo, implica tener encuentra una periodicidad en el proceso de entresaca del rodal. Según (Castaño & Moreno 2004) en las experiencias de la CAR (corporaciones autónomas regionales), aprecian que la periodicidad de raleo debe ser entre 18 y 24 meses con un promedio de 20 meses por gradual y así mismo para el próximo aprovechamiento se debe realizar un inventario con el fin de determinar la cantidad de culmo y su estado de madurez.

A partir del inventario forestal realizado al rodal de la finca Bélgica predio Berlín-Molinarés, se determina una extracción de 19 culmos Adultos cada trimestre del año, con la intención de mantener el equilibrio ecológico dentro de este ecosistema. No obstante, dicha periodicidad de corte depende de los intereses del productor. De esta manera, fueron cedidas y aprovechadas un total de 16 guaduas para su posterior transformación e implantación como tubería de drenaje agrícola.

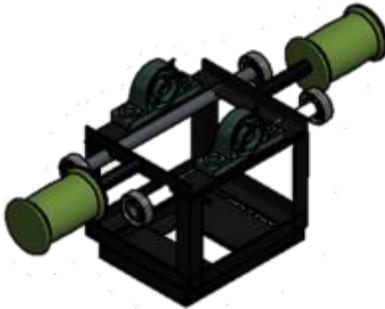
### **5.3. BANCO DE PERFORACIÓN DE ENTRENUDOS**

La máquina de perforación de entrenudos, tuvo un resultado satisfactorio respecto al cumplimiento de su función y criterio de construcción, donde, logró perforar el tabique transversal que interrumpe la cavidad de la sección, de manera limpia y sin ocasionar daño o desgaste alguno a las fibras del material implementado (guadua). Este proceso permitió la transformación del culmo en tubería.

### 5.3.1. Dimensionamiento

La tabla 13, enseña los elementos utilizados para el desarrollo del banco de perforación, así mismo, la figura 23 muestra el resultado final de la construcción del banco de perforación de entrenudos.

**Tabla 13.** Descripción de los componentes del banco de perforación de entrenudos.

Ítem	Descripción	Material	Cantidad	Peso (Kg)	Boceto
Bastidor	Soporte para la ubicación de la guada durante el rompimiento de los nudos	Madera nogal	1	8,112	
	Tornillo de potencia	Acero no aleado	2	0,824	
Broca de corte	Eje	Acero galvanizado	1	6,839	
	Cabeza de corte	Acero forjado	1	0,751	
	Cuchillas	Acero inoxidable	2	0,026	
Carrito	Manubrio	Madera torneada	2	1,09	
	Chumacera de pedestal	Hierro fundido	2	0,244	
	Base motor	Acero suave	1	2,146	
	Eje	Acero galvanizado	2	1,798	
	Rodamiento	Acero suave	4	0,484	
	Armazón	Acero suave	1	3,431	

Continuación. Tabla 13. Descripción los componentes del banco de perforación de entrenudos.

Ítem	Descripción	Material	Cantidad	Peso (Kg)	Boceto
Marco	Platinas	Madera nogal	4	6	
	Riel	Metal	2	3,862	
	Soporte	Madera	1	30	
Rodamiento de apoyo	Rodamiento	Acero suave	1	0,121	
	Soporte	Hierro fundido	1	0,740	



**Figura 23.** Banco de perforación de entrenudos de la guadua *Angustifolia Kunth*.

Las dimensiones se indican en la tabla 14, así como la sección de los perfiles implementados para el marco.

**Tabla 14.** Dimensiones del banco de perforación de entrenudos.

Alto (m)	Ancho (m)	Largo (m)
0.8	0.38	3.20
Sección de perfiles (cm)		5 x 10 cm

### 5.3.2. Rompimiento de entrenudos de la guadua

La guadua pasó por un proceso de acondicionamiento para transformarla en tubería para ello se empleó el banco de perforación de entrenudos, facilitando el trabajo de adecuación de la tubería. A continuación, se describe el proceso ejecutado para romper los entrenudos:

- A. Se tomó la parte media de la guadua (Basa) y se cortó con una longitud de 3 metros.
- B. Se dispuso la guadua sobre el bastidor para avanzar con la perforación de los entrenudos, el recorrido de la broca de corte es de 1.5 metros, por lo que se hizo necesario dar vuelta a la guadua por ambos extremos y así lograr perforar la totalidad de su longitud.
- C. Una vez perforado el entrenudo, se procedió a pulir cada uno, esto se logró haciendo girar la guadua gradualmente sobre la estructura, mientras las cuchillas perfilaban sus bordes internos.



**Figura 24.** Proceso de rompimiento del tabique transversal de la guadua *Angustifolia Kunth*.

Dentro de este proceso se evidenciaron algunas particularidades a la hora del rompimiento; cuando el nudo se rompía en dirección cóncavo respecto a los filos se facilitaba su proceso, a comparación que cuando se ubicaba de manera convexa se requería mayor esfuerzo. Las guaduas que contenían agua entre sus nudos o contaban con un alto contenido de humedad tenían un corte más rápido. Según Gutierrez y Takeuchi (2014), “la sección de la guadua

donde hay una mayor presencia de tejido parenquimático (parte inferior) es la que presenta una mayor variación de la resistencia debido al contenido de humedad”.

#### 5.4. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA TUBERÍA

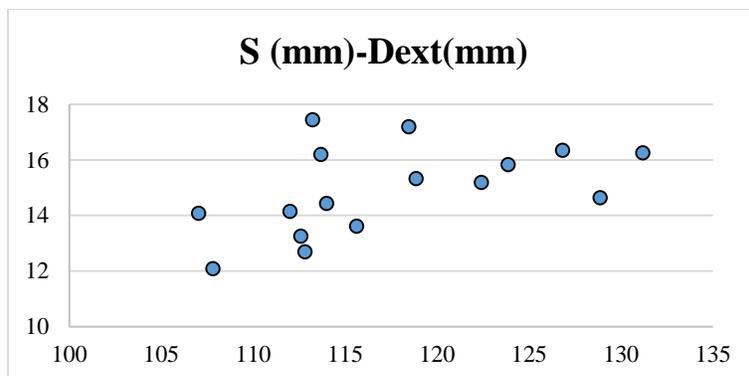
Las pruebas realizadas a los espesores promedios y diámetros internos de cada guadua se analizaron a partir de estadística descriptiva (tabla 16), las variables de tendencia central no presentan variación significativa. A partir de la prueba de Shapiro-Wilk, existe normalidad en las muestras ya que  $p\text{-value} > 0.05$ . La desviación estándar y varianza del espesor de la guadua indica que los datos recolectados no se encuentran tan dispersos alrededor de su media, en comparación a los diámetros internos. Se puede inferir que existe una distribución platicúrtica, menor concentración de datos en torno a la media.

**Tabla 15.** Estadística descriptiva de espesores y diámetros internos de la guadua.

<i>Espesor de Guadua - Basa (mm)</i>		<i>Diámetros internos prom (mm)</i>	
Media	14.91	Media	87.63
Error típico	0.39	Error típico	1.59
Mediana	14.91	Mediana	86.77
Moda	-	Moda	#N/A
Desviación estándar	1.57	Desviación estándar	6.35
Varianza de la muestra	2.48	Varianza de la muestra	40.29
Curtosis	-0.81	Curtosis	-0.41
Coefficiente de asimetría	-0.11	Coefficiente de asimetría	0.49
Rango	5,36	Rango	21.26
Mínimo	12.08	Mínimo	78.35
Máximo	17.44	Máximo	99.61
Cuenta	16	Cuenta	16
Shapiro-Wilk Test			
W-stat	0.98	W-stat	0.95
p-value	0.92	p-value	0.55
alpha	0.05	alpha	0.05
Normal	Yes	Normal	yes

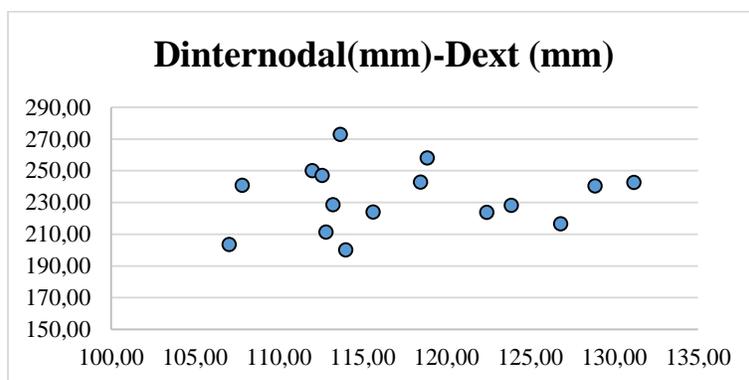
Las propiedades geométricas básicas consideradas por medio de un análisis estadístico como el diámetro exterior (Dext.), espesor (S), longitud internodal (Dinternodal) y número de nudos (Nn), muestran que los valores máximos y mínimos en general, no presentan mayor dispersión, con rangos de 5.36 mm para espesores y 21.26 mm para diámetros internos. La

mayor probabilidad de diámetros internos para esta guadua estudiada se encuentra entre los intervalos 78.35 mm y 99.61 mm siendo el promedio de 87.63 mm como la medida más común y probable que tenga un culmo de guadua.



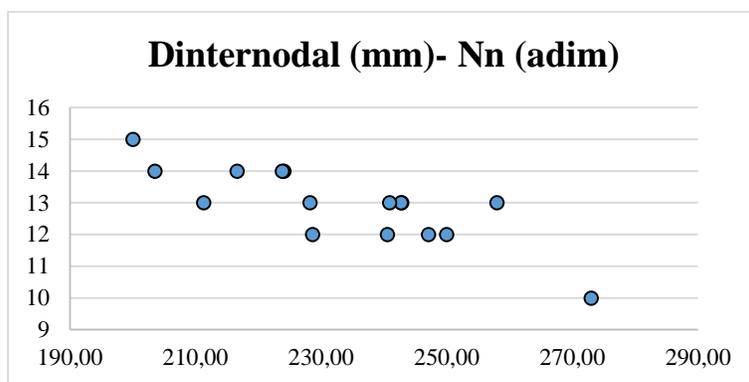
**Figure 25.** Comportamiento del espesor de la guadua vs diámetro externo.

El espesor de la pared de la guadua (S) en comparación con los diámetros externos ubicados en el eje de las abscisas como lo ilustra la figura 25, instruye la proporcionalidad de estas características propias de los culmos de guadua, cuando existe un aumento sustancial de los diámetros externos, el espesor de las paredes aumenta.



**Figura 26.** Comportamiento del diámetro interno vs diámetro externo.

El diámetro externo en relación con la distancia internodal (distancia entre los nudos) ubicada en el eje de la ordenada, como se aprecia figura 26, no muestra proporcionalidad para esta variable, ya que a medida que el diámetro externo aumenta es menos la distancia; esta varía dependiendo la especie de bambú (Sajjala & Kala, 2017). Esta característica es corroborada por (Ximena & Luis, 2013), al medir la regresión negativa entre dichas variables obteniendo resultados muy similares.



**Figura 27.** Comportamiento del diámetro interno vs número de nudos.

La distancia internodal con relación a la cantidad de nudos (Nn) (figura 27), muestra una relación negativa o no proporcional, es decir, a mayor distancia internodal (Dinternodal) menor cantidad de nudos sobre los culmos de guadua, visto de otra manera, esta característica en gran medida ha permitido asociar las capacidades mecánicas del material, Bahtiar y colaboradores (2021) indica que, los diafragmas endurecen el culmo hueco y resiste al pandeo, por lo que los entrenudos más cortos dan como resultado una mayor rigidez de la columna.

## 5.5. FREATÍMETRIA

El seguimiento del nivel freático en el área de la granja experimental USCO – Pitalito, se estimó con las lecturas de 3 pozos de observación para el mes de mayo y 5 para diciembre de 2020. Los datos recolectados en campo se pueden estimar en la tabla 19 y 20; así mismo, en la tabla 18 se aprecian las coordenadas y nomenclatura de los pozos de observación y piezómetros. Dicha información facilito mapear las isobatas e isohipsas del terreno.

