

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 22 de mayo de 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Jesús Giovanni Díaz Garzón, con C.C. No. 1080295496,

Katleen Daniela Gomez Rubio, con C.C. No. 1075293066,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Diseño de un sistema de riego por microaspersión para el cultivo de cacao (*theobroma cacao l.*) ubicado en la Institución Educativa Núcleo Escolar El Guadual del municipio de Rivera (Huila)

presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola;

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.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional 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.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

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.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Jesús Giovanni Díaz Garzón

Firma: Giovanny Garzón

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Katleen Daniela Gomez Rubio

Firma: Katleen D. Gomez Rubio

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional 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.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				   		
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 6

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Diseño de un sistema de riego por microaspersión para el cultivo de cacao (*theobroma cacao L.*) ubicado en la Institución Educativa Núcleo Escolar El Guadual del municipio de Rivera (Huila)

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Díaz Garzón Gomez Rubio	Jesús Giovanni Katleen Daniela

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bedoya Cardoso	Marlio

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: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2019

NÚMERO DE PÁGINAS: 73

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional 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.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 6

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ 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:

MATERIAL ANEXO:

Plano de curvas a nivel del terreno a irrigar.
 Plano del sistema de riego por microaspersión.
 Plano de las subunidades de riego
 Plano de unidades operacionales de riego
 Plano del cabezal de riego.
 Evapotranspiración del cultivo mensual.
 Precipitación mensual.
 Aforo de la quebrada
 Evidencias fotográficas del proceso de elaboración del proyecto

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

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 6

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Microaspersión</u>	<u>Microaspersion</u>	6. <u>curva de retención de humedad</u>	<u>humidity retention curve</u>
2. <u>cacao</u>	<u>cocoa</u>	7. <u>coeficiente de uniformidad</u>	<u>uniformity coefficient</u>
3. <u>evapotranspiración</u>	<u>evapotranspiration</u>	8. <u>coeficiente de variación</u>	<u>coefficient of variation</u>
4. <u>densidad</u>	<u>density</u>	9. <u>diseño hidráulico</u>	<u>hydraulic design</u>
5. <u>textura</u>	<u>texture</u>	10. <u>análisis de precios unitarios</u>	<u>unit price analysis</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En el presente trabajo se realizó un diseño de un sistema de riego por microaspersión para cacao que ocupa una superficie 3,39 ha en la Institución Educativa Núcleo Escolar El Guadual del municipio de Rivera Huila. Para la realización del diseño se inició con el levantamiento topográfico, seguidamente se hizo el estudio agronómico que consistió en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo, la densidad aparente, la textura, la curva de retención de humedad y el coeficiente de uniformidad y coeficiente de variación de fabricación. Luego se hizo el diseño hidráulico y por último se elaboró el cálculo de los costos. En el diseño agronómico se obtuvo una evapotranspiración del cultivo de 6,5 mm/día, una densidad aparente de 1320 kg m⁻³, una textura franco arenosa, una capacidad de campo de 23,8%, un punto de marchitez permanente de 17,6%, un coeficiente de uniformidad de 98,65% y coeficiente de variación de 0,03. Del diseño hidráulico se obtuvo que la dosis de riego es 133,84 mm/día, que el intervalo de riego es de 1 día y se regará en 5 unidades cada una con un tiempo de aplicación de 1,8 horas diarias. El costo de implementar este sistema de riego es de 85,277,576 total pesos moneda colombiana. La implementación del sistema de riego por microaspersión en la Institución mejorará la eficiencia en el uso del agua y garantizará que el cultivo supla sus necesidades hídricas por lo que aumentará la producción y a su vez la calidad del fruto.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 6
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In the present work a design of a system of irrigation by microaspersión for cocoa (*Theobroma Cacao* L.) that occupies a total surface 3,39 ha been made in the Educational Institution El Guadual School of the municipality of Rivera Huila. For the realization of the design it was necessary to start with the topographic survey, then the agronomic study was made, which consisted in the calculation of the crop evapotranspiration, the apparent density, the texture, the moisture retention curve, and the coefficient of uniformity and coefficient of variation of manufacturing. Then the hydraulic design was made and finally the calculation of costs was elaborated. In the agronomic design, a crop evapotranspiration of 6,5 mm / day, an apparent density of 1320 kg m⁻³, a loamy sandy texture, a field capacity of 23,8%, a permanent wilting point of 17,6% were obtained. , a coefficient of uniformity of 98,65% and coefficient of variation of 0,03. From the hydraulic design it was obtained that the irrigation dose is 133,84 mm / day, that the irrigation interval is 1 day and it will be irrigated in 5 units



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	5 de 6
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

each with an application time of 1,8 hours per day. The cost of implementing this irrigation system is 85,277,576 Colombian pesos. The implementation of the irrigation system by micro-sprinkler in the Institution will improve the efficiency in the use of water and will guarantee that the crop meets its water needs, which will increase the production and in turn the quality of the fruit.

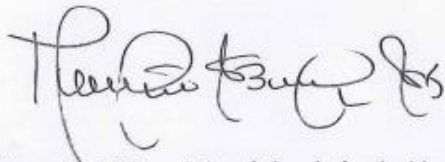


DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	6 de 6
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

APROBACION DE LA TESIS

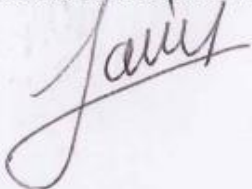
Nombre Presidente Jurado: Ph.D. Marlio Bedoya Cardoso

Firma: 

Nombre Jurado: MSc. John Jairo Arévalo Hernández

Firma: 

Nombre Jurado: MSc. Jaime Izquierdo Bautista

Firma: 

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN PARA EL
CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) UBICADO EN LA INSTITUCIÓN
EDUCATIVA NÚCLEO ESCOLAR EL GUADUAL DEL MUNICIPIO DE RIVERA
(HUILA)**

**DÍAZ GARZÓN JESÚS GIOVANNY
GOMEZ RUBIO KATLEEN DANIELA**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA (HUILA)
2019**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN PARA EL
CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) UBICADO EN LA INSTITUCIÓN
EDUCATIVA NÚCLEO ESCOLAR EL GUADUAL DEL MUNICIPIO DE RIVERA
(HUILA)**

**DÍAZ GARZÓN JESÚS GIOVANNY
GOMEZ RUBIO KATLEEN DANIELA**

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

DIRECTOR:
MARLIO BEDOYA CARDOSO
INGENIERO AGRÍCOLA
MAGISTER EN INGENIERÍA EN IRRIGACIÓN
DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA (HUILA)**

2019

Nota de aceptación

Tesis aprobada



Director: Ph.D. Marlio Bedoya Cardoso



Jurado: MSc. John Jairo Arévalo Hernández



Jurado: MSc. Jaime Izquierdo Bautista

Neiva, Mayo de 2019

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
PALABRAS CLAVES	8
ABSTRACT	8
KEY WORDS	9
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
1.2. JUSTIFICACIÓN	11
1.3. OBJETIVOS	12
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4. HIPÓTESIS	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1. GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DEL CACAO	13
2.2. RIEGO	15
2.3. RIEGO POR MICROASPERSION	15
2.3.1. PARTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION	16
2.3.1.1. Cabezal de riego	16
2.3.1.2. Equipo de bombeo	17
2.3.1.3. Filtro de arena	17
2.3.1.4. Filtro de malla	17
2.3.1.5. Red de distribución	18
2.3.1.5.1. Tuberías primarias, secundarias y terciarias	18
2.3.1.5.2. Laterales o porta emisores	18
2.3.1.5.3. Elementos singulares	18
2.3.1.5.4. Emisores	19
2.3.1.5.5. Microaspersores	19
2.4 DISEÑO AGRONÓMICO	19
2.4.1. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS	20
2.4.2. DENSIDAD APARENTE	20
2.4.3. TEXTURA DEL SUELO	20
2.4.4. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD	20
2.4.5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	20
2.4.6. COEFICIENTE DE VARIACIÓN	21
2.5. DISEÑO HIDRÁULICO	21
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	
3.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	22
3.2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO VEGETATIVO Y PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE CACAO EN LA INSTITUCIÓN.	22
3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION	23
3.3.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA	23
3.3.1.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	23
3.3.1.2. SUPERFICIE DEL PROYECTO	24
3.3.1.3. ANÁLISIS FÍSICOS DEL SUELO	24
3.3.2. DISEÑO AGRONÓMICO	24
3.3.2.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO	24
3.3.2.2. DENSIDAD APARENTE	32

3.3.2.3. TEXTURA DEL SUELO	32
3.3.2.4. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD	32
3.3.2.5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	32
3.3.2.6. COEFICIENTE DE VARIACIÓN	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. DISEÑO AGRONÓMICO	41
4.1.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN	41
4.1.2. DENSIDAD APARENTE	42
4.1.3. TEXTURA DEL SUELO	43
INFILTRACIÓN	43
4.1.4. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD	44
4.1.5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	45
4.1.6. COEFICIENTE DE VARIACIÓN	45
4.2. DISEÑO HIDRÁULICO	45
4.3. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)	55
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. CONCLUSIONES	58
5.2. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Ki para la ecuación de Thornthwaite.	25
Tabla 2. Valores de Ki ajustados a la latitud de la estación de El Juncal.	25
Tabla 3. Valores de temperatura media mensual proporcionados por la estación de El Juncal.	26
Tabla 4. Valores completos de temperatura media mensual.	30
Tabla 5. Emisor a 16,3 m.c.a.	33
Tabla 6. Evapotranspiración del cultivo.	41
Tabla 7. Diseño de los laterales del sistema de riego.	50
Tabla 8. Diseño de las terciarias del sistema de riego.	51
Tabla 9. Diseño de la tubería secundaria del sistema de riego.	52
Tabla 10. Diseño de tubería principal del sistema de riego.	53
Tabla 11. Análisis de los costos del sistema de riego por microaspersión.	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del municipio de Rivera en el Huila.	22
Figura 2. Curva de retención de humedad.	44

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Plano de curvas a nivel del terreno a irrigar.	64
ANEXO 2. Plano del sistema de riego por microaspersión.	65
ANEXO 3. Plano de las subunidades de riego	66
ANEXO 4. Plano de unidades operacionales de riego	67
ANEXO 5. Plano del cabezal de riego.	68
ANEXO 6. Evapotranspiración del cultivo mensual.	69
ANEXO 7. Precipitación mensual.	69
ANEXO 8. Aforo de la quebrada	69
ANEXO 9. Evidencias fotográficas del proceso de elaboración del proyecto	70

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se realizó un diseño de un sistema de riego por microaspersión para un cultivo de cacao (*Theobroma Cacao L.*) que ocupa una superficie total 3,39 ha en la Institución Educativa Núcleo Escolar El Guadual la cual está ubicada en la vereda de su mismo nombre, a tres kilómetros de la cabecera municipal de Rivera en el departamento del Huila.