**Tabla 16.** Coordenadas planas de pozos de observación y piezómetros.

ITEM	Nomenclatura	Coordenadas		
		X	Y	Z
Pozo 1	Pz 1	1115092,86	694248,59	1296,78
Pozo 2	Pz 2	1115105,95	694275,67	1296,84
Pozo 3	Pz 3	1115192,68	694266,71	1296,93
Pozo 4	Pz 4	1115145,6	694261,79	1297,41
Pozo 5	Pz 5	1115119,34	694231,07	1297,2
Piezómetro 1	Pi 1	1115095,02	694246,1	1296,84
Piezómetro 2	Pi 2	1115104,74	694276,94	1296,9
Piezómetro 3	Pi 3	1115139,31	694259,34	1297,4

**Tabla 17.** Lecturas del mes de mayo.

	Mayo														
	1- may	3- may	5- may	7- may	9- may	11- may	13- may	15- may	17- may	19- may	21- may	23- may	25- may	27- may	29- may
Pz 1	0,485	0,656	0,662	0,729	0,657	0,67	0,661	0,669	0,677	0,679	0,704	0,75	0,662	0,647	0,647
Pz 2	0,547	0,59	0,628	0,928	0,621	0,663	0,655	0,859	0,736	0,837	0,889	0,96	0,641	0,653	0,669
Pz 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pz 4	0,336	0,45	0,46	0,685	0,419	0,457	0,45	0,657	0,511	0,621	0,686	0,685	0,428	0,452	0,451
Pz 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pi 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,345	0,627	1,1
Pi 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,118	0,661	0,67
Pi 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,48	0,67	1,09

**Tabla 18.** Lecturas del mes de diciembre.

	Diciembre				
	16-dic	18-dic	20-dic	23-dic	25-dic
Pz 1	0,806	0,76	0,88	0,925	0,84
Pz 2	0,67	0,64	0,705	0,72	0,68
Pz 3	0,36	0,34	0,515	0,58	0,45
Pz 4	0,49	0,42	0,67	0,67	0,56
Pz 5	0,527	0,41	0,66	0,8	0,6
Pi 1	0,4	0,4	0,415	0,42	0,41
Pi 2	0,625	0,65	0,66	0,63	0,64
Pi 3	0,675	0,68	0,67	0,675	0,675

### 5.5.1. Isobatas

Los mapas de isobatas nos muestran el área más afectada por la presencia de altos niveles freáticos. El color rojo y naranja indica necesidad de drenaje con niveles freáticos altos (0 – 1 m de profundidad) y los colores verdes muestran una buena situación de drenaje o una adecuada ubicación del nivel freático en el suelo (>1.5 m de profundidad). La figura 28 y 29 muestra el comportamiento de la profundidad del nivel freático durante los meses de mayo y diciembre del año 2020.

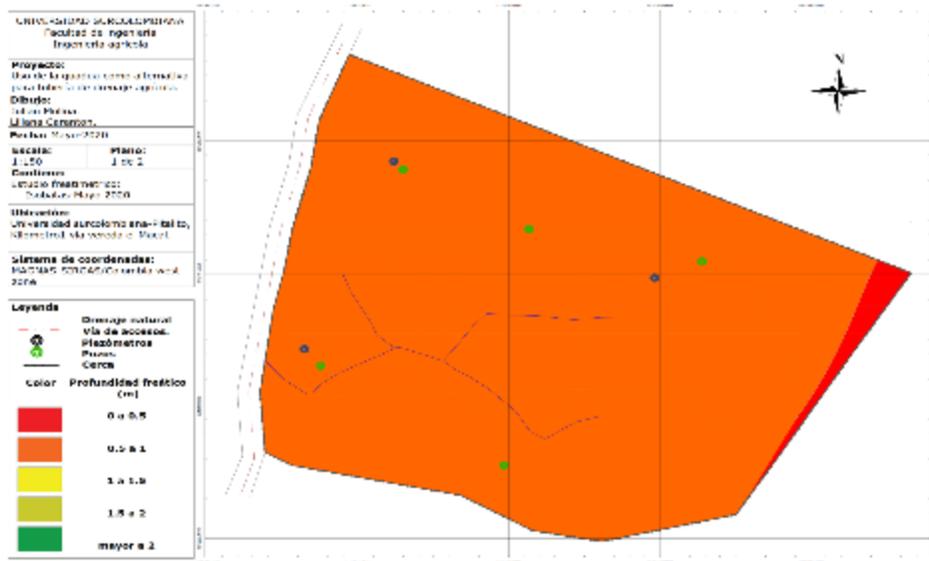


Figura 28. Mapas de isobatas para el mes de mayo.

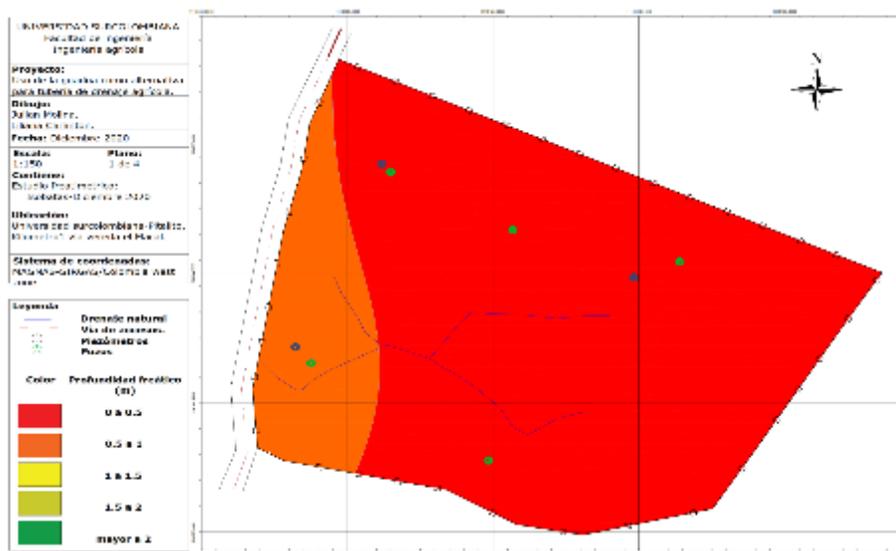


Figura 29. Mapas de isobatas para el mes de diciembre.

Según Jiménez y colaboradores (2019), el seguimiento diario del nivel freático en un suelo FAR con topografía relativamente plana, permite evidenciar que este presenta una dinámica espacio-temporal variable, debido tanto a la naturaleza del fenómeno observado como a la anisotropía del suelo, a pesar de pertenecer a una misma unidad cartográfica de suelos.

### 5.5.2. Isohipsas

Los mapas de isohipsas se realizan con el dato de la elevación menos la altura del nivel freático. Las isohipsas nos permiten conocer la dirección del agua y el gradiente hidráulico. La figura 30 y 31 muestran el comportamiento de la dirección del flujo (las flechas rojas) para los meses de mayo y diciembre respectivamente. La orientación del agua para ambos meses corrobora que existe concentración de depósito de fluido en la zona experimental de estudio.

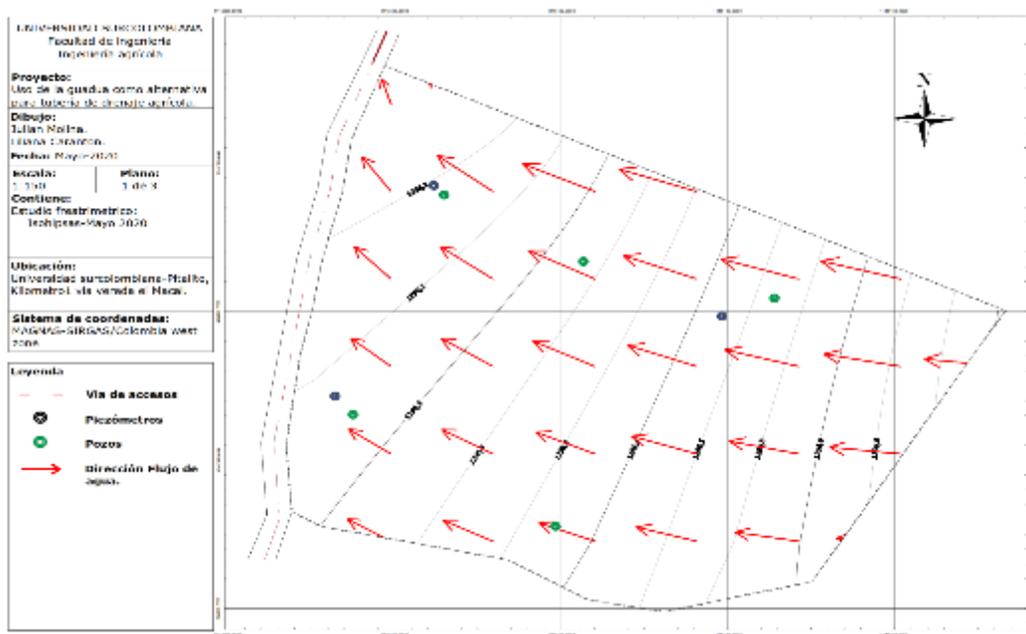


Figure 30. Mapa de isohipsas para el mes de mayo.

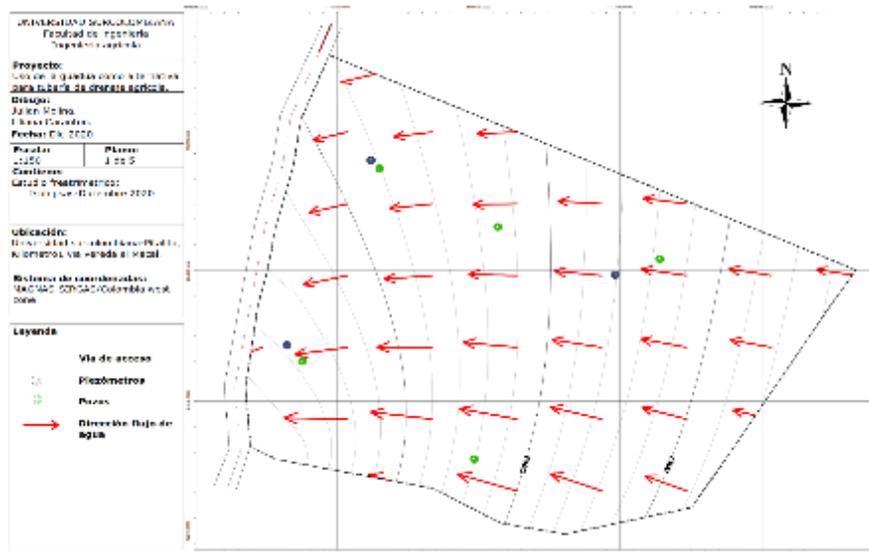


Figure 31. Mapa de isohipsas para el mes de diciembre.

## 5.6. ESTUDIO EDAFOLÓGICO

Según el análisis de campo, a partir de la inspección de la calicata establecida en el área de estudio, se pudo determinar que las condiciones de drenaje externo son imperfectas y drenaje interno nulo, el material parental es ígneo o sedimentario, con un régimen de humedad en el suelo udíco, de clase agrologica III, orden Alfisol, suborden Ustalf, con un horizonte superficial Argílico y procesos de óxido reducción que se incrementan en profundidad a partir del segundo horizonte.

Tabla 19. Información recolectada en campo de la inspección de la calicata.

Horizonte	Textura	Estructura	Consistencia	Poros	Raíces	Microorganismos
Ah	FAR	Bloques angulares	Húmedo: Friable Mojado: Ligero a moderadamente plástico	Abundante	Abundante	Abundante
Bt/c	Ar	Bloques angulares	Seco: Duro Mojado: Plástico	Abundante	Bajas	Escaso
C <sub>1</sub>	Ar	Masiva	Seco: Duro Mojado: Muy pegajoso	Limitado	Escasas	Nula
C <sub>2</sub>	Ar	Masiva	Seco: Muy duro Mojado: Muy plástico	Muy escaso	Muy escasas	Nula

Las principales características morfológicas del suelo estudiado se dan por el orden de los Alfisoles con horizonte argílico subsuperficiales con moderada o alta saturación de bases, como consecuencia en esta área existe predominancia de textura arcillosa. La tabla 20 muestra la textura predominante en el perfil Ah es Franco arcillosa (FAR), donde existe abundante presencia de actividad orgánica y de microorganismos, el segundo perfil Bt/c es predominante la textura Arcillosa (Ar), donde se evidencia proceso de óxido reducción férricos y ferrosos; para el tercer y cuarto perfil C1 y C2, la textura predominante son arcillas con procesos redox abundantes, así mismo la presencia de un horizonte gleyzado, una de las características redoxmórficas y gleyzación son los problemas asociados al mal drenaje y como posible solución, la implementación de sistemas de drenaje (Arias, *et al.*, 2010).

La tabla 20 muestra los resultados de laboratorio realizados a las muestras recolectadas en campo.

**Tabla 20.** Resumen de los resultados de laboratorio.

Horizon.	Textura de Bouyucos	Color	Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	pH	% Capacidad de campo (CC)	% Punto de marchites permanente (PP)	Conductividad eléctrica (dS/m)
Ah	Franco	10 YR 7/3	2.44	1.36	4.28	27.7	16.3	0.9
Bt/c	Franco Arcilloso	10 YR 8/3	-	-	5.41	-	-	0.06
C <sub>1</sub>	Franco Arcillo Limoso	10 YR 8/2	-	-	-	-	-	-
C <sub>2</sub>	Arcilloso	10 YR 8/1	-	-	-	-	-	-

Según Bernal y colaboradores (2015), los suelos que tienen un pH entre 6 y 7 resultan ideales, ya que en este intervalo de pH da lugar la asimilación de casi todos los nutrientes. Así mismo, los suelos bien drenados presentan pH ideales, mientras que, en zonas que presentan problemas de encharcamiento el pH es ácido.

### 5.6.1. Conductividad hidráulica (K)

Los valores de K se pueden estimar en la tabla 21; una vez calculado, se halló un promedio de las conductividades por estrato para el diseño del sistema de drenaje, arrojando un valor de  $K = 0.34$  m/día.

**Tabla 21.** Valores de conductividad hidráulica.

Estratos	Conductividad
Estrato 1	0,65
Estrato 2	0,2
Estrato 3	0,17

Como se puede apreciar en la tabla 22, según el valor de K se puede estimar un grado de permeabilidad del suelo. Para este caso, se sitúa en el rango de permeabilidad baja. Para (Saxton & Rawls, 2006), estimar los efectos hidrológicos del agua en el suelo y conocer las características que asocian al potencial hídrico y la conductividad hidráulica, se debe emplear variables del suelo como materia orgánica (MO), estructura y textura.

**Tabla 22.** Grado de permeabilidad del suelo.

Grado de permeabilidad	Conductividad hidráulica (cm/s)
Elevada	Superior a $10^{-1}$
Media	$10^{-1}$ a $10^{-3}$
Baja	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
Muy baja	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
Prácticamente impermeable	Menor de $10^{-7}$

Fuente: Whitlow, 1994.

La conductividad hidráulica puede tener dos tipos de escenarios, por un lado, se da cuando el suelo está totalmente saturado ( $K_{sat}$ ), por otro lado, cuando un suelo está parcialmente saturado o insaturado. En suelo insaturado la conductividad hidráulica se ve claramente afectada por el grado de saturación o contenido del agua en el medio poroso; dentro de la dinámica del suelo a medida que el aire gana espacio en los poros más grandes llenos de agua, ocasiona que el fluido transite por los poros más pequeños de una manera más tortuosa en la trayectoria del flujo (Gallage, *et al.*, 2013).

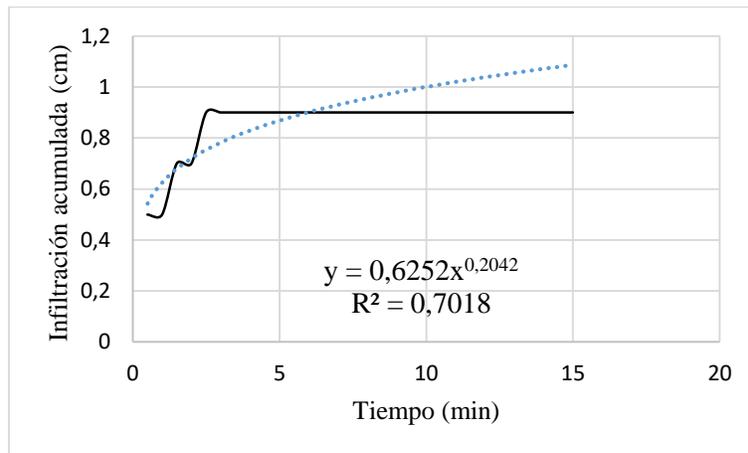
### 5.6.2. Infiltración

El procesamiento de los datos obtenidos en campo por el método de doble anillo, se pueden apreciar en la tabla 23.

**Tabla 23.** Procesamiento de datos para el cálculo de infiltración.

n	Tiempo (seg)	Nivel del agua (mm)	Ln t	Ln d	Ln t * Ln d	(Ln t) <sup>2</sup>
1	30	155	3,401	5,043	17,154	11,568
2	60	155	4,094	5,043	20,650	16,764
3	90	157	4,500	5,043	22,694	20,248
4	120	157	4,787	5,056	24,207	22,920
5	150	159	5,011	5,056	25,335	25,106
6	180	159	5,193	5,069	26,323	26,967
7	210	159	5,347	5,069	27,104	28,592
8	240	159	5,481	5,069	27,781	30,037
9	270	159	5,598	5,069	28,378	31,342
10	300	159	5,704	5,069	28,912	32,533
11	360	159	5,886	5,069	29,836	34,646
12	600	159	6,397	5,069	32,425	40,921
13	900	159	6,802	5,069	34,481	46,273

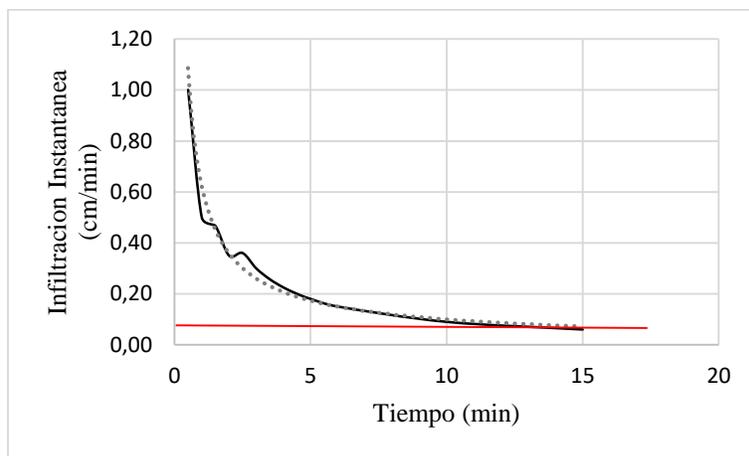
En la figura 32 se puede observar el comportamiento de las láminas de infiltración acumulada con relación al tiempo, se aprecia que los valores de infiltración se vuelven constantes con el transcurso del tiempo. De igual manera la función resultante de la curva potencial de infiltración acumulada permite determinar la infiltración básica (Ib) (Tabla 24).



**Figure 32.** Infiltración acumulada.

**Tabla 24.** Valor de infiltración básica.

A	B	a	b	Tb (min)	Ib (cm/min)
0,6252	0,2042	0,13	-0,8	7,958	0,025



**Figure 33.** Velocidad de infiltración.

En la figura 33, se observa que la velocidad de infiltración ( $V_i$ ) tiende a hacerse constante en el tiempo. Esta velocidad es conocida como infiltración básica ( $I_b$ ). La forma de determinar gráficamente el valor de  $I_b$ , es trazar una recta que forme una asíntota de la curva que corta el eje de ordenadas, dicho valor interceptado corresponde a su valor. Según Rojas (2001) & Rodríguez (2018), la  $V_i$  básica obtenida puede clasificarse como baja, con suelos superficiales, altos en arcilla y bajos en materia orgánica.

## 5.7. PRUEBAS DE LABORATORIO DEL FILTRO DE GUADUA

Después de realizar los ensayos en laboratorio, se tabularon los datos y se aplicó estadística descriptiva. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

### 5.7.1. Volumen del filtro

En la tabla 25 se muestran los valores promedios obtenidos a partir de las pruebas realizadas para el volumen del filtro en guadua, se tuvo en cuenta el perímetro, espesor y diámetros interno y externo.

**Tabla 25.** Valores de volumen del filtro.

Tamaño de la muestra	Longitud (cm)	Perímetro (cm)	Espesor (cm)	Diámetro Ext (cm)	Diámetro Int (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
346	18,14	31,97	1,31	15,92	7,55	349,57

La no estandarización de un modelo homogéneo de filtro, implica el aumento del valor del volumen que este ocupa en un determinado espacio. Según Torres & Claros (2017), un filtro

con geometría en semicírculos y cuartos de círculos, ocupan un volumen considerablemente más bajo.

### 5.7.2. Porosidad del filtro

En la tabla 26 se pueden apreciar los valores del volumen aparente, valores promedios del volumen del filtro, volumen real y el porcentaje de porosidad para el filtro.

**Tabla 26.** Valores de volumen real y porosidad.

Volumen aparente Va (ml)	Número promedio de trozos	Volumen promedio Vp (ml)	Volumen real Vr (ml)	Porosidad (%)
15000	29	92,31	2676,99	82,15
30000	52	92,31	4800,12	84,00
45000	74	92,31	6830,94	84,82

Los valores obtenidos de porosidad del filtro en guadua muestran un alto porcentaje de vacíos. Es fácil observar que cuando la porosidad aumenta, el flujo a través del lecho es mucho mejor, por lo que a su vez la permeabilidad aumenta (Ibartz, 2008).

Para Gualteros & Chacón (2015), en los medios filtrantes gruesos los poros pueden ser más grandes que las partículas que se van a separar, las cuales pueden acompañar al fluido alguna distancia a través del medio, pero son retenidas más tarde por el medio filtrante en los finos intersticios que existen entre las partículas que lo constituyen.

## 5.8. DISEÑO DE DRENAJE

Para el diseño y construcción del sistema de drenaje en guadua *Angustifolia Kunth*, se tabuló la información suministrada por el IDEAM para el cálculo de precipitación de diseño. De igual forma, para el espaciamiento entre drenes se tuvo en cuenta el resultado de las propiedades geométricas de la tubería.

### 5.8.1. Precipitación de diseño

**Tabla 27.** Valores de tiempo de retorno y probabilidad de ocurrencia.

M	AÑO	Precipitación Máxima de 24 Hr (mm)	Tr	Probabilidad de ocurrencia
1	1997	172,0	46,00	2,22
2	1987	78,0	23,00	4,44
3	1991	74,4	15,33	6,67
4	1981	70,2	11,50	8,89

Continuación. Tabla 27. Valores de tiempo de retorno y probabilidad de ocurrencia.

M	AÑO	Precipitación Máxima de 24 Hr (mm)	Tr	Probabilidad de ocurrencia
5	1999	65,4	9,20	11,11
6	2008	60,4	7,67	13,33
7	1975	57,8	6,57	15,56
8	1974	56,6	5,75	17,78
9	2010	56,4	5,11	20,00
10	1983	56,3	4,60	22,22
11	1971	55,0	4,18	24,44
12	2007	54,8	3,83	26,67
13	1976	53,0	3,54	28,89
14	1993	51,0	3,29	31,11
15	1978	50,2	3,07	33,33
16	1977	50,0	2,88	35,56
17	1988	50,0	2,71	37,78
18	2011	49,4	2,56	40,00
19	1979	49,3	2,42	42,22
20	1998	48,0	2,30	44,44
21	1990	47,1	2,19	46,67
22	2003	47,0	2,09	48,89
23	2006	47,0	2,00	51,11
24	1985	46,9	1,92	53,33
25	1992	44,8	1,84	55,56
26	1996	44,6	1,77	57,78
27	2004	44,5	1,70	60,00
28	2014	43,6	1,64	62,22
29	2013	43,4	1,59	64,44
30	2002	42,3	1,53	66,67
31	1986	42,2	1,48	68,89
32	2001	41,1	1,44	71,11
33	1972	40,6	1,39	73,33
34	1995	40,5	1,35	75,56
35	2012	40,5	1,31	77,78
36	2015	39,4	1,28	80,00
37	1973	39,2	1,24	82,22
38	1989	38,2	1,21	84,44
39	2005	38,0	1,18	86,67
40	1994	37,8	1,15	88,89
41	1980	36,8	1,12	91,11
42	2000	36,6	1,10	93,33
43	2009	34,4	1,07	95,56
44	1982	34,0	1,05	97,78
45	1984	31,6	1,02	100,00

El análisis de precipitación se realizó para determinar la lluvia de diseño (tabla 29). Para este estudio se hizo un análisis de frecuencia de lluvias entre los años 1971 - 2015, registradas por la estación meteorológica 21015020 Sevilla de Pitalito. Los datos estaban dados en milímetros por 24 horas (día), por lo que la precipitación de diseño se halló en mm/día.

Pizarro (citado por Baca, 2009), indica que el análisis de frecuencia de eventos de lluvia es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de las lluvias ocurridas en un periodo dado. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica.

### 5.8.2. Espaciamiento entre drenes

El espaciamiento entre drenes se calculó a partir de la ecuación de régimen permanente de Hooghoudt, teniendo en cuenta la conductividad hidráulica, la precipitación de diseño, longitud y diámetro de la tubería, altura del nivel freático en el punto medio y profundidad equivalente de Hooghoudt. La tabla 28, muestra los valores correspondientes.

**Tabla 28.** Valores de distanciamiento entre drenes.

Conductividad hidráulica (m/día)	precipitación de diseño (m/día)	Longitud de la tubería (m)	Diámetro de la tubería (m)	Altura del nivel freático en el punto medio (m)	Profundidad equivalente de HOOGHOUT T (m)	Distanciamiento entre drenes (m)
0,34	0,0563	3	0,088	0,4	0,26	3

### 5.8.3. Escorrentía y caudal a evacuar por el canal colector.

La tabla 29 muestra los valores de diseño para el dimensionamiento del canal colector por el método curva número (CN).