Para la realización del diseño se hizo necesario iniciar con el levantamiento topográfico con ayuda de la estación total Nikon (NPL-322 5") y el GPS Garmin Etrex, para obtener los datos necesarios que mediante softwares como AUTOCAD 2018 versión estudiante y surfer fueron procesados para la elaboración del croquis y las curvas de nivel indispensables en el diseño. Seguidamente se hizo el estudio agronómico que consistió en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo por el método de Thornthwaite, la densidad aparente por el método del cilindro, la textura del suelo por el método de Bouyoucos, la curva de retención de humedad con la finalidad de saber los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente por el método de las ollas, y el coeficiente de uniformidad y coeficiente de variación de fabricación siguiendo la norma NMX-O-082-SCFI-2001. Luego se hizo el diseño hidráulico para el cálculo de la red de distribución del agua de riego y un óptimo trazado de la misma y por último se elaboró el cálculo de los costos para cuantificar la implementación de dicho sistema en la Institución educativa.

En el diseño agronómico se obtuvo una evapotranspiración del cultivo alta con un valor de 6,5 mm/día, una densidad aparente de $1,32 \text{ g/cm}^3$, una textura franco arenosa, una capacidad de campo de 23,8 %, un punto de marchitez permanente de 17,6 %, un coeficiente de uniformidad de 98,65 % y coeficiente de variación de 0.03. Del diseño hidráulico se obtuvo que la dosis de riego es 133,84 mm/día, que el intervalo de riego es de 1 día y se regará en 5 unidades cada una con un tiempo de aplicación de 1,8 horas diarias. El costo de implementar este sistema de riego es de 85,277,576 total pesos moneda colombiana.

La implementación del sistema de riego por microaspersión en la Institución mejorará la eficiencia en el uso del agua y garantizará que el cultivo supla sus necesidades hídricas por lo que aumentará la producción y a su vez la calidad del fruto.

PALABRAS CLAVES

Microaspersión, cacao, topografía, evapotranspiración, densidad, textura, curva de retención de humedad, coeficiente de uniformidad, coeficiente de variación, diseño hidráulico, análisis de precios unitarios.

ABSTRACT

In the present work of degree a design of a system of irrigation by microaspersión for a cultivation of cacao (*Theobroma Cacao L.*) that occupies a total surface was carried out 3,39 ha in the Educational Institution Núcleo Escolar El Guadual which is located in the village of its same name, three kilometers from the municipal seat of Rivera in the department of Huila.

For the realization of the design it was necessary to start with the topographic survey with the help of the Nikon total station (NPL-322 5 ") and the Garmin Etrex GPS, to obtain the necessary data that through software such as AUTOCAD 2018 student and surfer version were processed for the preparation of the sketch and the level curves indispensable in the design. The agronomic study was then made, which consisted in the calculation of crop evapotranspiration by the Thornthwaite method, the apparent density by the cylinder method, the soil texture by the Bouyoucos method, the moisture retention curve with the purpose of to know the values of field capacity and permanent wilting point by the pot method, and the coefficient of uniformity and coefficient of variation of manufacturing following the norm NMX-O-082-SCFI-2001. Then the hydraulic design was made for the calculation of the distribution network of the irrigation water and an optimal layout of the same and

finally the calculation of the costs was elaborated if the design of the irrigation system by micro-sprinkling was implemented in the Institution.

In the agronomic design an evapotranspiration of the high culture was obtained with a value of 6,5 mm / day, an apparent density of 1,32 g /cm³, a loamy sandy texture, a field capacity of 23,8%, a wilting point permanent of 17,6%, a coefficient of uniformity of 98,65 % and coefficient of variation of 0,03. From the hydraulic design it was obtained that the irrigation dose is 133,84 mm / day, that the irrigation interval is 1 day and it will be irrigated in 5 units each with an application time of 1,8 hours per day. The cost of implementing this irrigation system is 85,277,576 Colombian pesos.

The implementation of the irrigation system by micro-sprinkler in the Institution will improve the efficiency in the use of water and will guarantee that the crop meets its water needs, which will increase the production and in turn the quality of the fruit.

KEY WORDS

Microaspersion, cocoa, topography, evapotranspiration, density, texture, humidity retention curve, uniformity coefficient, coefficient of variation, hydraulic design, unit price analysis.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la agricultura el déficit de humedad en el suelo afecta negativamente al cultivo y, por lo tanto, a su rendimiento. Lo anterior se soluciona mediante el riego. Existen diferentes métodos de riego cada uno con sus ventajas y desventajas, lo importante es que el sistema de riego que se implemente sea lo más eficiente posible. Los métodos de riego se clasifican en riego por superficie y riego presurizado, en el primero se encuentran el riego por melga y el riego por surco y en el segundo se distinguen el riego por goteo, aspersión y microaspersión. En microaspersión el agua es aplicada sobre una zona localizada del suelo para suplir las necesidades del cultivo (Demin, 2014).

Los sistemas de riego por microaspersión son empleados específicamente para elevar la productividad de los cultivos, destacándose su uso en cítricos, guanábana, guayaba, mangos, aguacate, cacao etc.

El cacao se produce, en casi todas las regiones del país, sin embargo, existe una cierta concentración o regionalización de la producción. El departamento con la mayor producción de cacao para el año 2016 es Santander con 22117 toneladas lo que representa el 38,95% del total de la producción del país, le siguen en importancia con una participación significativamente menor en la producción los departamentos de Arauca, Antioquia y Huila los cuales en conjunto representan el 66,85% del total (FEDECACAO, 2016).

Los principales municipios productores de cacao en el departamento del Huila mencionados de mayor a menor producción son Rivera con una producción de 512,22 toneladas, seguido por Algeciras, Campoalegre, Tello, Neiva y Gigante. En el Huila hay cuatro centrales de beneficio ubicadas en Rivera, Campoalegre, Algeciras y Gigante (GOBERNACIÓN DEL HUILA, 2015).

La Institución Educativa Núcleo Escolar “El Guadual” del municipio de Rivera, en el Huila, actualmente es el único colegio público del país que se encuentra certificado

en Buenas Prácticas Agrícolas, BPA, en el cultivo de cacao. Esta certificación se dio luego del trabajo articulado que viene adelantando el ICA y la Gobernación del Huila, para implementar las Buenas Prácticas Agrícolas, BPA, en las 26 Instituciones educativas del departamento con énfasis agrícola (ICA, 2017).

Con este trabajo de grado titulado “diseño de un sistema de riego por microaspersión para el cultivo de cacao (*theobroma cacao* L.) ubicado en la Institución Educativa Núcleo Escolar el Guadual del municipio de Rivera (Huila)” se pretende dotar a la Institución del diseño de un sistema de riego con su Análisis de Precios Unitarios que pueden implementar cuando dispongan de los recursos económicos suficientes, para lograr una mayor producción en el cultivo y un uso eficiente del agua asegurando su compromiso de mantener las buenas prácticas agrícolas en la Institución.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El manejo correcto del agua es de vital importancia, no solo para que las plantas puedan aprovechar de forma óptima este recurso, sino que también para evitar problemas de exceso de humedad en el cultivo y con ella la aparición de hongos y plagas.

En la Institución Educativa Núcleo Escolar el Guadual el método que se utiliza para regar el cultivo de cacao es el riego por gravedad. Este sistema de riego es muy utilizado por los productores de cacao debido a que tiene un bajo costo de implementación. Este método de riego no es del todo bueno si se refiere al uso eficiente del agua, esto se debe a la gran lámina de agua que se aplica y de la cual una parte se pierde por escorrentía, evaporación y percolación.

La Institución Educativa Núcleo Escolar el Guadual cuenta con la certificación de buenas prácticas agrícolas otorgada por el Instituto Colombiano de Agricultura (ICA), el cultivo de cacao cuenta actualmente con un sistema de riego por superficie, por lo tanto, se hace necesario el empleo de un sistema más eficiente en el manejo del recurso hídrico y de esta forma se refuercen las buenas prácticas agrícolas. Con

la implementación de un riego por microaspersión se busca mejorar el uso eficiente del agua y poder garantizar una lámina que cubra las necesidades hídricas del cultivo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de riego por microaspersión para garantizar el uso eficiente del agua en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico del estado vegetativo y productivo del cultivo de cacao en la institución.
- Calcular las necesidades hídricas del cultivo, teniendo en cuenta las características de la región.
- Realizar el diseño hidráulico de acuerdo con las necesidades hídricas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*).
- Realizar un análisis de precios unitario del sistema de riego diseñado.

1.4. HIPÓTESIS

El Consejo Nacional de Política Económica y Social de la República de Colombia 2018-2038, menciona la Política de Adecuación de Tierras y en ella manifiesta que los cultivos con acceso al riego presentan mayores rendimientos promedios por hectáreas que aquellos cultivos que no lo tienen, basado en lo anterior: es posible mejorar la calidad y cantidad de cacao en la Institución educativa implementando un sistema de riego por microaspersión como el elaborado en esta tesis ya que contribuiría a la satisfacción de los requerimientos hídricos del cacao (*Theobroma cacao L.*).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DEL CACAO

CACAO

Familia: Malvaceae.

Género: Theobroma.

Especie: T. cacao.

El cacao (*Theobroma cacao* L.), que se cultiva principalmente en el mundo tropical, es el tercer cultivo de bebidas más importante, junto con el té y el café. La planta es una especie nativa de bosques húmedos tropicales en las laderas ecuatoriales más bajas del este de los Andes en América del Sur y es el pilar económico de países como la República de Camerún, Costa de Marfil y Ghana. Hasta el 68 por ciento de la producción mundial total de granos de cacao proviene del continente africano, pero la infraestructura para la adición de valor se encuentra principalmente en Europa. Una serie de productos de valor agregado están hechos del grano de cacao, el más importante de los cuales es el chocolate. Domesticado por los nativos de América Central, fue considerado de origen divino. El nombre genérico *Theobroma* significa literalmente "Alimento de los dioses". El cacao fue domesticado y consumido por primera vez por los mayas y los aztecas. Los primeros europeos en beber cacao fueron los españoles que invadieron y conquistaron el imperio azteca en México en el siglo XVI. Los españoles aprendieron de los aztecas la técnica de hacer *xocoatl*, una bebida hecha de granos de cacao después de asar y moler. La palabra chocolate se supone que se originó *dexocoatl*. La palabra cacao también fue utilizada por los españoles y probablemente se originó en *cacahuatl*, una palabra que los aztecas utilizaban para los granos de cacao. (Prabhakaran, 2010).

El cacao produce frutos (vainas) a lo largo del tronco y ramas que contienen un promedio de 20 a 40 semillas (también conocidas como granos de cacao) embebidas en pulpa dulce y mucilaginosas. Los granos de cacao generalmente se comercializan después de un procesamiento preliminar en la granja, que incluye la fermentación y el secado. Económicamente, el cacao está considerado como uno de los principales cultivos tropicales del mundo, con una producción total de granos de 4,012,310 toneladas en 2007.

La etapa de fermentación es necesaria para el desarrollo completo del sabor y el aroma del chocolate / cacao después del tostado. Los precursores del sabor se derivan de reacciones enzimáticas que implican la hidrólisis de las proteínas de almacenamiento (principalmente vicilinas), azúcares, antocianinas, alcaloides de purina y oxidación y condensación de polifenoles. (Micheli et al., 2010).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol perenne nativo del trópico americano, es uno de los cultivos tropicales de mayor importancia, tanto en el ámbito nacional como internacional. En Colombia, intervienen de forma directa en su explotación más de 25 mil familias, de las cuales el 90% desarrolla su proceso productivo en condiciones de economía campesina. (Aranzazu & Jaimes, 2010).

El cacao se origina en las regiones selváticas de América tropical, desde Perú hasta México. El cacao tiene alrededor del 80% de su constitución en la corteza y el 20% restante incluye semillas, pulpa y otros constituyentes. El uso principal del cacao está en la producción de chocolate. Otros productos son el licor de cacao y la mantequilla esencialmente debido a sus propiedades de sabor (Micheli et al., 2010) y los cosméticos, también usan esta fruta como materia prima. En la industria del chocolate, el proceso comienza con la recolección de fruta, la eliminación de pulpa y semilla, la fermentación (una serie de reacciones que conducen al desarrollo del sabor y aroma del chocolate), el secado y el tostado. (de Souza et al., 2018).

2.2. RIEGO

El agua es un recurso fundamental y de suma importancia para las diferentes actividades agropecuarias y de consumo humano. Por lo que se requiere de un aprovechamiento óptimo de este recurso, considerando su escasez a nivel mundial. Actualmente, con el uso de nuevas tecnologías, como los sistemas de riego presurizados posibilitan el uso eficiente del agua para así asegurar una producción mayor y de calidad.

Cada día es mayor el número de productores y de campesinos que toman conciencia sobre la relevancia que tiene el uso racional del agua en sus cultivos. Se ha comprobado que la forma de aplicar el agua a la planta puede generar una mayor producción y de mayor calidad por ende se tendrán mayores ingresos.

Se denomina un sistema de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a la planta. Los sistemas de riego constan de una serie de componentes. Sin embargo, esta serie de componentes va a depender del tipo de riego que se va a implementar ya sea riego superficial, por aspersión, microaspersión o goteo. (Valverde, 2007).

Una manera moderna de regar es la utilización de los métodos de riego presurizados (microaspersión), el cual consiste en la aplicación del agua al suelo en forma localizada, es decir, solo se pretende mojar una zona restringida del volumen radicular. Este método es muy apropiado para zonas donde el agua es escasa, ya que su aplicación se hace en pequeñas dosis y de manera frecuente, consiguiendo con esto un mejor control de la aplicación del agua y algunos otros beneficios agronómicos para el cultivo. (Moya, 2000).

2.3. RIEGO POR MICROASPERSION

El riego por microaspersión es un sistema de riego presurizado que nació en Israel. Este sistema de riego en la última década ha tenido gran aplicación en el riego de árboles frutales e invernaderos gracias a su eficiente distribución del agua y al alto

coeficiente de uniformidad y bajo coeficiente de variación de fabricación de los emisores (Pizarro, 1996).

El sistema de riego por microaspersión se le puede considerar como el resultado o híbrido de cruzar el sistema de riego por goteo con el sistema de riego por aspersión. Este sistema nace a causa de los problemas que presenta el riego por goteo en terrenos con textura arenosa, ya que en este tipo de suelos no se forma bien el bulbo de mojado característico de este sistema de riego, debido a que estos suelos tienen una mayor infiltración el agua. (Bonneau, 2001)

Según Seguí, P. (1995) Los sistemas de riego por microaspersión suministran el agua a los cultivos en forma de lluvia fina. Los microaspersores son colocados en cada árbol; los microaspersores tienen varias formas de disparar el agua, como la lluvia en círculos o sectores de círculos y la nebulización.

Los microaspersores deben seleccionarse con gastos (caudales) adecuados para evitar el encharcamiento y escurrimientos de agua, el cual produce un estrés hídrico y pérdida de minerales del suelo, se deben utilizar laminas precipitadas que no excedan la velocidad de infiltración de agua en el suelo para no generar encharcamientos.

2.3.1. PARTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION

2.3.1.1. Cabezal de riego

El cabezal de riego es el lugar donde se instalan los elementos destinados a controlar, filtrar, tratar, medir y suministrar el agua a los emisores de riego a través de la tubería instalada en las condiciones que se requieren teniendo en cuenta las condiciones agrometeorológicas y fenológicas de las plantas. Un cabezal de riego básico cuenta con una alimentación de agua a presión suficiente para los requerimientos de los diferentes sectores de riego, un buen sistema de filtrado para eliminar las impurezas del agua que puedan taponar los emisores y un colector de salida hacia los diferentes sectores de riego existente (Liotta, 2011).

2.3.1.2. Equipo de bombeo

Está constituido por una o más bombas cuya potencia depende de la superficie que se desea regar. El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea suficiente para vencer las diferencias de cota y las pérdidas de carga de todo el sistema, las bombas más utilizadas son de acción centrífuga abastecidas por energía eléctrica (Liotta, 2011).

2.3.1.3. Filtro de arena

Se usan principalmente para retener las partículas que se encuentran en suspensión dentro del agua de captación. Son tanques metálicos o de plástico los cuales contienen arena o grava por donde circula el agua quedando está parcialmente limpia (Fernández, 2010). El espesor de la arena o grava no debe ser inferior a 50 cm y la velocidad del agua debe ser inferior a 60 m/h lo que equivale a un caudal de 60 m³/h por m² de superficie filtrante. Este tipo de filtro es muy efectivo para retener sustancias orgánicas y partículas siete veces más pequeñas que el diámetro efectivo de la grava (Liotta. 2011).

2.3.1.4. Filtro de malla

El filtro de malla es una carcasa que en su interior contiene un cartucho con malla de diferentes diámetros u orificios, esta malla puede ser metálica o plástica. El tamaño del orificio se define por el número de orificio por pulgada lineal (25,4 mm) lo cual se denomina mesh. Para riego por microaspersión se recomienda una malla de 100-120 mesh (150-120 micrones) (Liotta, 2011). Los filtros de malla retienen todo tipo de sólidos en suspensión. Las impurezas quedan atrapadas entre unas anillas ranuradas que se encuentran agrupadas y ajustadas unas contra otras en un cartucho insertado en la carcasa del filtro. Actualmente en el mercado se encuentran filtros de malla o anillas autolimpiantes, los cuales tienen incluido un mecanismo de inversión del flujo y aprovechan la misma presión del agua para expulsar la suciedad a un circuito de drenaje (Fernández, 2010).

2.3.1.5. Red de distribución

2.3.1.5.1. Tuberías primarias, secundarias y terciarias

Las tuberías más empleadas en riego localizado son normalmente de plástico, siendo los materiales más frecuentes el PVC (policloruro de vinilo) y el PE (polietileno), las tuberías terciarias y normalmente las secundarias se instalan en polietileno, mientras que la tubería principal puede ser de polietileno o de PVC dependiendo de su diámetro. El PVC se utiliza en diámetros mayores a 50 mm, los diámetros más comunes son de 40, 50, 63, 75, 90, 110 y 160 mm. En instalaciones muy grandes las tuberías principales pueden superar los 200 mm. Las características que las hace muy adecuadas e implementadas para este tipo de instalaciones son: muy ligeras, lo que facilita su manejabilidad; Baja rugosidad interior; Presentan baja alteración ante fertilizantes y otras sustancias químicas; Bajo coste para las presiones y caudales (bajos o medios) empleados en el riego localizado (Fernández, 2010).

2.3.1.5.2. Laterales o porta emisores

Son las tuberías que se ubican dentro del cultivo a lo largo de la hilera de plantas y a una cierta distancia en el caso de doble línea. Estas tuberías normalmente se utilizan en diámetros de 16 y 20 mm en función al caudal que va a pasar por la tubería lateral. El material que se utiliza normalmente es de polietileno de baja densidad y soportan hasta una presión de 2-3 m (2-3 kg/cm^2) (Liotta, 2011).

2.3.1.5.3. Elementos singulares

Además de las tuberías, los elementos singulares constituyen una importante labor en la red de distribución de agua. Son piezas diseñadas especialmente para empalmar dos tubos, cambiar el diámetro entre tuberías, cambiar la dirección de estas, conectar más de dos entre sí, etc. Se utilizan accesorios de PVC tales como tes, codos, curvas, cuplas, mangos de reducción, etc. Para unión de válvulas, reguladores de presión (Liotta, 2011).

2.3.1.5.4. Emisores

Son los dispositivos instalados en el lateral que controlan la salida del riego. Lo normal es que los emisores estén instalados y situados a una cierta distancia, donde esta distancia tiene que ser la misma para todo el diseño de riego que se va a implementar, por lo que la salida del agua se produce de manera discreta a lo largo de las laterales de riego formando los bulbos húmedos (Liotta, 2011).

2.3.1.5.5. Microaspersores

Son emisores que distribuyen el agua al suelo en forma de lluvia fina sin llegar a humedecer toda la superficie del cultivo, desde unos 30 cm de la superficie del suelo a través del aire a una distancia de 1 a 2,5 m, mojando una superficie de 2 a 5 m de diámetro. Los caudales se encuentran en el orden de 25 a 120 l/h. Están recomendados en suelos muy arenosos o cuando hay que humedecer grandes áreas de suelo. Los microaspersores más utilizados son los de bailarina, los cuales permiten intercambiar las piezas móviles para adaptarlas a las condiciones requeridas por el cultivo en cuestión.

Estos se insertan a través de un microtubo (tubín) a la tubería, para obtener mayores alcances del chorro de agua, suelen colocarse unas estacas de sujeción a varios centímetros del suelo. Las boquillas y deflectores de microaspersores y difusores se fabrican con códigos de color que definen su caudal, forma de área regada y alcance (Fernández, 2010).

2.4 DISEÑO AGRONÓMICO

El diseño agronómico consiste en calcular las necesidades de agua del cultivo y los parámetros de riego los cuales son dosis, intervalo de riego, caudal necesario, duración del riego, número de microaspersores y disposición de estos. (Fuentes & García, 1999).

2.4.1. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS

La necesidad hídrica de los cultivos está determinada por la evapotranspiración la cual es la combinación de dos procesos separados por los que al agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. (FAO, 2006).

2.4.2. DENSIDAD APARENTE

Se define como la relación de la masa del suelo seco al horno (GEMMY durante 24 horas a 105 °C) de las partículas de suelo y el volumen total incluyendo el espacio poroso que ocupan (Castillo, 2005).

2.4.3. TEXTURA DEL SUELO

La textura representa el porcentaje arenas, limos y arcillas en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo. (Rucks et al., 2004).