**Tabla 29.** Valores de diseño del canal colector.

P (mm)	CN	S (mm)	E (mm)	A (Ha)	C	Qs (l/s)	Qd (l/s)	Qt (l/s)
56.3	88	34.64	29.02	1.5	6.92	10.38	0.003	10.39

P: precipitación de diseño, CN: curva número, S: infiltración potencial, E: escorrentía, A: área de diseño, C: coeficiente de drenaje, Qs: Caudal superficial, Qd: caudal de los drenes, Qt: caudal de diseño.

Cabe mencionar que el área de implementación es de 147 m<sup>2</sup>, sin embargo, el estudio freatimétrico detalla que esta zona de estudio es recargada por áreas aledañas a ella, por lo que para efectos de diseño se empleó el área total de la granja y partes de las zonas circundantes.

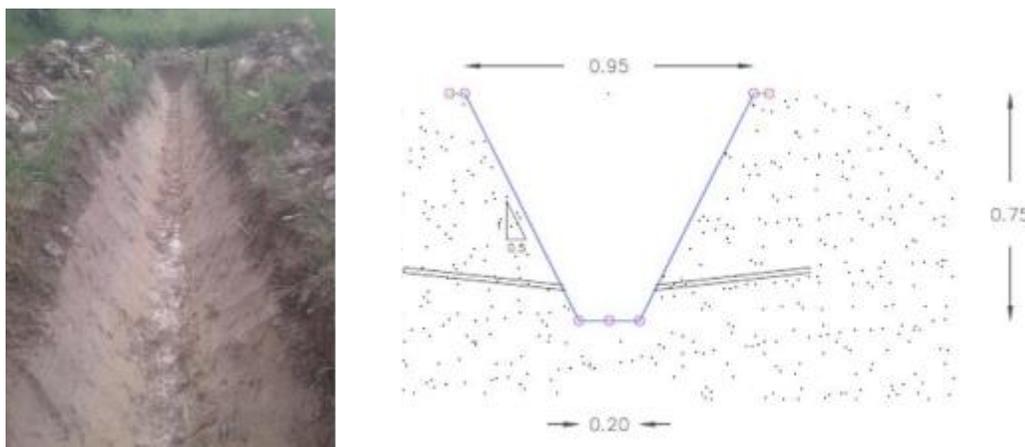
#### 5.8.4. Dimensionamiento del canal colector

La tabla 30 muestra la cantidad de volumen removido para cumplir con la solicitud del canal trapezoidal.

**Tabla 30.** Contenido de volumen removido en el canal colector apoyado con el software civil3D.

Volumen total (m <sup>3</sup> )						
Estación	Corte de relleno	Corte de área	Volumen de relleno	Volumen de corte	Volumen acumulado de relleno	Volumen acumulado de corte
0+010.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	0.00	0.85	0.00	6.88	0.00	6.88
0+030.00	0.00	0.82	0.00	8.37	0.00	15.24
0+040.00	0.00	1.08	0.00	9.52	0.00	24.76

Finalmente, el resultado en campo y las dimensiones del canal colector se pueden apreciar en la figura 34.



**Figura 34.** Canal colector trapezoidal.

#### 5.9. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE

La instalación del sistema de drenaje se realizó según los resultados especificados en las tablas 31 y 32; así mismo, se tuvo en cuenta el diseño de instalación (figura 17) establecido en la metodología. Para la adecuación fue necesario excavar, en el modelo A 2.892 m<sup>3</sup> y 2.883 m<sup>3</sup> en el modelo B, para un total 5,775 m<sup>3</sup> de suelo removido para la instalación de los drenes. Los volúmenes de material filtrante empleado fueron de 1,672 m<sup>3</sup> de gravilla y 0,722 m<sup>3</sup> de filtro en guadua.

En el anexo 11a y 12a se puede apreciar las cantidades de obra y el diseño de drenaje implementado.



**Figura 35.** Instalación del sistema de drenaje en tubería de guadua.

A: drenes con pendiente del 3%, B: drenes con pendiente del 2%, C: canal colector con pendiente del 1.5%

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El diseño e instalación del sistema de drenaje en tubería de guadua es una alternativa ecológica, que contribuye a la implementación de recursos renovables en el sector agrícola. Las propiedades geométricas de la guadua mostraron que es un material apto para adecuar como tubería, lo que permite su implementación en campo, con diámetros internos que oscilan 7.8 cm y 10 cm.
- Teniendo en cuenta que la construcción del banco de perforación de entrenudos fue de manera empírica y artesanal basado en la necesidad de destruir el tabique transversal que interrumpe la cavidad del culmo; se recomienda el rediseño de la máquina para considerar aspectos que se presentaron durante la perforación, como la alta vibración en la estructura. Sin embargo, para el presente proyecto, cumplió su función y dio solución a su necesidad de construcción.
- La viabilidad del presente proyecto respecto a la durabilidad del material es un estudio que se debe realizar, tomando en consideración pruebas en campo de su funcionamiento. Se considera importante realizar un estudio técnico ambiental y económico, para verificar la eficiencia y aptitud de un proyecto de sistema de drenaje agrícola en guadua.
- Se pudo establecer que a pesar de que existe poca información bibliográfica respecto al tema estudiado, la ejecución del presente proyecto permite la posibilidad de seguir realizando estudios posteriores, que fortalezcan la investigación en el sector agrícola, para potencializar la guadua en este ámbito, ya que es un recurso renovable y abundante en la región.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Alvares, E. (2018). Guía técnica del cultivo del plátano. El salvador: CENTA. Pag. 8.
- Amézketa, E. (1999). Soil aggregate stability: A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14(2–3), 83–151. [https://doi.org/10.1300/J064v14n02\\_08](https://doi.org/10.1300/J064v14n02_08)
- Arias, A. (1998). Suelos tropicales. Universidad Estatal Distancia. Edición San José, Costa Rica. Pág. 168.
- Arias, F., Mata, R., Alvarado, A., Serrano, E., Laguna, J. (2010). Caracterización Química Y Clasificación Taxonómica De. *Agronomía Costarricense*, 34(2), 177–195.
- Baca, I. M. A. (2009). Diseño de un sistema de drenaje para el cultivo de *Jatropha curcas* L. en la Finca Santa Lucía, lote San José II, Choluteca, Honduras. Carrera de ciencia y producción agropecuaria. Zamorano, Honduras.
- Bahtiar, E. T., Malkowska, D., Trujillo, D., & Nugroho, N. (2021). Experimental study on buckling resistance of *Guadua angustifolia* bamboo column. *Engineering Structures*, 228, 111548. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111548>
- Belalcázar, S. (2012). Cultivo de plátano en altas densidades de siembra una nueva concepción tecnológica de producción. Armenia: ICA.
- Beltrán, V. (2019). Unidades De Tierras Departamento Del Huila. Pág. 13
- Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., González, P. J., Reyes, R. (2015). Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas, provincia la habana. *Cultivos Tropicales*. ISSN: 0258-5936.
- Briseño, E., Villalobos, V., y Vargas, L. (2017). Desarrollo de un modelo de producción de bambú guadua mediante la aplicación de técnicas silviculturales óptimas para la cuantificación del crecimiento y la capacidad de almacenamiento de carbono en plantaciones (*Guadua angustifolia*) en la Zona Sur de Cos. Costa Rica: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL.
- CAM. (2019). Licencias y permisos ambientales. Huila, Neiva.
- Camargo, J. C., Morales, T., García, J. H. (2008a). Términos de referencia para la formulación de planes de manejo y aprovechamiento sostenible de guadua. Publicación número 2, proyecto Bosques FLEGT, Colombia. CARDER, CORPONOR, CORTOLIMA. 70 pp. ISBN: 978-958-722-009.
- Camargo, J.C., Morales, T., García, J.H. (2008b). Mensura e Inventario Forestal para la Planificación y Manejo Sostenible de Bosques de Guadua. Universidad Tecnológica de Pereira, Grupo Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos. POSTERGRAPH, Pereira, 90p.
- Carrillo H, J., y Vidal H, Y. (2021). DETERMINACIÓN DE COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (N DE MANNING) EN TUBERÍA DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (proyecto de grado).. Pitalito-Huila: UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
- Castaño Nieto Francisco, Moreno Orjuela Rubén Darío. (2004). Guadua para todos, cultivo y aprovechamiento (Beatriz Peña Trujillo (ed.)). Recuperado de [https://issuu.com/inbarlac.media/docs/guadua\\_para\\_todos](https://issuu.com/inbarlac.media/docs/guadua_para_todos)
- Castillo, C. (2005). Universidad Nacional Agraria. Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá El Tuma - La Dalia Matagalpa, 2005. Pág. 10.
- Cisneros, R. (2003). Apuntes de la materia de riego y drenaje. pp. 14-36. Universidad Autónoma De San Luis Potosí

- Coello, G. (2005). Análisis de métodos de estimación de la conductividad hidráulica saturada en suelos degradados. Cuenca, Ecuador. pp. 11-13. Universidad de Cuenca.
- Contresa Salazar, J., y Diaz, G. (1994). Inmunización de la guadua. *INGENIERA E INVESTIGACIÓN*, 14-19.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM, (2009). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCH) río Guarapas. Pág. 324-325.
- Correal, D. J. F., & Juliana Arbeláez, C. (2010). Influence of age and height position on colombian Guadua angustifolia bambo mechanical properties. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 12(2), 105–113. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2010000200005>
- Cruz., R. (1995). Drenajes. Cali: Cenicaña. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. P.211-233.
- Durman, C. (2011). Copyright Durman Colombia. Obtenido de <https://www.durman.com.co/Productos/Tubos%20para%20Drenaje.html>
- Esrom., J. (2017). Numero de curva (CN). Obtenido de: <https://es.slideshare.net/JEORGESROMCHAMBI/numero-de-curva>
- FAO. (2009). Materiales para sistemas de drenajes subterráneos. Roma: Revista N° 60 FAO.
- Foth, D. (1987). Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Compañía editorial Continental, S.A. de C.V. Calz. De Tlalpan número 4620, México 22, D.F. Pág. 433.
- Gallage, C., Kodikara, J., & Uchimura, T. (2013). Laboratory measurement of hydraulic conductivity functions of two unsaturated sandy soils during drying and wetting processes. *Soils and Foundations*, 53(3), 417–430. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2013.04.004>
- Garzón, J. (1996). Optimización de estructuras en guadua, trabajo de grado Universidad Nacional de Bogotá, Colombia. Pág. 43.
- Gonzales., J. (2009). Metodología para determinar los caudales para drenaje agrícola. Guatemala: Tesis de grado para optar al título de ingeniero Civil.
- González, G., Sánchez, I., Y Rossignol, P. (2004). Morfología de los poros de circulación preferencial del agua en el suelo mediante técnicas de análisis de imagen. Caso de una cuenca del norte de México. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. 19, núm. 3. pp. 15-23.
- Gualteros, L. J., Chacón, M. A. (2015). Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio Guaduas Cundinamarca vereda la Yerbabuena. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Guatibonza, M. (2010). Secado y tratamiento de la guadua. Obtenido de [mueblesdomoticos.blogspot.com](http://mueblesdomoticos.blogspot.com): <http://mueblesdomoticos.blogspot.com/2010/11/tratamiento-y-secado-de-la-guadua.html>
- Gurovich., Luis A. (2001). Riego Superficial Tecnificado. Cuarta Edición ampliada. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de <http://fdguerra.cl.tripod.com/topo.htm>
- Gutierrez, M. G., Takeuchi, C. P. T. (2014). Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú Guadua Angustifolia Kunth. *Scientia et Technica*, 19(3), 245–250. <https://doi.org/10.22517/23447214.9117>
- Hidalgo, O. (1974). su cultivo y aplicación en la fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. En *Bambu* (pág. 318). Cali-Colombia: Estudios técnicos colombianos.
- Hidalgo, O. (1981). Manual de Construcción con Bambú. Universidad Nacional de Colombia.
- Hidalgo, O. (2003). *Bamboo -The gift of the goods*. Oscar Hidalgo Editores. Bogotá-Colombia. pp. 553.