2.4.4. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

Curva utilizada para mostrar la relación entre el porcentaje del agua del suelo o contenido de humedad y la presión o tensión aplicada. También se le conoce como curva de tensión de humedad del suelo o curva característica de humedad del suelo (de la Lanza et al., 1999).

2.4.5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

El coeficiente de uniformidad es uno de los indicadores más comunes para evaluar la uniformidad. Una buena eficiencia de irrigación incluye que tan bien el regador adapta las aplicaciones de agua a las necesidades de agua del cultivo. La uniformidad es una medida de la capacidad de un sistema de riego para aplicar la misma cantidad de agua en toda el área irrigada. Es un factor importante en el diseño y la gestión del sistema de riego porque se relaciona directamente con el rendimiento de los cultivos y el uso eficiente del agua (Mohamed, Peters, Zhu & Sarwar, 2019).

2.4.6. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Es la relación de la desviación estándar a la media. El coeficiente de variación tiene muchas aplicaciones en diversas áreas por ejemplo en el área de fabricación e ingeniería de materiales, el coeficiente de variación para analizar la tasa de fallas, la confiabilidad y el límite de fatiga de los materiales (Khai Wah Khaw et al., 2019).

2.5. DISEÑO HIDRÁULICO

Tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de distribución y el óptimo trazado de la misma (Fuentes, 1999).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE CACAO (*THEOBROMA CACAO L*) UBICADO EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA NÚCLEO ESCOLAR EL GUADUAL DEL MUNICIPIO DE RIVERA (HUILA), se encuentra ubicada en la zona rural del municipio de Rivera (Huila) en el corregimiento el Guadual, este corregimiento se encuentra ubicado en la parte oriental del municipio, limitado al norte con el corregimiento la Ulloa. Su altura es de 800 m.s.n.m, a 3 kilómetros de la cabecera municipal. (Ver Figura 1).



Figura 1. Ubicación del municipio de Rivera en el Huila.

3.2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO VEGETATIVO Y PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE CACAO EN LA INSTITUCIÓN.

El cultivo de cacao en la Institución se ha venido sembrando aproximadamente desde el año 2000 por lo tanto unos árboles se encuentran en la etapa de desarrollo de las copas e inicios de la producción y otros se encuentran ya en la etapa de la producción plena. Debido a que el cultivo se ha venido regando por gravedad y este sistema de riego se ha realizado sin ningún estudio a fondo de las necesidades

hídricas del cultivo y tampoco de un estudio topográfico, el cultivo ha venido presentando problemas como marchitamiento de las hojas y poca producción entre los problemas más destacados. La poca producción conlleva a una baja remuneración por la venta de este y por lo tanto falta de recursos para el sostenimiento de la Institución.

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN

Para el diseño del sistema de riego se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Recopilación de la información básica.
- Diseño agronómico.
- Diseño hidráulico.
- Análisis de precios unitarios.

3.3.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN BÁSICA

La recopilación de la información básica consta de los siguientes aspectos:

- Levantamiento topográfico.
- Superficie del proyecto.
- Textura del suelo.
- Curva de retención de humedad (CC y PMP)

3.3.1.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico se realizó con la estación total Nikon (NPL-322 5") y el GPS Garmin Etrex, con la finalidad de elaborar el plano topográfico y obtener el croquis del terreno donde se encuentra el cultivo de cacao, el área y las curvas de nivel para la realización del diseño. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software de la estación, luego para la elaboración del croquis se utilizó AUTOCAD 2018 versión académica y para la elaboración de las curvas de nivel el software surfer.

3.3.1.2. SUPERFICIE DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló en un terreno que cuenta con un área de 33872.6493 m^2 que constituye una superficie de 3,39 ha.

3.3.1.3. ANÁLISIS FÍSICOS DEL SUELO

Para la realización de los estudios físicos del suelo, se hicieron 10 hoyos con barra de acero en todo el terreno con un diámetro aproximado de 10 cm y profundidad de 60 cm. Se tomaron muestras de 0-30 cm y de 30-60 cm, es decir, se tomó suelo con 1 cilindro para cada profundidad para la determinación de la densidad aparente y la curva de retención de humedad y 100 gramos de suelo en cada profundidad para la determinación de la textura. En total fueron 20 cilindros y 20 muestras de 100 gramos cada una.

3.3.2. DISEÑO AGRONÓMICO

3.3.2.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

Existen varios métodos para determinar la evapotranspiración del cultivo, pero el que se utiliza en el presente trabajo es el método de Thornwaite (Ver Ecuación 1) (Guevara, 2003), ya que era el único al que la estación proporcionaba las variables completas. La estación hidroclimatológica escogida fue la del El Juncal debido a que esta es la más cercana al lugar donde se encuentra el cultivo que es en la vereda el Guadual del municipio de Rivera.

$$ETP_{\text{sin corregir}} = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \quad (1)$$

Donde

$$ETP_{\text{sin corregir}} = ETP \text{ mensual } \frac{\text{mm}}{\text{mes}}, \text{ para 30 días y 12 horas de sol (teóricas)}$$

$$t = \text{temperatura media mensual (}^{\circ}\text{C)}$$

$$I = \text{Índice de calor anual}$$

Índice de calor mensual a partir de la temperatura media mensual (t)

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (2)$$

Índice de calor anual

$$I = \sum i \quad (3)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 0.01792 \times I + 0.49239 \quad (4)$$

Evapotranspiración corregida

Thornwaite, 1948

$$ETP = ETP_{\text{sin corregir}} \times K_i \quad (5)$$

K_i = Factor de corrección que depende de la latitud. (Ver tabla 1)

Tabla 1. Valores de K_i para la ecuación de Thornthwaite.

Valore de K_i para la ecuación de Thornthwaite												
Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.05	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97

La estación de El Juncal se encuentra a una latitud de 2.82 (Ver tabla 2)

Tabla 2. Valores de K_i ajustados a la latitud de la estación de El Juncal.

Valores de Ki para la ecuación de Thornthwaite												
Latitud norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
3	1,028	0,934	1,034	1,016	1,052	1,022	1,052	1,046	1,01	1,034	0,998	1,028
5	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02

Los valores de temperatura media mensual proporcionados por la estación son los siguientes (Ver tabla 3).

Tabla 3. Valores de temperatura media mensual proporcionados por la estación de El Juncal.

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Enero		26,3	26,6		26,0	27,3	25,2	27,1	26,3		26,1
Febrero		27,5	26,3		25,9			27,5	25,8	27,1	27,3
Marzo		26,6	26,7	27,1	26,3	27,1	26,5	27,3	25,2	27,1	26,8
Abril		27,8	26,4		26,8	26,7	25,5	27,3	25,9	26,6	26,1
Mayo		26,2	26,7	26,0	26,4	26,9	25,8	26,3	26,4	26,6	26,4
Junio		26,3	26,5	26,4	26,5	27,2	25,5	26,6	25,8	27,3	25,6
Julio		27,3	27,8	26,4	26,3		25,1	26,2	26,3	27,5	25,5
Agosto		27,7	28,4		28,0	28,0		26,9	27,5	27,2	27,3
Septiembre	28,5		28,8		28,3	28,1	27,1	27,5	27,5	28,0	26,9
Octubre	27,1		27,0	27,4	25,2	27,2	26,0		25,6	26,7	26,1
Noviembre	26,5	25,9	26,3	26,3	25,8	26,6	25,8	26,3	25,9	26,4	25,5
Diciembre		25,7	25,9	26,0	26,4	25,5	26,0	26,1	26,3	26,3	25,0

1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
26,0	26,4	26,6	26,6		26,2	27,4	25,9	25,8	28,2
25,6	25,9	26,9	26,9	26,0	26,3	27,4	26,0	25,7	28,7
25,5	26,8	26,6	27,1	25,5	26,1	26,3	25,8	27,7	27,6
26,0	26,2	26,4	26,9	26,2	26,2	26,1	26,2	26,7	27,1
25,3	26,5	26,5	27,2	26,1	26,1	26,0	26,2	26,8	27,1
25,5	27,3	27,4	27,2	27,0	26,3	26,4	26,4	26,9	27,3
26,0	26,4	26,5	26,6	26,9	26,8	26,7	26,4	27,1	26,5
26,2	27,6	26,3	27,6	27,4	27,5	26,6	26,8	27,7	27,5
26,5	28,0	27,3	27,1	27,2	27,8	28,1	27,5	28,1	27,8
26,5	25,8	27,0	27,5	26,8	26,6	26,5	26,3	28,1	27,7
27,0	26,1	25,8	26,0	26,1	26,1	26,0	26,3	26,8	25,9

26,4	26,1	26,1	25,8	26,3	26,4	25,7	25,6	27,3	26,2
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
25,9					27,8		26,6	28,0	29,0
25,7	25,9	27,7	27,0	28,0	27,4	27,1		28,4	
26,2	26,1	26,6	27,1	26,6	28,4	26,8		28,0	27,5
25,7	25,8	27,1	26,3	26,9	26,5	26,5		27,1	28,0
26,1	25,9	26,6	26,2	27,2	27,0			27,7	27,5
26,3	26,6	27,0		27,6	27,6			26,7	28,0
27,4	26,7	26,7	27,0	27,7	27,3			28,4	28,2
27,8	27,8	27,5	27,4	28,7			28,4	27,0	28,7
26,3	26,4	27,5	27,7	28,1			28,9	28,1	28,1
25,7	27,1	28,2	27,4	27,7	26,8	26,5	27,6	26,8	27,4
26,2	26,7	26,2	26,9	26,6		26,5	25,8	27,4	26,9
26,2	26,2	26,4	27,1	27,4		26,6	27,2	27,5	27,6

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
26,7	30,1	28,9	27,9		28,0	28,3	30,0	27,2
27,8		27,7	28,5		28,6	28,7	29,8	28,1
26,8		27,7	27,3		27,4	28,5	29,2	27,2
26,9	28,2	27,5	27,9		29,0	28,1	28,2	27,8
28,0	27,9	27,3	28,3		28,2	29,0	28,8	28,1
28,4	27,4	27,9	29,2		28,9	29,3	28,6	28,2
28,8	28,0	27,8	28,9	28,8	29,5	30,2	28,2	29,3
29,3	27,9	28,5	28,9	28,5	28,7	30,7	28,9	
30,2	27,7	28,4		28,5	29,2	31,3	29,2	
29,1	27,8	27,6		28,2	29,0	30,1	28,9	
28,4	27,2	27,4		26,5	27,6	29,4	27,6	
28,9	27,3	27,0		27,1	28,0	30,1	27,7	

Como se puede observar en la tabla 3 faltan datos, los datos faltantes se llenaron empleando el método de la relación normalizada con datos de la misma estación (Ver Ecuación 6), enseñado en la clase de Hidroclimatología del semestre 2016-1, ya que es el único método que se ajusta a la situación debido a que no se cuentan con valores de temperatura media mensual de estaciones vecinas.

El método consiste en que en lugar de tomar los datos de las estaciones adyacentes, se toman los datos de los meses restantes dentro del mismo año.

$$\frac{X_i}{N_i} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i + \sum_{j=1}^m X_j}{P} \quad (6)$$

Donde:

$i = 1, 2, 3 \dots n$ (meses o periodos) de datos faltantes.

N_i = Promedio de precipitación mensual a lo largo del periodo de registro para el mes i .

X_i = Dato faltante (precipitación de un mes determinado para un año determinado).

X_j = Precipitación para los meses en los cuales si existe registro, dentro del mismo año al que pertenece X_i .

J = Subíndice que denomina todos los meses del año distintos a i .

P = Promedio anual de precipitación para todo el registro existente.

Se va a hacer una muestra de cálculo para el año 1978, los demás años se hicieron de la misma manera de acuerdo el método mencionado.

$$\frac{X_1}{27,1} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283,5}$$

$$\frac{X_2}{27,2} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283,5}$$

$$\frac{X_3}{26.9} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283.5}$$

$$\frac{X_4}{26,9} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283,5}$$

$$\frac{X_5}{26,9} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283,5}$$

$$\frac{X_6}{27,1} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283,5}$$

$$\frac{X_7}{27,3} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283,5}$$

$$\frac{X_8}{27,9} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283,5}$$

$$\frac{X_9}{26,6} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + 82.1}{283,5}$$

Este sistema de ecuaciones se resolvió mediante una calculadora científica dando como resultado:

$$X_1 = 49,8$$

$$X_2 = 50$$

$$X_3 = 49,4$$

$$X_4 = 49,4$$

$$X_5 = 49,4$$

$$X_6 = 49,8$$

$$X_7 = 50,1$$

$$X_8 = 51,2$$

$$X_9 = 48,9$$

El llenado de datos de los demás años se muestra a continuación (Ver tabla 4):

Tabla 4. Valores completos de temperatura media mensual.

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Enero	49,8	26,3	26,6	32,5	26,0	27,3	25,2	27,1	26,3	30,1	26,1
Febrero	50,0	27,5	26,3	32,5	25,9	30,9	29,5	27,5	25,8	27,1	27,3
Marzo	49,4	26,6	26,7	27,1	26,3	27,1	26,5	27,3	25,2	27,1	26,8
Abril	49,4	27,8	26,4	32,1	26,8	26,7	25,5	27,3	25,9	26,6	26,1
Mayo	49,4	26,2	26,7	26,0	26,4	26,9	25,8	26,3	26,4	26,6	26,4
Junio	49,8	26,3	26,5	26,4	26,5	27,2	25,5	26,6	25,8	27,3	25,6
Julio	50,1	27,3	27,8	26,4	26,3	30,8	25,1	26,2	26,3	27,5	25,5
Agosto	51,2	27,7	28,4	33,2	28,0	28,0	30,0	26,9	27,5	27,2	27,3
Septiembre	28,5	31,2	28,8	32,8	28,3	28,1	27,1	27,5	27,5	28,0	26,9
Octubre	27,1	30,3	27,0	27,4	25,2	27,2	26,0	29,2	25,6	26,7	26,1
Noviembre	26,5	25,9	26,3	26,3	25,8	26,6	25,8	26,3	25,9	26,4	25,5
Diciembre	48,9	25,7	25,9	26,0	26,4	25,5	26,0	26,1	26,3	26,3	25,0

1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
26,0	26,4	26,6	26,6	29,6	26,2	27,4	25,9	25,8	28,2
25,6	25,9	26,9	26,9	26,0	26,3	27,4	26,0	25,7	28,7
25,5	26,8	26,6	27,1	25,5	26,1	26,3	25,8	27,7	27,6
26,0	26,2	26,4	26,9	26,2	26,2	26,1	26,2	26,7	27,1
25,3	26,5	26,5	27,2	26,1	26,1	26,0	26,2	26,8	27,1
25,5	27,3	27,4	27,2	27,0	26,3	26,4	26,4	26,9	27,3
26,0	26,4	26,5	26,6	26,9	26,8	26,7	26,4	27,1	26,5
26,2	27,6	26,3	27,6	27,4	27,5	26,6	26,8	27,7	27,5
26,5	28,0	27,3	27,1	27,2	27,8	28,1	27,5	28,1	27,8
26,5	25,8	27,0	27,5	26,8	26,6	26,5	26,3	28,1	27,7
27,0	26,1	25,8	26,0	26,1	26,1	26,0	26,3	26,8	25,9
26,4	26,1	26,1	25,8	26,3	26,4	25,7	25,6	27,3	26,2

1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
25,9	29,5	30,1	30,2	30,6	27,8	30,7	26,6	28,0	29,0
25,7	25,9	27,7	27,0	28,0	27,4	27,1	30	28,4	29,5
26,2	26,1	26,6	27,1	26,6	28,4	26,8	29,4	28,0	27,5
25,7	25,8	27,1	26,3	26,9	26,5	26,5	29,5	27,1	28,0
26,1	25,9	26,6	26,2	27,2	27,0	29,8	29,4	27,7	27,5
26,3	26,6	27,0	29,7	27,6	27,6	30,2	29,8	26,7	28,0
27,4	26,7	26,7	27,0	27,7	27,3	30,4	30	28,4	28,2
27,8	27,8	27,5	27,4	28,7	31,6	31,2	28,4	27,0	28,7
26,3	26,4	27,5	27,7	28,1	30,7	30,7	28,9	28,1	28,1
25,7	27,1	28,2	27,4	27,7	26,8	26,5	27,6	26,8	27,4
26,2	26,7	26,2	26,9	26,6	29,0	26,5	25,8	27,4	26,9
26,2	26,2	26,4	27,1	27,4	29,7	26,6	27,2	27,5	27,6

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
26,7	30,1	28,9	27,9	29,1	28,0	28,3	30,0	27,2
27,8	29,5	27,7	28,5	28,9	28,6	28,7	29,8	28,1
26,8	28,9	27,7	27,3	28,3	27,4	28,5	29,2	27,2
26,9	28,2	27,5	27,9	28,3	29,0	28,1	28,2	27,8
28,0	27,9	27,3	28,3	28,3	28,2	29,0	28,8	28,1
28,4	27,4	27,9	29,2	28,6	28,9	29,3	28,6	28,2
28,8	28,0	27,8	28,9	28,8	29,5	30,2	28,2	29,3
29,3	27,9	28,5	28,9	28,5	28,7	30,7	28,9	28,9
30,2	27,7	28,4	29,8	28,5	29,2	31,3	29,2	28,5
29,1	27,8	27,6	28,6	28,2	29,0	30,1	28,9	27,5
28,4	27,2	27,4	27,9	26,5	27,6	29,4	27,6	26,8
28,9	27,3	27,0	28,6	27,1	28,0	30,1	27,7	27,4

3.3.2.2. DENSIDAD APARENTE

Se hizo mediante el método del cilindro, se pesaron las muestras antes de ponerlas a secar al horno (GEMMY) a 105 °C durante 24 horas, se volvieron a pesar las muestras, y se midió las alturas y los diámetros de los cilindros.

$$D_a = \frac{P_{seco}}{V_{total}} \text{ en } \frac{g}{cm^3} \quad (\text{Jaramillo, 2012})$$

3.3.2.3. TEXTURA DEL SUELO

Se hizo mediante el método de Bouyoucos (Jaramillo, 2002) y el triángulo de texturas.

3.3.2.4. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

Este proceso se llevó a cabo por el método de la olla, sometiendo las muestras de suelo a diferentes tensiones en la olla y membrana de presión, para obtener suficientes puntos entre la capacidad de campo y punto de marchitez permanente y en cada caso se determina la humedad por el método gravimétrico (Valverde, 2007).

3.3.2.5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

La prueba se hizo de acuerdo con lo establecido en la norma NMX-O-082-SCFI-2001 GOTEROS PARA SISTEMAS DE RIEGO – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA con un total de 5 microaspersores autocompensados de 70 l/h y diámetro de mojado de 8 metros y una electrobomba BARNES de 1 HP.

Durante la prueba se trabajó a una presión de operación de 23,18 PSI (16,3 mca) y se tomaron lecturas por lo que hay un total de 15 lecturas (Ver tabla 5), dando como resultado los valores de la siguiente tabla:

Tabla 5. Emisor a 16,3 m.c.a.

Q= 70 L/h		
Volumen (ml)	Q (L/h)	(Qi-Qprom)2
265	95,4	34,5744
260	93,6	16,6464
260	93,6	16,6464
260	93,6	16,6464
255	91,8	5,1984
250	90,0	0,2304
250	90,0	0,2304
250	90,0	0,2304
245	88,2	1,7424
245	88,2	1,7424
240	86,4	9,7344
240	86,4	9,7344
240	86,4	9,7344
235	84,6	24,2064
235	84,6	24,2064
	sumatoria	113,3568

Qprom (L/h)=	89,520	Cuf	0,03178628
n-1=	14	U	1
S=	2,845507738	Q (25%) (L/h)	85,5
CV=	0,031786279	Q Nominal (L/h)	70
Coeficiente de uniformidad		Q minimo (L/h)	84,6
Cu ecuacion 1	96,82137205	EP(emisores por planta)	1
Cu ecuacion 2	97,49206255		
Cu ecuacion 3	115,4299119		
Cu ecuacion 4	95,50938338		
Cu ecuacion 5	90,68902878		
Cu ecuacion 6	95,96314251		
Prom Cu	98,65081686		

El coeficiente de uniformidad se calculó por los diferentes métodos y posteriormente se hizo el promedio.