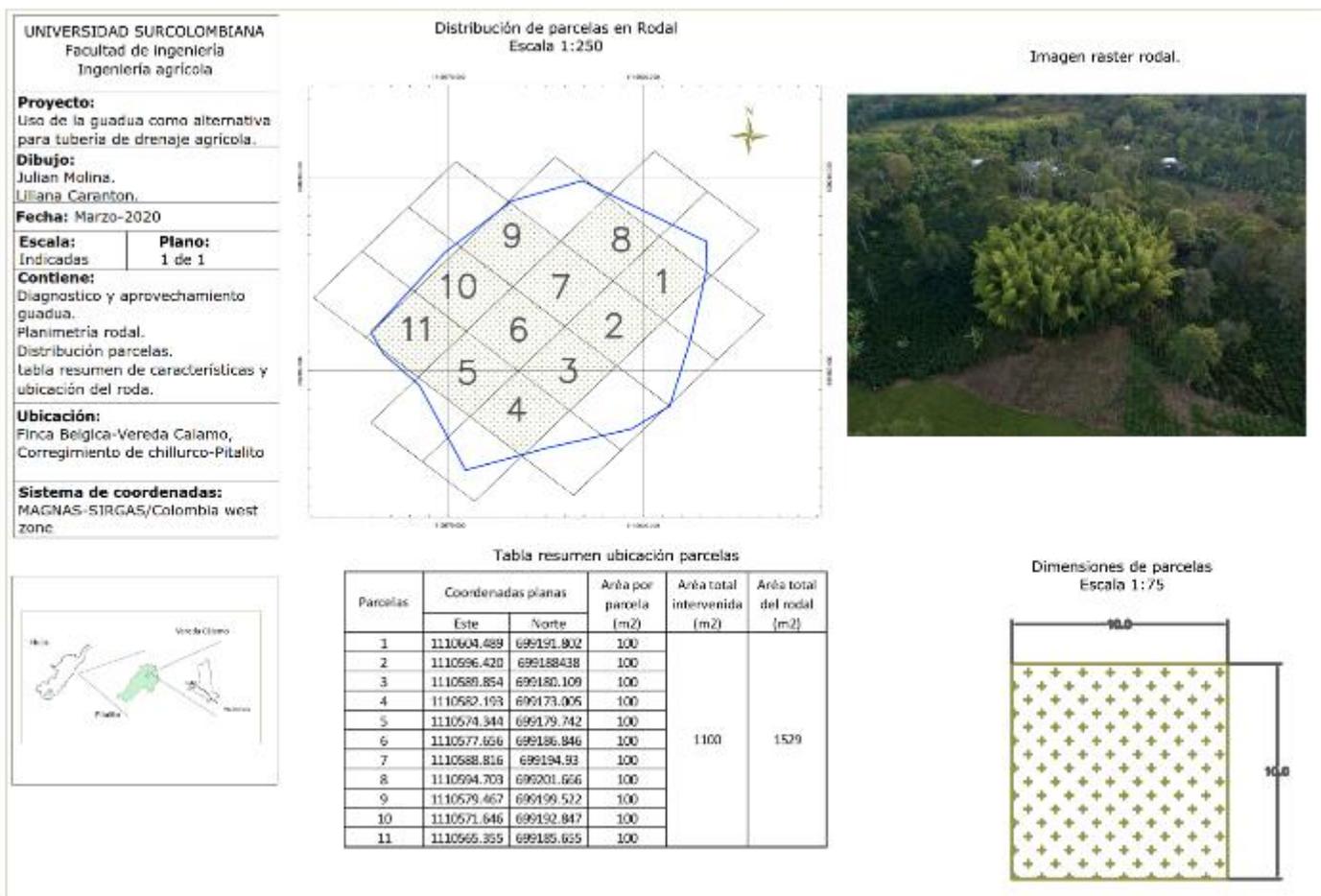
- Ibañes., S. Moreno., H. Gisbert., J. (2010). Caracterización del infiltrómetro de doble anillo (anillos de Munz) pag1-9. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ibañes., S. Moreno., H. Gisbert., J. (2011). Valores del n° de la curva (cálculos de escorrentía). Escuela técnica superior de agronomía y del medio natural. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ibartz, G. (2008). Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. España. Editorial Mundi-Prensa.
- ICA. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del plátano, medidas para la temporada invernal. Bogotá D.C: Ministerio de agricultura y desarrollo rural.
- Jaramillo, D. (2002). Ciencia del Suelo. Universidad Nacional del Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. Pág. 619.
- Jaramillo., J. (2013). Drenaje Agrícola notas de clase. UNAN. Departamento de ingeniería agrícola. Programa de ingeniería agrícola.
- Jiménez, V. J. F., Valencia, B. A., Arias, A. N. A. (2019). Comportamiento del nivel freático en un suelo franco arcilloso (FAR) de la zona oriental. CENIPALMA. In Agrociencia (Vol. 34, Issue 4).
- Jorge, S., Torres, A. (2014). Principios básicos para identificar problemas del drenaje en el cultivo de palma. Bogotá: Boletín técnico N° 34, Cenipalma.
- Kleinn, C., & Morales-Hidalgo, D. (2006). An inventory of Guadua (*Guadua angustifolia*) bamboo in the Coffee Region of Colombia. *European Journal of Forest Research*, 125(4), 361–368. <https://doi.org/10.1007/s10342-006-0129-3>
- Liotta., M. Sagua., D. Guioja., J. Montaña., S. (2015). Manual de capacitación: drenaje de suelos para uso agrícola. INTA
- Lleneras, F., Fernández, D., López., O. (2017). Drenajes superficiales en terrenos agrícolas. México: secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- López, M. (2016). Ciencias agrícolas. Universidad Central de Ecuador. Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífuga para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Quito, Ecuador. Pág. 31
- Ludovico, B. A., Daniel, A., Silva, M. A., Dal, F. I., & Rodrigues, S. (2007). TÉCNICA DE MOIRÉ APLICADA AL ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE COMPRESIÓN EN EL BAMBÚ GUADUA. *Maderas, ciencia y tecnología.*, 1-14.
- Luna, P., Lozano, J., y Takeuchi, C. (2014). DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE RESISTENCIA PARA GUADUA ANGUSTIFOLIA. *Maderas, ciencia y tecnología*, 77-92.
- Mejia, N. (2004). Cadena productiva de la Guadua: Organización de la cadena, caracterización de eslabones, actores y procesos. Armenia: Secretaria de Desarrollo; Rural y Ambiental.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2016). Resolución 1740. Bogotá.
- Montoya, J. (2005). “Silvicultura y manejo postcosecha de la guadua”. *Técnicas de preservación de la guadua.* Pp.3-5.
- Montoya, J., y Orozco, C. (2008). *Fundamentos Prácticos del Secado de Guadua – Bambú.* Primera Edición Pereira, Colombia. pp. 27-50.
- Morales, T. (2002). Ensayo preliminar de contenido de azúcar en la guadua técnicas naturales de preservación. Pereira: Taller seminario Avances en la investigación sobre Guadua.

- NTC-5726. (2009). Inventario de rodales de *Guadua angustifolia* Kunth para aprovechamientos con fines comerciales. Bogota: INCONTEC.
- NTC-6028. (2013). TUBERÍAS DE DRENAJE DE POLICLORURO DE VINILO RÍGIDO (PVC-U). DIMENSIONES, REQUISITOS Y ENSAYOS. Bogota: INCONTEC.
- Orjeda L. J. M. (2009). Promoción de la rehabilitación, manejo y uso sostenible de los bosques tropicales de bambú en la región noroccidental del Perú: inventario de bosques de bambú en el ámbito del proyecto. Lima, Perú.
- Ortega, L. (1996). Técnicas de drenaje para el sur de Chile. Chile: La comisión Nacional de Riego (CNR) y el Centro Regional de Investigación Remehue del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Ortega, L., Sagado, L. (2000). Drenaje de suelos agrícolas. Chile: Instituto de investigación agropecuaria INIA-CARRILLANCA.
- Ortegón., A (2004). Metodología para la realización de estudios de drenaje a nivel predial. PALMAS - Vol. 25 No. Especial, Tomo II.
- Ortiz, B., Ortiz, C. (1990). Edafología. Editora V. Gómez Cueva. Universidad Autónoma de Chapingo. Carretera México - Texcoco Km 38.5. Pág. 394.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Parr, J. F. y Bertrand, A. R. (1960). Water infiltration in soils. *Advances in Agronomy*, 12, 311-363.
- Perea, J., Villegas, J., Cerquera, Y., Cortes, P. (2003). Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la guadua en el departamento del Huila. Neiva: Fundación para el desarrollo de la ingeniería.
- Pires, F., Cássaro, A., Reichardt, K., y Bacchi, S. (2008). Soil porous system changes quantified by analyzing soil water retention curve modifications. *Soil and Tillage Research*. Vol. 100. pp. 72-77.
- POT (1999). Plan de ordenamiento territorial de Pitalito (POT- Pitalito). Universidad Nacional de Colombia y Municipio de Pitalito Vol. 3, Parte 2. Pág. 19.
- Ramírez C, C. A., Gómez S, C., Orguela Y, C., Cerquera L, O., & Garzón M, J. (2015.). *Perfil productivo Municipio de Pitalito*. Obtenido de <https://ormethuiladotorg.wordpress.com/2015/12/18/perfil-productivo-municipio-de-pitalito/>
- Red Internacional de Bambú y Ratán. (2011). *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO Y SUS PROCEDIMIENTOS GENERALES EN LA CONSTRUCCIÓN PARA SER APLICADOS EN EDIFICACIONES GAK*. QUITO, ECUADOR: NORMAS TÉCNICAS PARA UTILIZACIÓN DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH EN CONSTRUCCIÓN.
- Rivera Posada, S. (2011). Sistemas De Drenaje Con Filtros Vivos Para La Estabilización Y Restauración De Movimientos Masales En Zonas De Ladera. *Avances Técnicos CENICAFE*, 413(5).
- Rodríguez, J. (2018). Ensayos de laboratorio: Infiltración básica. Universidad de Guayaquil. Facultad de ciencias matemáticas y físicas. Escuela de ingeniería civil.
- Rojas, T. M. (2001). Manual de Riego Parcelario. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación, Desarrollo de Tierras y Aguas. Santiago de Chile.

- ROLDÁN, G. (1992). Fundamentos de limnología tropical. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. Pág. 529.
- Sajjala, K., & Kala, F. (2017). Study on Structure, Extraction and Prevention Of Bamboo Fibre As Strength Enhancer In Concrete. January, 16–20.
- Sánchez, S., Cortes, B., (2016). Caracterización del uso productivo de la guadua angustifolia en el sur del departamento del Huila. Neiva: Semillero Guadua y bahareque del Huila.
- Santander, J. (2017). Diseño e instalación del sistema de drenaje y base del estadio Institución Educativa Glorioso San Carlos – Puno. Pág.9-10. Universidad Nacional del Altiplano
- Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Soil Science Society of America Journal, 70(5), 1569–1578. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>
- Soil Conservation Service (1972). Manual nacional de ingeniería, sección 4: Hidrología. Washington, DC .
- Stulz, R., y Mukerji, K. (1981). Appropriate building materials: a catalogue of potential solutions. Suiza: St Gall.
- Takes (1973). PRINCIPIOS Y APLICACIONES DEL DRENAJE. WAGENINGEN HOLANDA: INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT P.O. Box 45.
- Takeuchi, C. O. (2014). CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL BAMBÚ GUADUA LAMINADO PARA USO ESTRUCTURAL. Obtenido de [bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co): <http://bdigital.unal.edu.co/46811/1/291494.2014.pdf>
- Torres R. A., Claros O. J. P. (2017). Evaluación de dos lechos filtrantes anaeróbicos de flujo ascendente en guadua (*Angustifolia Kunth*) para el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito. Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Agrícola. Pitalito, Huila.
- Uribe Vallejo, M., y Durán Contreras, A. (2002). Estudio de elementos solicitados a compresión armados por tres guadas. Obtenido de [https://www.usmp.edu.pe/centro\\_bambu\\_peru/pdf/Compresion\\_Armados\\_por\\_tres\\_guadas.pdf](https://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/Compresion_Armados_por_tres_guadas.pdf)
- Velásquez, W. (1998). La guadua: sus diez mandamientos. Editor: visualizar publicidad. p 119
- Vibrans, H. (2010). Malezas de Mexico. Malvaceae *Sida rhombifolia* L. Tlalamate. Tomado de Conabio: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/malvaceae/sida-rhombifolia/fichas/ficha.htm>
- Villon-Béjar., M (2006). DRENAJES. 1º Edición. Costa rica: Editorial tecnológica de costa rica.
- Villon-Béjar., M. (2001). ESPADREN: Software para el cálculo de espaciamiento de drenes terciarios. Tecnología en MARCHA. Vol 14
- Villon-Béjar., M. (2005). ESPADREN: Software para el cálculo de espaciamiento de drenes terciarios. Tecnología en MARCHA. Vol 18, N° 2 especial.
- Ximena, C., y Luis, M. G. (2013). Caracterización multivariante de la guadua Multivariate characterization of bambu in Quindio region. UGCiencia, 19(7), 128–142. <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/download/93/898>
- Yousef, S. M., Ghaith, M. A., Abdel, M. B., y Soliman, K. M. (2016). Evaluation and Modification of Some Equations Used in Design of Subsurface Drainage Systems. April, 21–23.