Las ecuaciones utilizadas para calcular los coeficientes de uniformidad son:

Christiansen, 1942

$$C_u = \left[1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}}{\bar{x} * m} \right] * 100 \quad (7)$$

Siendo

C_u = Coeficiente de uniformidad %

$\bar{x}$ = Valor promedio del agua recogida

n = Número de observaciones

Hart y Reynolds, 1965

$$C_u = \left(1 - \frac{0.798 * S}{\bar{q}} \right) * 100 \quad (8)$$

Siendo

C_u = Coeficiente de uniformidad %

S = Desviación estándar

$\bar{q}$ = Caudal o gasto promedio

Keller y Karmeli, 1974 y 1975

$$C_u = 100 * \left[1 - U + U * \frac{q_{25\%h}}{q_{medh}} \right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}} \quad (9)$$

$$C_u = 100 * \frac{q_{25\%h}}{q_{medd}} \quad (10)$$

$$C_u = 100 * \left[1 - \frac{1.27 C_{vf}}{\sqrt{ep}} \right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}} \quad (11)$$

Barragán, 2005

$$C_u = \left(1 - 1.27 * \frac{C_{vf}}{\sqrt{ep}} \right) * 100 \quad (12)$$

Siendo

C_u = Coeficiente de uniformidad %

C_{vf} = Coeficiente de variación

ep = Número de emisores por planta

3.3.2.6. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

La determinación de los coeficientes de variación se hizo con la siguiente ecuación

$$C_v = \frac{S}{\bar{q}} \quad (13)$$

Siendo

C_v = Coeficiente de variación

$\bar{q}$ = Descarga media de la muestra de emisores

S = Desviación estándar

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (14)$$

Para la realización del diseño hidráulico se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Ama = P * Se * Sl \quad (15)$$

Dónde:

Ama es el área de mojado por árbol, en m²

P es el porcentaje de suelo humedecido, en %

Se es la separación de emisores, en m

Sl es la separación de los laterales, en m

$$Ame = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (16)$$

Dónde:

Ame es el área de mojado por emisor, en m²

d es el diámetro húmedo del emisor, en m

$$em = \frac{Ama}{Ame} \quad (17)$$

Dónde:

em es el número de microaspersores por árbol

Ama es el área de mojado por árbol, en m²

Ame es el área de mojado por emisor, en m²

$$Va = \frac{I*DP}{em} \quad (18)$$

Dónde:

Va es el volumen de aplicación, en l/microaspersor

I es el intervalo de riego, en días

DP es la dosis de riego, en l/día

em es el número de microaspersores por árbol

$$ta = \frac{Va}{em*\bar{q}} \quad (19)$$

Dónde:

ta es el tiempo de aplicación, en horas

Va es el volumen de aplicación, en l/microaspersor

$\bar{q}$ es el caudal del microaspersor, en l/h

$$UP = \frac{Td}{Ta} \quad (20)$$

Dónde:

UP es el número de unidades operacionales

Td es el tiempo disponible para riego, en horas

Ta es el tiempo de aplicación, en horas

$$ta^* = \frac{td}{UP} \quad (21)$$

Dónde:

ta*= Tiempo de aplicación recalculado, en horas

td es el tiempo disponible, en horas

UP es el número de unidades operacionales

$$\bar{q}^* = \frac{DP}{em*ta^*} \quad (22)$$

Dónde:

$\bar{q}^*$ es el caudal promedio ajustado del emisor, en l/h

DP es la dosis de riego, en mm /día

em es el número de microaspersores por árbol

ta* es el tiempo de aplicación recalculado, en horas

$$Q_s = \frac{10 \cdot A \cdot e \cdot m \cdot \bar{q}}{UP \cdot Se \cdot Sl} \quad (23)$$

Dónde:

Q_s es el caudal del sistema, en m^3/h

A es el área total a regar, en ha

e es el número de microaspersores por árbol

$\bar{q}$ es el caudal del emisor, en l/h

UP es el número de unidades operacionales

Se es la separación entre los emisores, en m

Sl es la separación entre los laterales, en m

$$J = 7,89 \cdot 10^7 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \cdot \frac{L \cdot m}{100 \cdot m} \quad (24)$$

Dónde:

J es la pérdida en el lateral, en m

Q es el caudal total del lateral, en l/s

D es el diámetro del lateral, en mm

L es la longitud el lateral, en m

$$J^* = J \cdot \frac{Se + fe}{Se} \quad (25)$$

Dónde:

J^* son las pérdidas menores, en m

Se es la separación entre emisores, en m

fe son las pérdidas por conexión

J es la pérdida en el lateral, en m

$$hfl = J^* \cdot F \quad (26)$$

Dónde:

hfl son las pérdidas de carga en el lateral, en m

J^* son las pérdidas menores, en m

F es el factor de Christiansen.

$$hl = h + \frac{3}{4}hfl + \frac{1}{2} * \frac{S*L}{100} \quad (27)$$

Dónde:

hl es la presión a la entrada del lateral, en m

h es la carga del emisor, en m

hfl es la pérdida de carga en el lateral, en m

s es la pendiente, en %

L es la longitud del lateral, en m

$$hn = hl - \left(hfl + \frac{S*L}{100} \right) \quad (28)$$

Dónde:

hn es la presión mínima del lateral, en m

hl es la presión a la entrada del lateral, en m

hfl son la pérdidas de carga en el lateral, en m

s es la pendiente, en %

L es la longitud del lateral, en m

$$\Delta h = hl - hn \quad (29)$$

Dónde:

Δh es la pérdida de carga permisible, en m

hl es la presión en la entrada del lateral, en m

hn es la presión mínima del lateral, en m

La tubería secundaria se diseña de acuerdo al método de velocidad permisible

$$Di = \sqrt{\frac{4*q}{\pi*V}} \quad (30)$$

Dónde:

Di es el posible diámetro de la tubería, en m

q es el caudal de la tubería secundaria o principal según sea el caso, en m³/s

V es la velocidad permisible, en m/s en este caso se trabajó con 1.75 m/s

Criterio de selección de tubería secundaria y principal

$$hf = \frac{1\ m}{43,35\ m} \quad (31)$$

$$hf = \frac{\sum H_f}{L^* + l_e} \quad (32)$$

Dónde:

hf es el criterio de selección de la tubería secundaria o principal, en m/m

$\sum H_f$ son las pérdidas de la tubería secundaria o principal según sea el caso, m

L^* es la longitud de la tubería secundaria o principal, en m

l_e es la longitud equivalente de la tubería secundaria o principal, en m

Para el filtro de mallas

$$Ae = \frac{Q^*}{V} \quad (33)$$

Dónde:

Ae es el área efectiva, en m^2

Q^* es el caudal máximo de trabajo, en m^3/s

V es la velocidad permisible, en m/s se trabajó con 0.6 m/s

$$A^* = \frac{Ae}{0,34} \quad (34)$$

Dónde:

A^* es el área de la malla, en m^2

Ae es el área efectiva, en m^2

Diseño del cabezal

$$H_b = h_t + \sum H_{fs} + \sum H_{fp} + \sum H_{loc} \pm \frac{S \cdot \bar{L}}{100} \quad (35)$$

Dónde:

H_b es la carga que debe vencer la bomba, en m

h_t es la carga requerida en la entrada de la tubería terciaria, en m

$\sum H_{fs}$ es la suma de las pérdidas por fricción en la tubería secundaria, en m

$\sum H_{fp}$ es la suma de las pérdidas por fricción en la tubería principal, en m

$\sum H_{loc}$ es la sumatoria de pérdidas localizadas (codos, tee, uniones, ampliaciones, reducciones, válvulas, reguladores, filtros, etc., en m

S es la pendiente, en %

$\bar{L}$ es la longitud de la tubería principal, en m

$$H_b^* = 1,15 \cdot H_b \quad (36)$$

Dónde:

H_b^* es la capacidad extra de la bomba de 15%, en m

H_b es la carga que debe vencer la bomba, en m

$$HP_b = \frac{\bar{Q} \cdot H_b^*}{76 \cdot E_b} \quad (37)$$

Dónde:

HP_b es la potencia requerida en la bomba, en HP

$\bar{Q}$ es el caudal máximo con el que se diseña la tubería principal, en l/s

H_b^* es la capacidad extra de la bomba de 15%, en m

E_b es la eficiencia de la bomba, en factor. En este caso se trabajó con 80%

$$HP_m = \frac{HP_b}{E_m} \quad (38)$$

Dónde:

HP_m es la potencia del motor, en HP

HP_b es la potencia requerida en la bomba, en HP

E_m es la eficiencia del motor, en factor. En este caso se trabajó con 80%.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DISEÑO AGRONÓMICO

4.1.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Ya teniendo los datos completos de la temperatura media mensual se procede a aplicar la ecuación de la evapotranspiración del cultivo teniendo en cuenta que el K_c del cultivo de cacao según la FAO, (2006) es 1,05 (Ver tabla 6).

Tabla 6. Evapotranspiración del cultivo.

	T Pm MA	I	Ki Latitud	Eto	Eto dia	Etc
Enero	28,4	13,88	1,03	178,3	5,8	6,0
Febrero	28,3	13,76	0,93	158,1	5,1	5,4
Marzo	27,6	13,30	1,03	159,2	5,1	5,4
Abril	27,7	13,32	1,02	157,2	5,1	5,3
Mayo	27,6	13,28	1,05	161,4	5,2	5,5
Junio	27,9	13,52	1,02	164,7	5,3	5,6
Julio	28,1	13,66	1,05	174,5	5,6	5,9
Agosto	28,8	14,19	1,05	192,8	6,2	6,5
Septiembre	28,4	13,86	1,01	174,6	5,6	5,9
Octubre	27,4	13,12	1,03	153,1	4,9	5,2
Noviembre	26,7	12,60	1,00	132,2	4,3	4,5
Diciembre	27,3	13,10	1,03	151,7	4,9	5,1
	I	161,60				
	a	4,2				

En el proyecto se trabajó con la evapotranspiración más alta que fue la del mes de agosto con un valor de 6,5 mm/día. De acuerdo a Cervantes *et al.*, (2013) para utilizar el recurso agua de la manera más adecuada posible, es importante conocer el valor de la evapotranspiración y dependiendo de este, determinar las necesidades de agua del cultivo de cacao.

Para no exigir grandes esfuerzos por parte del cultivo de cacao es necesario asegurar que el suelo tenga la suficiente agua para reponer las pérdidas causadas por la evapotranspiración, basado en lo anteriormente dicho es que se diseña el sistema de riego por microaspersión. (Santos, 2014)

La evapotranspiración depende de la fase del cultivo entre muchos otros aspectos, el cacao que se está trabajando es un cultivo joven por lo que la evapotranspiración aumenta. En un estudio realizado en el departamento del Tolima utilizando un software que realiza estimaciones de la evapotranspiración utilizando datos provenientes de imágenes satelitales, se encontró valores de evapotranspiración que oscilaban entre 4,83 mm/día y 6,4 mm/día correspondiente a parcelas con un K_c de 1,05 como en este caso (Murillas & Londoño, 2014).

El valor de evapotranspiración que se trabaja en este proyecto de 6.5 mm/día es un valor alto que según CENICAFÉ, (2005) es un valor que se da en la Guajira (Colombia) a los 0 msnm. Para la altura sobre el nivel del mar en la que se encuentra el cultivo que es 800 msnm CENICAFÉ, (2005) dice que la evapotranspiración debería oscilar entre 3,74 mm/día y 4,13 mm/día.

Son muchos factores los que influyen en el valor de la evapotranspiración y no sólo la altura sobre el nivel del mar, por lo que es posible según este proyecto y el de (Murillas & Londoño;2014) encontrar evapotranspiraciones altas también en la zona andina de Colombia.

4.1.2. DENSIDAD APARENTE

La densidad del suelo en el que se encuentra el cultivo de cacao para el que se está diseñando el sistema de microaspersión es de $1,32 \text{ g/cm}^3$ este valor de acuerdo a Castillo, (2005) es medio, por lo que se trata de suelos francos lo cual coincide con la textura del suelo que es franco arenosa.

Afirma Jaramillo, (2012) que la densidad aparente puede variar de 1 a $1,8 \text{ g/cm}^3$ en suelos agrícolas. Valores de densidad aparente mayores a $1,6 \text{ g/cm}^3$ indican que la aireación del suelo estará limitada y valores de densidad aparente menores

a 1 g/cm^3 indican altísimos contenidos de materia orgánica. El suelo donde se encuentra el cultivo de cacao, de acuerdo a lo anterior no presenta dificultades de aireación en la zona radicular, se está trabajando en un suelo que se encuentra según la densidad aparente adecuado para usos agrícolas, por lo que se permite el desarrollo apropiado del cacao.

4.1.3. TEXTURA DEL SUELO

La textura del suelo donde se encuentra el cultivo de cacao es franco arenosa y según lo reportado por CATIE, (1993) este tipo de suelo es el que se requiere para el cultivo de cacao, debido a que ofrece condiciones óptimas para el cultivo, por su estructura porosa, permitiendo una adecuada infiltración y aireación (Suárez, Moreira & Vera, 1994).

4.1.4. INFILTRACIÓN

En el proyecto no se realizó la prueba de infiltración pero si la prueba de textura, dando como resultado una textura franco arenosa, y según CIMMYT, (2013) en esta textura la velocidad de infiltración se encuentra en un rango de 20 a 30 mm/h. Tomando una velocidad de infiltración de 20 mm/h o lo que es lo mismo 480 mm/día, este valor es superior a la tasa de aplicación del microaspersor que es 133,84 mm/día por lo que no se presentarán encharcamientos y por ende tampoco escurrimientos.

4.1.5. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

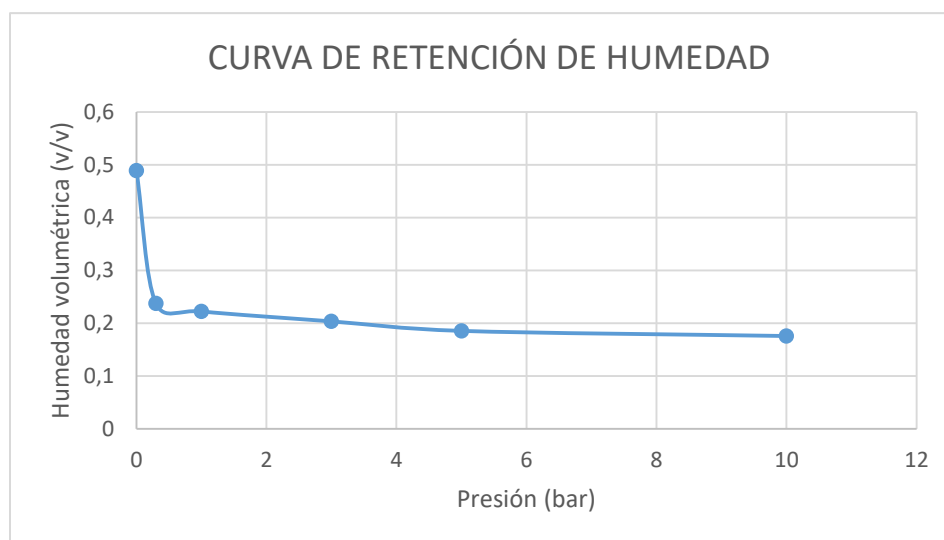


Figura 2. Curva de retención de humedad.

Cutillas, Barberá y García, (2014) señalan que la curva de retención de humedad (ver Figura 2) proporciona información sobre características importantes como la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (siendo estas 23,8 % y 17,6 % respectivamente), al expresar la relación entre el contenido de agua y la presión.

En la curva se puede observar que la mayor humedad se presenta cuando hay la menor tensión tal como lo afirma Casanova, (2005) a mayor humedad menor tensión y viceversa.

La curva de retención de humedad guarda una estrecha relación con la textura, debido a la cantidad de poros, entonces, un suelo arcilloso, va a retener mayor humedad que un suelo franco arenoso como en este caso, ya que el suelo arcilloso posee una mayor cantidad de poros (Valverde, 2007).

4.1.6. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

Esmeral, (2011) ratifica que un coeficiente de uniformidad por encima del 90 % es excelente, como en esta caso ya que el coeficiente de uniformidad de los microaspersores evaluados en el presente proyecto es de 98,65 %.

4.1.7. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

El coeficiente de variación es 0,03 por lo que de acuerdo con Pizarro, (1996) corresponde a un emisor de categoría A los cuales son emisores de elevada uniformidad cuyo coeficiente de variación de fabricación es menor a 0,05.

4.2. DISEÑO HIDRÁULICO

Datos iniciales para el diseño de riego por microaspersión:

Cacao (*Theobroma Cacao L.*)

Superficie = 3,39 ha

Caudal disponible = 0,32 m³/s

Textura = Franco Arenosa

Pendiente N-S= 0,53%

Pendiente E-W= -0,52 %

Microaspersor Nacional

Boquilla de color ROJA diámetro salida 0.85 mm

Caudal del Emisor ($\bar{q}$) = 70 l/h

Carga del emisor (h) = 16,3 m

Diámetro húmedo (d) = 8 m

Porcentaje de suelo humedecido (P) = 50%

Distancia de siembra = 3*3 m²

Distancia de siembra = 3 m

Área que se desea mojar $4,5 \text{ m}^2$

Área de mojado por emisor = $50,26 \text{ m}^2$

Número de emisores por árbol (em) = 0,089= 1 Microaspersor

Profundidad radicular= 0,7-1 m

Dosis de riego (DP) = 133,84 mm/día

Intervalo de riego (I) = 1día

Coeficiente de variación (Cv)= 3 %

Pérdidas por conexión (fe) = 0,18

Coeficiente de uniformidad (CU) = 98,65 %

Ecuación del emisor= $q = 75,05H^{0.3411}$

Teniendo en cuenta que el diámetro de sombra del árbol de cacao es de 5,12 m por lo que su área de sombra es de $20,59 \text{ m}^2$ y que la evapotranspiración del cultivo es de 6,5 mm/día se procedió a hallar la dosis de riego de la siguiente manera

$$DP = 20,59 \frac{\text{m}^2}{\text{planta}} * 6,5 \frac{\text{mm}}{\text{día}} = 133,84 \frac{\text{mm}}{\text{planta día}}$$

- Área de mojado por árbol de la ecuación (15)

$$Ama = 0,5 * 3 * 3 = 4,5 \text{ m}^2$$

- Área de mojado por emisor de la ecuación (16)

$$Ame = \frac{\pi(8)^2}{4} = 50,27 \text{ m}^2$$

- Número de microaspersores por árbol de la ecuación (17)

$$em = \frac{4,5}{50,27} = 0,089 \text{ emisores} \approx 1 \text{ microaspersor}$$

$$P = \frac{50,27}{3 * 3} = 5,58 * 100 = 558 \% > 50\% \text{ Se acepta}$$

Siendo P el porcentaje de suelo humedecido

- Volumen de aplicación de la ecuación (18)

$$Va = \frac{1 \text{ día} * 133,84 \frac{l}{\text{día}}}{1 \text{ micro}} = \frac{133,84 \frac{l}{\text{micro}}}{\text{día}}$$

- Tiempo de aplicación de la ecuación de la ecuación (19)

$$ta = \frac{133,84 \text{ l/micro}}{1 * 70 \text{ l/h}} = 1,9 \text{ horas}$$

- Diseño hidráulico de la subunidad de riego con las pérdidas de carga permisibles en la subunidad

Pérdidas de carga permisible en la subunidad de riego:

Según la teoría se dice que para los microaspersores autocompensados se permite perder el 20% de la presión a la entrada del lateral, para el siguiente caso y según los catálogos del microaspersor se maneja una presión de 1,6 bares a la entrada del lateral.

$$1,6 \text{ bar} = \frac{10,1974 \text{ m}}{1 \text{ bar}} = 16,32 \text{ m}$$

$$16,32 \text{ m} * 0,20 = 3,3 \text{ m}$$

Lo que se permite perder en el lateral y la terciaria son 3,3 m

LÍMITES DE UTILIZACIÓN DEL PROYECTO

- a) Tiempo de aplicación

$$ta = 1,9 \text{ horas}$$

- b) Tiempo disponible para riego

$$td = 9 \text{ horas}$$

- c) Unidades operacionales de la ecuación (20)

$$UP = \frac{9 \text{ horas}}{1,9 \text{ horas}} = 4,74 \approx 5 \text{ unidades}$$

5 unidades operacionales cada una con 12 subunidades

U1 (1,9 h) Subunidad (1)

U2 (1,9 h) Subunidad (2)

U3 (1,9 h) Subunidad (3)

U4 (1,9 h) Subunidad (4)

U5 (1,9 h) Subunidad (5, 6, 7)

d) Recalculando el tiempo de aplicación de la ecuación (21)

$$ta^* = \frac{9}{5} = 1,8 \text{ horas}$$

e) Caudal promedio ajustado del emisor de la ecuación (22)

$$\bar{q}^* = \frac{133,84}{1 \cdot 1,8} = 74,36 \text{ l/h}$$

f) Criterio

$$|\bar{q}^* - \bar{q}| \leq 0,1 * \bar{q}$$

$$\left| 74,36 \frac{\text{l}}{\text{h}} - 70 \text{ l/h} \right| \leq 0,1 * 70 \text{ l/h}$$

$$4,36 \frac{\text{l}}{\text{h}} \leq 7 \frac{\text{l}}{\text{h}} \text{ OK}$$

CAUDAL DEL SISTEMA

Para hallar el caudal del sistema se utilizó la ecuación (23)

$$Q_s = \frac{10 \cdot 3,39 \cdot 1 \cdot 70}{5 \cdot 3 \cdot 3} = 52,73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 14,65 \text{ l/s}$$

TUBERIA LATERAL

- Cálculo de las pérdidas en la lateral

$$1) J = 7,89 * 10^7 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} * \frac{L}{100 m}$$

$$J = 7,89 * 10^7 \frac{0,47 l/s^{1,75}}{24,6 mm^{4,75}} * \frac{73,8m}{100 m} = 3,79 m$$

$$2) J^* = J * \frac{Se+fe}{Se}$$

$$J^* = 3,79 m * \frac{3 + 0,18}{3} = 4,02 m$$

$$3) hfl = J^* * F$$

$$hfl = 4,02 m * 0,385 = 1,55 m$$

$$4) hl = h + \frac{3}{4} hfl + \frac{1}{2} * \frac{S*L}{100}$$

$$hl = 16,3m + \frac{3}{4} 1,55m + \frac{1}{2} * \frac{0,52 * 73,8m}{100} = 17,65 m$$

$$5) hn = hl - \left(hfl + \frac{S*L}{100} \right)$$

$$hn = 17,65 - \left(1,55 + \frac{0,52 * 73,8}{100} \right) = 15,72 m$$

$$6) \Delta h = hl - hn$$

$$\Delta h = 17,65m - 15,72m = 1,93 m < 3 m OK$$

Tabla 7. Diseño de los laterales del sistema de riego.