## 8. ANEXOS

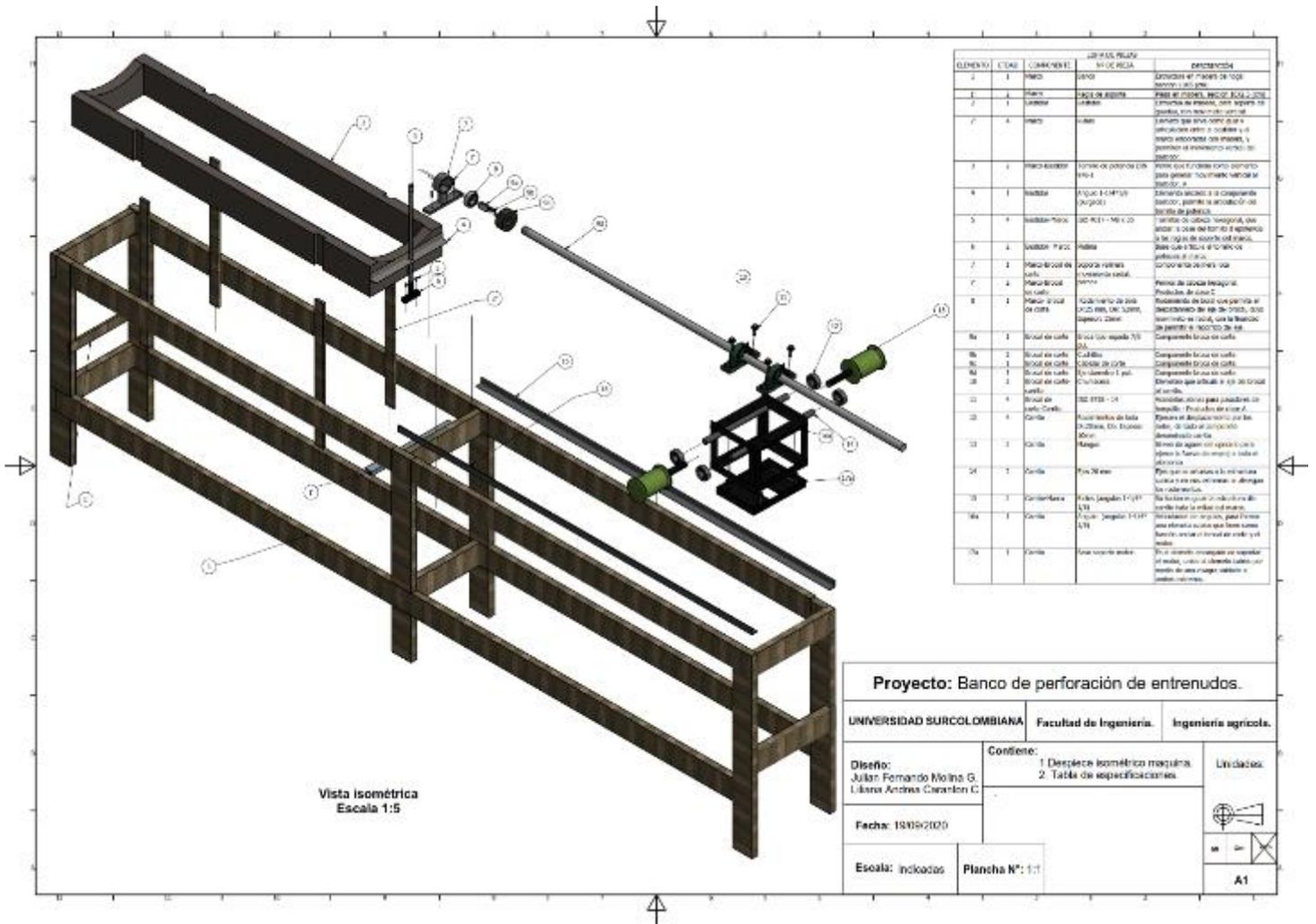
### ANEXO 1. Plano general rodal.



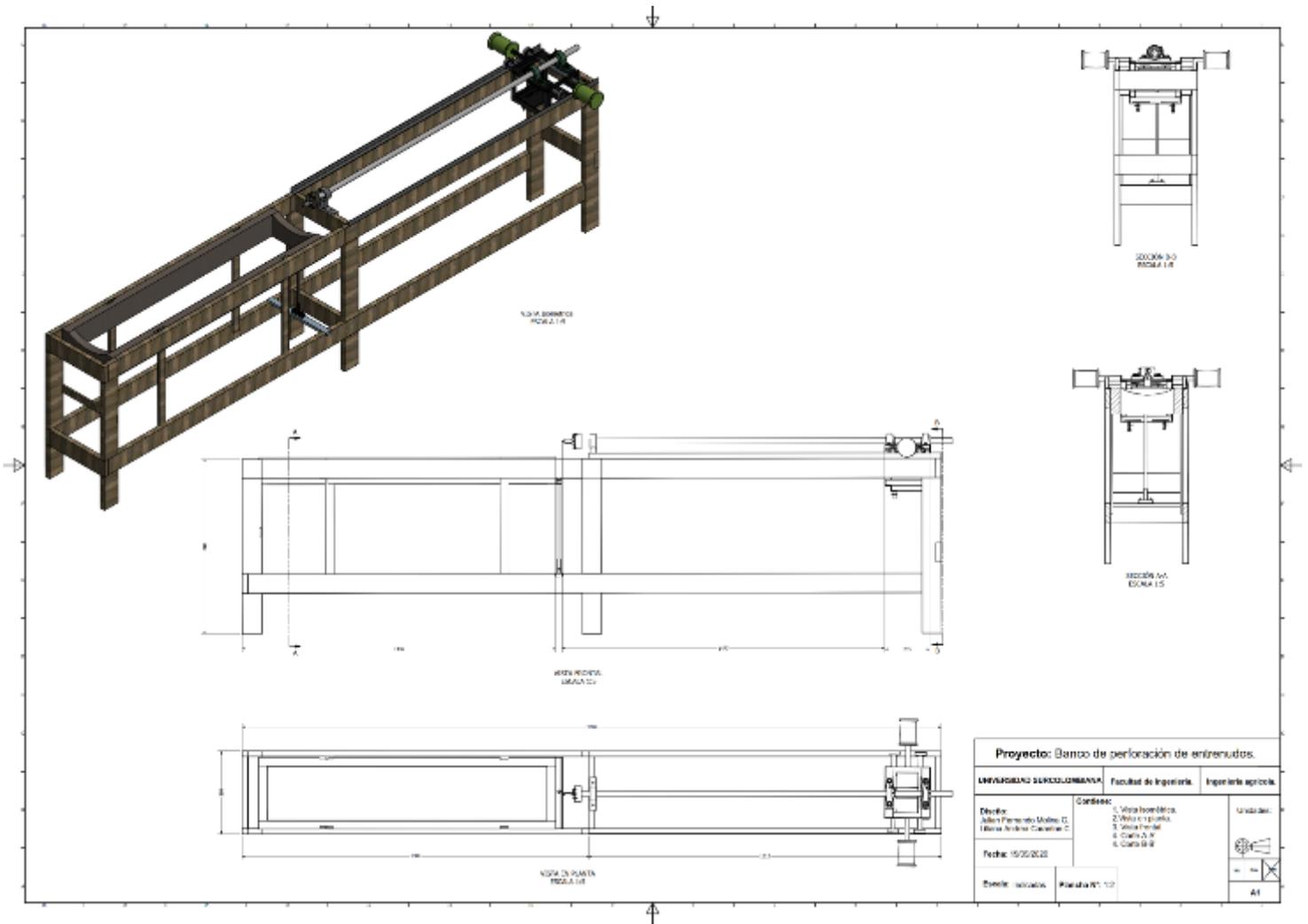
ANEXO 2. Planillas de campo inventario forestal con fines de extracción-Rodal

Inventario forestal (Planillas de campo)													
Predio:		Vereda:		CALAMO		Municipio:		PITALITO		Departamento:		HUILA	
Coordenadas:		1° 32' 52.03" N		76° 03' 01.33" O		Auto. Ambiental:		CAM		misimi:		299,97	
Clima:		Templado		FAV		Áreas protegidas cerca:		NO		Área rodal:		1529 m <sup>2</sup>	
N° Parcelas:		11		100 m <sup>2</sup>		Intensidad:		71%		Fecha:		10/02/2020	
Parcela	N° guadua	Estado de maduración						Estado fitosanitario					
		R	B	M	SM	S	B	B	M	DAP	Long. culmo		
1	1			X				X			35	11	
2	2			X				X			36,2	12,7	
3	3				X				X				
4	4				X			X					
5	5	X						X					
6	6		X					X					
7	7		X					X					
8	8		X					X					
9	9	X						X					
10	10	X						X					
11	11	X						X					
12	12					X			X		36,6	6	
13	13					X							
14	14					X							
15	15	X						X					
16	16					X							
17	17		X					X					
18	18		X					X					
19	19		X					X					
20	20		X					X					
21	21	X						X					
22	22			X				X			22	15,4	
23	23			X				X			36,6	10,5	
24	24	X							X				
25	25	X							X				
26	26		X						X				
27	27		X						X		30,2	14,4	
28	28		X						X				
29	29		X						X				

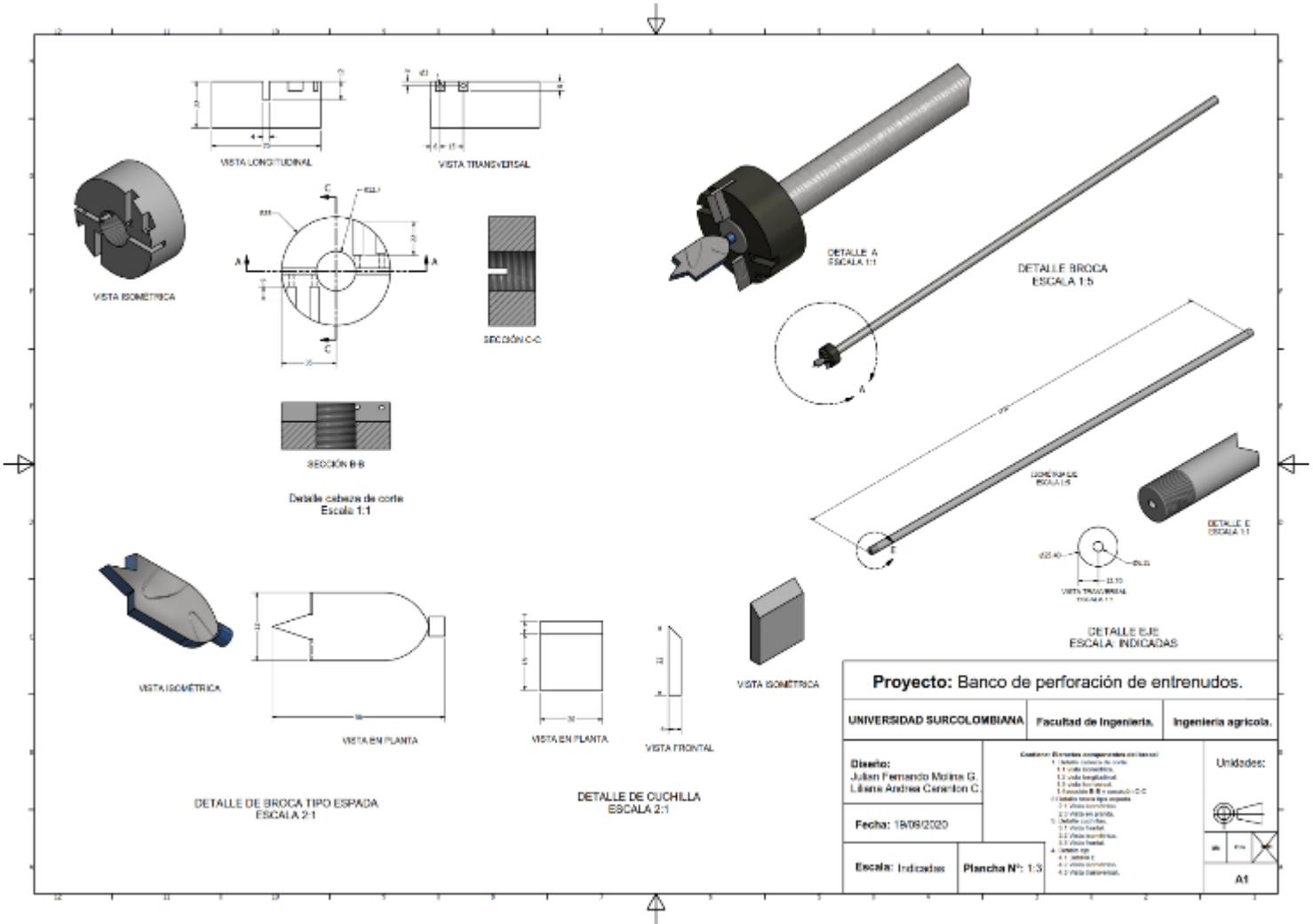
### ANEXO 3. Plano general banco de perforación de entrenudos.



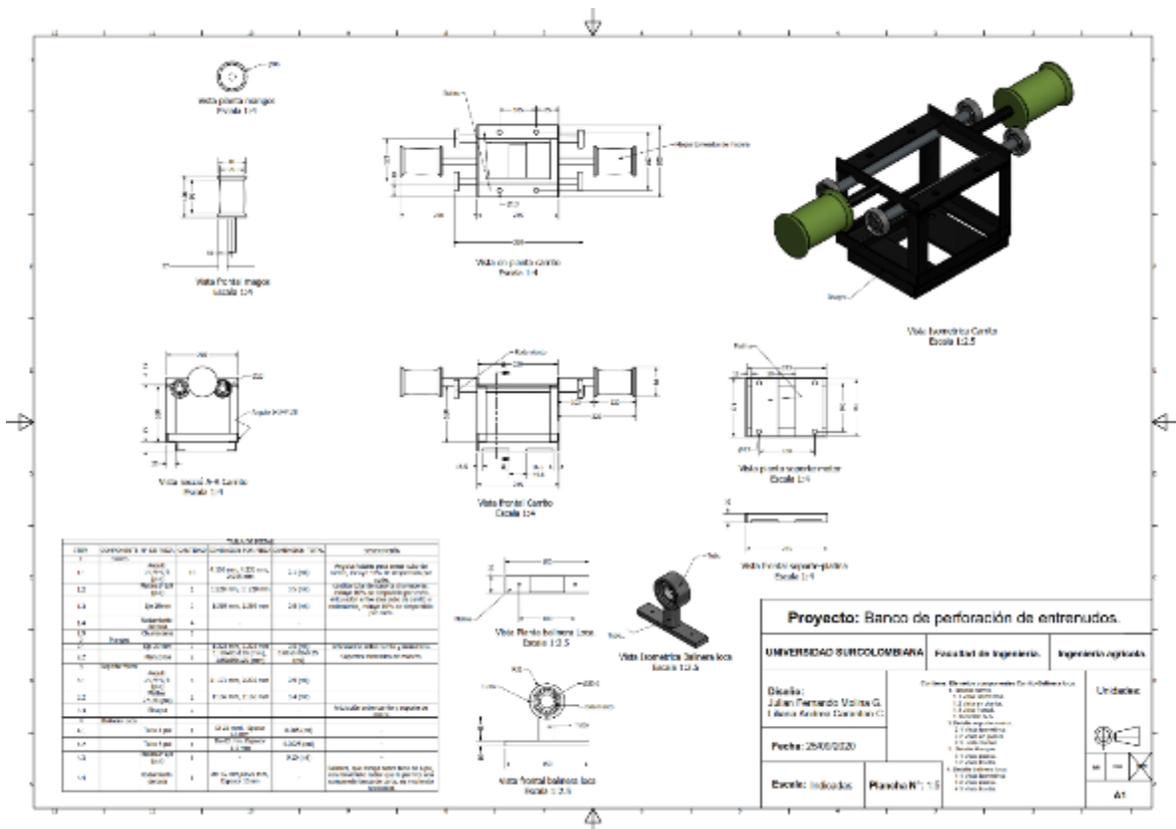
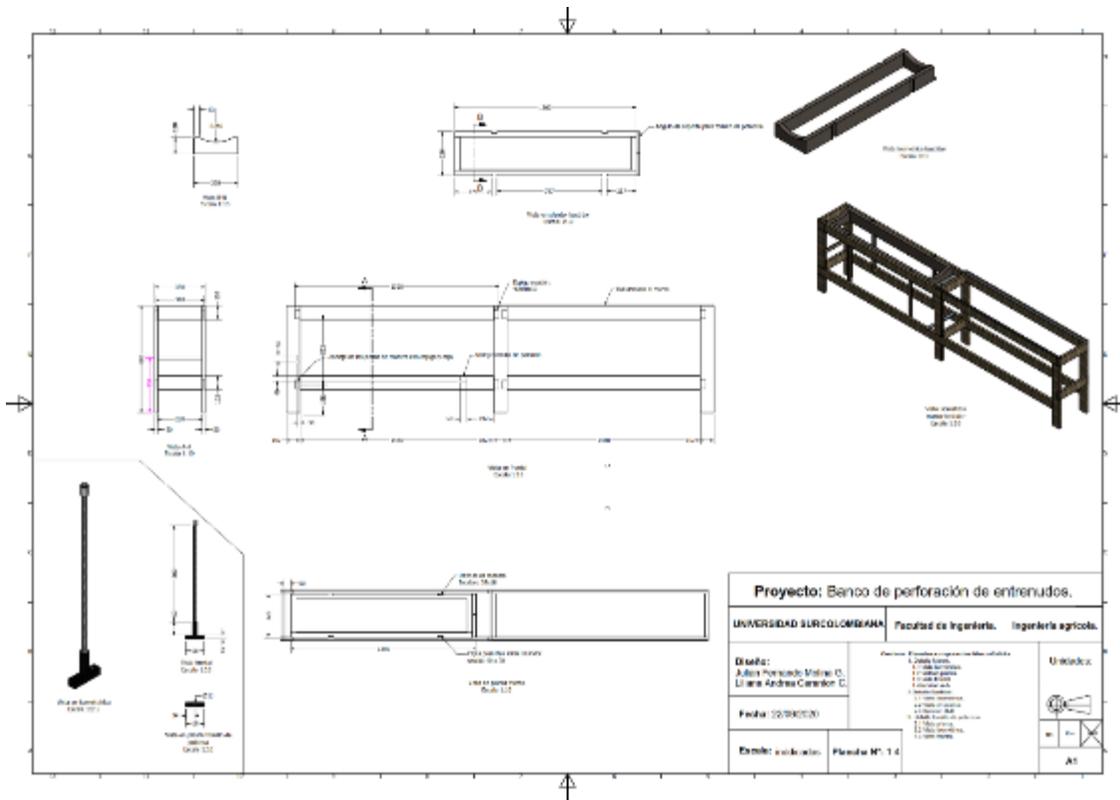
ANEXO 4. Detalle general de banco de perforación.



ANEXO 5. Detalles constructivos banco de perforación de entre nudos.



<b>Proyecto: Banco de perforación de entrenudos.</b>		
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA	Facultad de Ingeniería,	Ingeniería agrícola.
<b>Diseño:</b> Julián Fernando Molino G. Liane Andrea Carabon C.	<b>Contenido:</b> Elementos comparados de las cas 1.1. Vista isométrica de corte 1.2. Vista longitudinal 1.3. Vista transversal 1.4. Sección A-A y B-B en sección C-C 1.5. Detalle cabeza de corte 1.6. Vista isométrica 1.7. Vista en planta 1.8. Vista en planta 1.9. Vista frontal 1.10. Vista isométrica 1.11. Vista en planta 1.12. Vista en planta 1.13. Vista en planta 1.14. Vista en planta 1.15. Vista en planta 1.16. Vista en planta 1.17. Vista en planta 1.18. Vista en planta 1.19. Vista en planta 1.20. Vista en planta	<b>Unidades:</b>  A1
<b>Fecha:</b> 18/08/2020	<b>Escala:</b> Indicadas	<b>Plancha N°:</b> 1:3



## ANEXO 6. Topografía granja experimental USCO-Pitalito



ANEXO 7. Lectura de calicata trabajo de campo.

Formato para descripción del suelo

Proyecto: <i>Drenaje Guadua</i>	Fecha: <i>27 die 2020</i>
Unidad Cartográfica: <i>Saboyos</i>	Perfil: <i>1</i>
Departamento: <i>Huila</i>	Municipio: <i>Filatito</i>
Localización Geográfica:	Altura: <i>1260 msnm</i>
Posición Geomorfológica: <i>Cuenca terrazas basin</i>	Forma: <i>Plano</i>
Relieve: <i>Plano</i>	Pendiente: <i>&lt; 1%</i>
Tipo de Topografía Vecina: <i>Colinas</i>	Nivel Freático: <i>&gt; 4 m</i>
Temperatura Edáfica: <i>25°C</i>	Temperatura Ambiente: <i>24°C</i>
Precipitación Anual: <i>1400 mm</i>	Distribución: <i>Bimodal</i>
Material Geológico: <i>Sedimentos lacustrinos</i>	
Evidencias de Erosión: <i>No</i>	
Vegetación Natural: <i>guayaba, Mamey, Añadire</i>	Uso Actual e Intensidad: <i>Pasto natural</i>
Material Parental: <i>Ígneo/Sedimentario</i>	
Régimen Humedad suelo: <i>udico</i>	Régimen Temperatura Suelo: <i>isomérico</i>
Profundidad Efectiva: <i>30 cm</i>	Limitante de profundidad: <i>Arcillas</i>
Humedad Actual del Perfil: <i>Humedo</i>	
Drenaje externo: <i>imperfecto</i>	Drenaje interno: <i>lento</i> Drenaje Natural: <i>imperfecto</i>
Clase y Grado de Erosión: <i>No</i>	
Epipedón: <i>humico</i>	Hzte. Subsuperficial: <i>Argílico</i>
Clase Agrológica: <i>Clase III</i>	
Orden: <i>Alfisol</i>	
Suborden: <i>Ustalf</i>	
Gran grupo: <i>Haplustalf</i>	
Subgrupo: <i>Entic<sup>h</sup> - Haplustalf</i>	
Observaciones: <i>Procesos de oxido reducción importantes que se incrementan en profundidad a partir del segundo horizonte</i>	

DESCRIPCIÓN CALICATA

ANEXO 8. Reporte de resultados análisis de suelo.

ENTREGA DE RESULTADOS		
 Laboratorio Ambiental de Suelos y Aguas	<b>INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS</b>	Código: ENR-FR-02
		Vigente: 2020-01-30
		Versión: 00
		Página: 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE		
SOLICITANTE: Julián Fernando Molina	TELEFONO: 3175303271	CIUDAD: Pitalito
DIRECCIÓN: Vereda Calamo	E-MAIL: elmolina@gmail.com	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		
MUNICIPIO: Pitalito	DEPARTAMENTO: Huila	
CULTIVO: Platano	ID CLIENTE: BT-C	
FECHA DE RECEPCIÓN: 24/05/2021	FECHA DE ENTREGA: 22/06/2021	

RESULTADOS									
Muestra Lab No.	pH	CE	A+H	CIC	Bases de Intercambio				Bases Totales
					Ca	Mg	K	Na	
134- 21	5,41	dS/m			meq/100g				-
		0,06	-	-	-	-	-	-	
	Fuertemente ácido	Muy Bajo	-	-	-	-	-	-	

CO	MO	N	P	S	Elementos Menores					TEXTURA	
					Fe	Mn	Zn	Cu	B		
%						ppm					Organoléptica
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	Relación entre Cationes				Porcentaje de Saturación de Cationes				%SB	%S.A.I
	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	Ca	Mg	K	Na		
Resultado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Valoración	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\*Los resultados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el cliente y analizadas en el laboratorio

METODOS	
pH: 1:1 (Suelo: Agua)	Cationes y CIC: AcNH <sub>4</sub> , 1N pH 7
CE: 1:2 (Suelo: Agua)	Elementos Menores: DTPA
CO: Walkley Black	P: Bray II
MO: Relación Matemática	S: Fosfato monobásico de Calcio
N: Relación Matemática	B: Agua caliente, Azometina H
AI: KCl 1N	Textura: Bouyoucos/Organoléptica

Carrera 5ª No. 21ª -61 B/ Sevilla Neiva-Huila. Tel. 8666848 Cel. 3142480137  
E-mail. Lagslaboratorio@gmail.com - Comercial@laboratoriolagsa.com

## ANEXO 9. Plano general de área implantación del sistema de drenaje



ANEXO 10. Reporte valores mensuales de precipitación, Estación Sevilla-IDEAM

ONAL AMBIENTAL

FECHA DE PROCESO : 2018/12/04

ESTACION : 21015020 SEVILLA

LATITUD 0149 N TIPO EST CO DEPTO HUILA FECHA-INSTALACION  
 N 1971-JUN  
 LONGITUD 7607 W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO PITALITO FECHA-SU  
 SPENSION  
 ELEVACION 1320 m.s.n.m REGIONAL 04 HUILA-CAQUET CORRIENTE GUARAPAS

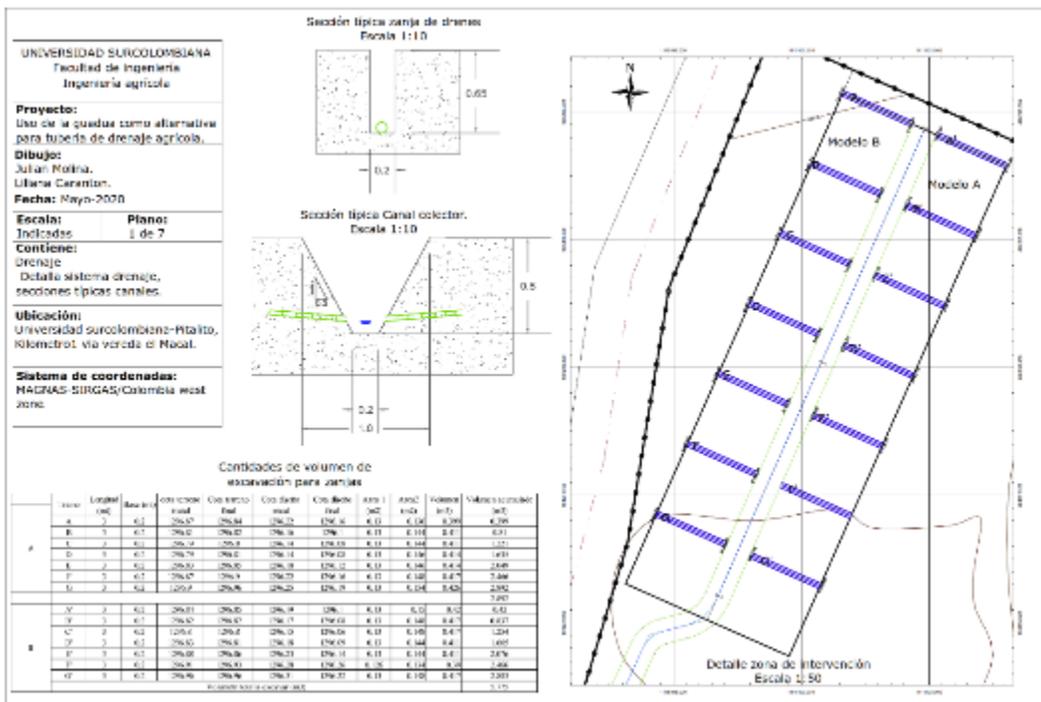
\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*  
 A#O EST ENT ENERO \* FEBRE \* MARZO \* ABRIL \* MAYO \* JUNIO \* JULIO \* AGOST \* SEPTI \*  
 OCTUB \* NOVIE \* DICIE \* VR ANUAL \*  
 \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

1971	2	01				100.9	190.5	92.9	96.7	110.9	62.7	82.6	737.2	3										
1972	2	01	75.7	47.6	105.3	127.6	183.1	166.3	168.5	93.8	50.8	95.5	129.6	44.1	1287.9									
1973	2	01	71.9	30.8	53.6	83.4	123.2	109.0	136.4	133.1	128.8	33.8	72.6	115.5	1092.1									
1974	2	01	73.2	140.9	3	106.4	146.8	96.8	196.0	142.0	97.1	70.1	98.7	196.9	64.8	1429.7								
1975	2	01	35.6	119.6	78.6	92.7	89.0	163.0	96.3	131.2	137.0	113.8	92.7	99.1	1248.6									
1976	2	01	59.9	82.1	122.5	132.8	199.7	202.5	218.4	156.9	115.7	146.2	99.0	86.2	1621.9									
1977	2	01	3.5	56.9	86.8	131.4	146.2	130.8	124.4	95.6	182.8	79.9	67.0	24.9	1130.2									
1978	2	01	40.8	39.6	136.8	170.6	142.0	132.5	128.6	80.6	99.9	115.3	66.9	36.9	1190.5									
1979	2	01	41.2	13.0	152.0	190.7	170.7	80.1	156.5	64.6	85.0	81.7	3	234.0	3	54.6	1324.1							
1980	2	01	36.2	40.4	105.8	136.4	115.5	172.2	158.5	105.9	73.5	100.0	69.5	51.4	1165.3									
1981	2	01	76.9	47.1	138.3	167.6	211.4	85.8	3	127.5	3	61.0	87.8	78.0	145.9	54.9	1282.2							
1982	2	01	161.0	52.2	94.9	158.3	3	128.8	129.1	8	180.3	128.7	84.0	81.1	51.3	133.1	3	1382.8						
1983	2	01	80.3	170.4	141.6	219.0	178.7	93.1	117.5	65.0	66.0	108.9	90.2	107.2	1437.9									
1984	2	01	142.6	104.2	66.5	100.6	113.2	157.9	98.9	93.5	133.9	127.0	126.5	82.6	1347.4									
1985	2	01	65.2	44.5	47.7	115.2	164.8	137.8	121.6	187.6	42.1	96.6	137.7	79.1	1239.9									
1986	2	01	30.1	102.9	82.2	132.3	8	99.9	127.0	150.7	56.7	132.4	140.6	63.7	23.6	1142.1								
1987	2	01	56.6	67.8	74.2	198.9	165.3	98.7	198.1	160.4	37.9	165.5	57.1	80.5	1361.0									
1988	2	01	55.3	85.4	37.8	70.6	124.3	184.5	107.5	77.9	115.7	70.1	106.6	3	45.1	3	1080.8							
1989	2	01	97.5	42.3	207.2	123.6	139.0	207.0	128.8	103.1	92.1	3	64.6	90.0	3	30.5	3	1325.7						
1990	2	01	53.6	3	100.7	3	108.6	3	105.1	136.1	3	117.1	3	128.6	3	118.1	71.6	129.5	51.2	3	103.6	12	23.8	3
1991	2	01	25.5	29.3	111.0	116.2	124.8	167.8	108.6	3	181.0	45.0	48.7	118.9	3	19.4	3	1096.2	3					
1992	2	01	24.9	62.2	69.4	182.6	94.1	3	72.1	125.1	106.0	51.6	42.5	140.7	53.4	1024.6	3							
1993	2	01	45.6	116.3	146.0	72.0	124.1	145.4	159.5	104.7	64.0	198.7	108.1	3	118.7	1403.1	3							
1994	2	01	84.1	75.0	79.3	170.0	177.5	163.9	3	120.2	138.3	93.5	102.5	93.5	46.9	1344.7	3							
1995	2	01	51.5	99.5	90.6	199.7	143.8	153.8	108.0	47.9	70.5	93.5	86.1	68.1	1213.0									
1996	2	01	63.5	165.7	70.1	108.0	138.1	102.3	113.7	59.6	89.5	102.9	59.1	76.8	1149.3									
1997	2	01	98.3	86.4	104.4	95.8	154.8	79.4	109.4	107.1	47.0	39.5	61.6	23.9	1007.6									

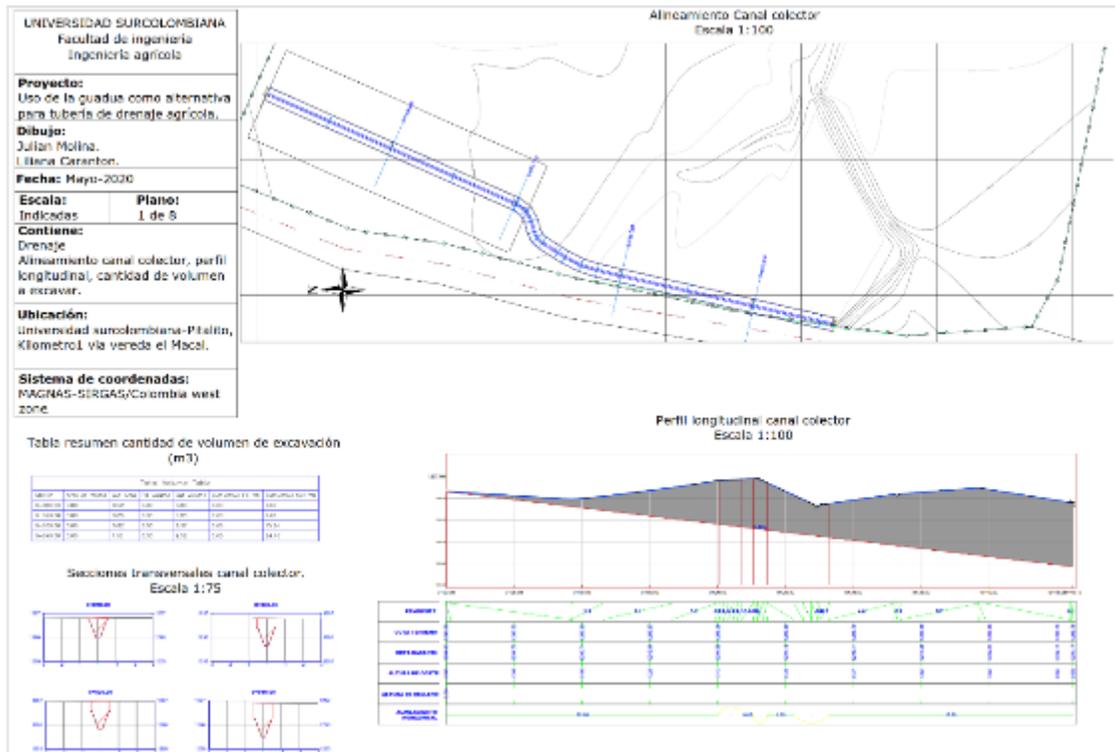
ANEXO 11. Sección hidráulica de canal trapezoidal, calculada en Hcanles.



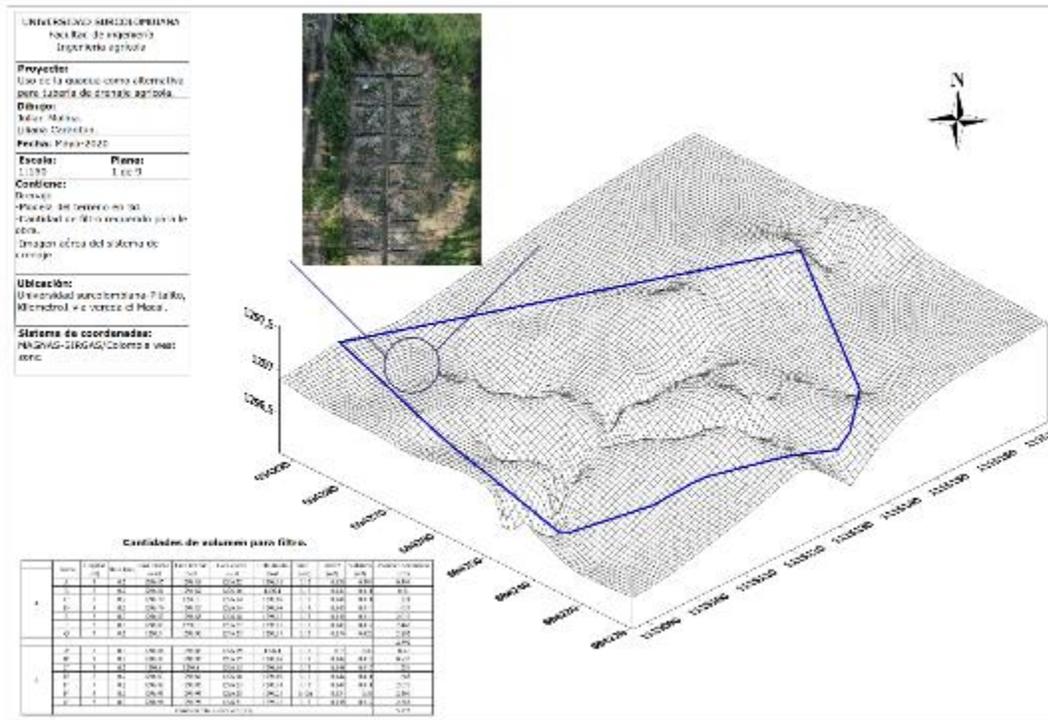
ANEXO 11a. Sección hidráulica de canal trapezoidal, zanjas para drenes y cantidades de volumen de excavación.



## ANEXO 12. Plano de alineación canal colector.



ANEXO 12a. Instalación de drenaje agrícola con tubería de guadua, cantidad de volumen para filtro.



ANEXO 13. Longitud, volumen aparente, volumen neto de los culmos según (Camargo 2008 b)

$d$ (cm)	$l$ (m)	$V_a$ (m <sup>3</sup> )	$V_n$ (m <sup>3</sup> )	$d$ (cm)
5	11.1	0.0160	0.0056	5
5.5	11.8	0.0199	0.0067	5.5
6	12.5	0.0243	0.0080	6
6.5	13.3	0.0294	0.0094	6.5
7	14.0	0.0350	0.0110	7
7.5	14.7	0.0413	0.0128	7.5
8	15.5	0.0482	0.0147	8
8.5	16.2	0.0558	0.0169	8.5
9	16.9	0.0642	0.0193	9
9.5	17.7	0.0733	0.0219	9.5
10	18.4	0.0832	0.0247	10
10.5	19.1	0.0939	0.0277	10.5
11	19.9	0.1054	0.0310	11
11.5	20.6	0.1177	0.0345	11.5
12	21.4	0.1310	0.0383	12
12.5	22.1	0.1451	0.0423	12.5
13	22.8	0.1602	0.0466	13
13.5	23.6	0.1763	0.0511	13.5
14	24.3	0.1933	0.0560	14
14.5	25.0	0.2113	0.0611	14.5
15	25.8	0.2304	0.0665	15
15.5	26.5	0.2506	0.0722	15.5
16	27.2	0.2718	0.0782	16
16.5	28.0	0.2941	0.0846	16.5
17	28.7	0.3175	0.0912	17
17.5	29.4	0.3422	0.0982	17.5
18	30.2	0.3679	0.1056	18
18.5	30.9	0.3949	0.1132	18.5