LATERALES											
Longitud L (m)	#Microaspersores	Q (l/h)	Q(l/s)	D(mm)	F(m)	J(m)	J*(m)	hfl(m)	hl(m)	hn(m)	Δh(m)
73,8	24	1680	0,47	24,6	0,385	3,79	4,02	1,55	17,65	15,72	1,93
71,9	23	1610	0,45	24,6	0,386	3,43	3,64	1,40	17,54	15,76	1,78
65	21	1470	0,41	24,6	0,388	2,64	2,80	1,09	17,28	15,86	1,43
62,9	20	1400	0,39	24,6	0,389	2,35	2,49	0,97	17,19	15,89	1,30
59,2	19	1330	0,37	24,6	0,39	2,02	2,14	0,84	17,08	15,94	1,14
56,8	18	1260	0,35	24,6	0,392	1,76	1,87	0,73	17,00	15,97	1,03
53,8	17	1190	0,33	24,6	0,393	1,51	1,60	0,63	16,91	16,00	0,91
50,6	16	1120	0,31	24,6	0,395	1,28	1,36	0,54	16,83	16,03	0,80
46,7	15	1050	0,29	24,6	0,397	1,05	1,12	0,44	16,75	16,07	0,69
42,5	14	980	0,27	24,6	0,4	0,85	0,90	0,36	16,68	16,10	0,58
41,8	13	910	0,25	24,6	0,403	0,73	0,78	0,31	16,64	16,11	0,53
38,5	12	840	0,23	24,6	0,406	0,59	0,62	0,25	16,59	16,14	0,45
35,3	11	770	0,21	24,6	0,41	0,46	0,49	0,20	16,54	16,16	0,38
32,9	10	700	0,19	13,6	0,415	6,10	6,47	2,68	18,40	15,54	2,85
29,7	9	630	0,18	13,6	0,421	4,58	4,85	2,04	17,91	15,71	2,20
26,9	8	560	0,16	13,6	0,428	3,38	3,58	1,53	17,52	15,85	1,67
23,7	7	490	0,14	13,6	0,438	2,35	2,50	1,09	17,18	15,97	1,22
20,9	6	420	0,12	13,6	0,451	1,59	1,68	0,76	16,92	16,06	0,87
13,2	4	280	0,08	13,6	0,497	0,49	0,52	0,26	16,53	16,20	0,33
6,8	2	140	0,04	13,6	0,65	0,08	0,08	0,05	16,36	16,27	0,09

TUBERIA TERCIARIA

- Cálculo de las pérdidas en la terciaria

$$1) J = 7,89 * 10^7 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} * \frac{L}{100 m}$$

$$J = 7,89 * 10^7 \frac{13,81 \frac{l}{s}^{1,75}}{84,6 mm^{4,75}} * \frac{100 m}{100 m} = 5,46 m$$

$$2) J^* = J * \frac{Se+fe}{Se}$$

$$J^* = 5,46 m * \frac{3 m + 0,18}{3 m} = 5,79 m$$

$$3) \ hft = J^* * F$$

$$hft = 5,79 \text{ m} * 0,38 = 2,20 \text{ m}$$

$$4) \ ht = hl + \frac{3}{4} hft + \frac{1}{2} * \frac{S * L}{100}$$

$$h_t = 17,67 \text{ m} + \frac{3}{4} 2,20 \text{ m} + \frac{1}{2} * \frac{0,53 * 100}{100} = 19,59 \text{ m}$$

$$5) \ hn = ht - \left(hft + \frac{S * L}{100} \right)$$

$$hn = 19,59 \text{ m} - \left(2,20 \text{ m} + \frac{0,53 * 100}{100} \right) = 16,86 \text{ m}$$

$$6) \ \Delta h = ht - hn$$

$$\Delta h = 19,59 \text{ m} - 16,86 \text{ m} = 2,73 \text{ m} < 3 \text{ m OK}$$

Tabla 8. Diseño de las terciarias del sistema de riego.

TERCIARIAS												
Longitud L (m)	#Laterales	Q(l/h)	Q(l/s)	D(mm)	F	hl(m)	J(m)	J*(m)	hft(m)	ht(m)	hn(m)	Δh(m)
100	33	49700	13,81	84,6	0,38	17,65	5,46	5,79	2,20	18,21	15,49	2,73
100	33	40250	11,18	84,6	0,38	17,28	3,77	4,00	1,52	17,70	15,66	2,04
108,67	36	43400	12,06	84,6	0,378	17,65	4,68	4,96	1,88	17,99	15,55	2,44
108,63	36	53830	14,95	84,6	0,378	17,65	6,82	7,23	2,73	18,63	15,33	3,30
58,5	19	18200	5,06	57,4	0,39	17	3,48	3,68	1,44	17,53	15,79	1,74
75,65	25	22330	6,20	57,4	0,385	17,1	6,43	6,81	2,62	18,46	15,45	3,02
77,05	25	14210	3,95	57,4	0,384	16,54	2,97	3,15	1,21	17,41	15,80	1,61

TUBERIA SECUNDARIA

- Tramo 1

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.00506 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 1,75 \text{ m/s}}}$$

$$D = 60,67 \text{ mm}$$

Tabla 9. Diseño de la tubería secundaria del sistema de riego.

SECUNDARIA					
Caudal (l/s)	Longitud L* (m)	Diámetro (mm)	perdidas m/100m	longitud equivalente de accesorios (m)	perdidas tubería secundaria $\sum H_{fs}$ (m)
5,06	22,3	45,3	18,32	1,76	4,407269126
5,06	22,3	57,4	5,95	2,26	1,461292924
5,06	22,3	84,6	0,94	2,91	0,237631511

- Tramo 1

$$\phi = 45,3 \text{ mm} \quad hf = \frac{4,41m}{24,06m} = \frac{1m}{5,46m}$$

$$\phi = 57,4 \text{ mm} \quad hf = \frac{1,46m}{24,56m} = \frac{1m}{16,82m} \quad OK$$

$$\phi = 84,6 \text{ mm} \quad hf = \frac{0,24m}{25,21m} = \frac{1m}{105,04m}$$

TUBERIA PRINCIPAL

Tramo AB

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.01521 \text{ m}^3/s}{\pi * 1,75 \text{ m/s}}}$$

$$D = 105,19 \text{ mm}$$

Tramo BC

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,01495 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 1,75 \text{ m/s}}}$$

$$D = 104,29 \text{ mm}$$

Tabla 10. Diseño de tubería principal del sistema de riego.

PRINCIPAL						
Tramo	Caudal (l/s)	Longitud $\bar{L}$ (m)	Diámetro (mm)	perdidas m/100m	longitud equivalente de accesorios (m)	Perdidas tubería principal $\sum H_{fp}$ (m)
AB	15,21	284,16	84,6	6,47	10,23	19,04219275
AB	15,21	284,16	108,7	1,97	11,33	5,811062968
BC	14,95	149,14	84,6	6,28	10,23	10,00222083
BC	14,95	149,14	108,7	1,91	11,33	3,061981825

Tramo AB

$$\phi = 84,6 \text{ mm} \quad hf = \frac{19,04\text{m}}{294,39\text{m}} = \frac{1\text{m}}{15,46\text{m}}$$

$$\phi = 108,7 \text{ mm} \quad hf = \frac{5,81\text{m}}{295,49\text{m}} = \frac{1\text{m}}{50,86\text{m}} \text{ OK}$$

Tramo BC

$$\phi = 84,6 \text{ mm} \quad hf = \frac{10\text{m}}{159,37\text{m}} = \frac{1\text{m}}{15,93\text{m}}$$

$$\phi = 108,7 \text{ mm} \quad hf = \frac{3,1\text{m}}{160,47\text{m}} = \frac{1\text{m}}{51,76\text{m}} \text{ OK}$$

FILTRO DE MALLAS

$$Ae = \frac{Q^*}{v}$$

$$A^* = \frac{Ae}{0,34}$$

$$Ae = \frac{0,01521 \text{ m}^3/\text{seg}}{0,6 \text{ m}/\text{seg}} = 0,02535 \text{ m}^2$$

$$A^* = \frac{0,02535 \text{ m}^2}{0,34} = 0,075 \text{ m}^2$$

DISEÑO DEL CABEZAL

$$Hb = 18,63 + 1,46 + 8,91 + 14,93 + \frac{0,53 * 433,3}{100} = 46,23 \text{ m}$$

$$\sum H_{loc} =$$

$$\text{Uniones } \frac{433,3}{50} * 0,15 = 1,3 \text{ m}$$

$$\text{Tee } 2 * 0,6 = 1,6 \text{ m}$$

$$\text{Codo } 90 (4") = 2,21 * 3 = 6,63 \text{ m}$$

$$\text{Tee } 2 * 0,9 = 1,8 \text{ m}$$

$$\text{Malla } F - 340 = 0,10 \text{ m}$$

$$\text{Hidrociclón } F - 755 = 3,5 \text{ m}$$

- Potencia de la bomba

$$Hb^* = 1,15 * 46,23 = 53,2 \text{ m}$$

$$HPb = \frac{\bar{Q} * Hb^*}{76 * Eb}$$

$$HPb = \frac{15,21 \frac{l}{s} * 53,2 \text{ m}}{76 * 0,8} = 13,3 \text{ HP}$$

- Potencia del motor

$$HPm = \frac{HPb}{Em}$$

$$HPm = \frac{13,3 \text{ HP}}{0,8} = 16,63 \text{ HP}$$

4.3. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

Tabla 11. Análisis de los costos del sistema de riego por microaspersión.

DISEÑO DE RIEGO POR MICROASPERSION PARA UN CULTIVO DE CACACO EN LA INSTITUCION EDUCATIVA NUCLEO EL GUADUAL						
	ACTIVIDADES	UN	CANT	V. Unitario	V. Total	V. Capitulo
1	Excavacion					
1,1	Excavacion tuberia principal (0,5x0,2)	m ³	43,33	\$ 41,998	\$ 1,819,769	
1,2	Excavacion tuberia secundaria (0,5x0,2)	m ³	2,23	\$ 41,998	\$ 93,655	
1,3	Excavacion tuberia terciaria (0,5x0,2)	m ³	62,85	\$ 41,998	\$ 2,639,568	
	SUBTOTAL					\$ 4,552,993
2	Instalacion de las laterales					
2,1	Manguera revestida 3/4" x 100 metros	UN	98,0	\$ 144,816	\$ 14,191,921	
2,2	Manguera revestida 1/2" x 90 metros	UN	11,0	\$ 118,566	\$ 1,309,754	
2,3	Microaspersor con estaca, micromanguera y sus otros implementos	UN	658	\$ 3,500	\$ 2,303,000	
	SUBTOTAL					\$ 17,804,675

3	Intalacion de las tuberias terciarias					
3,1	Manguera revestida 3" x 100 metros	UN	4,17	\$ 2,751,016	\$ 11,479,988	
3,2	Manguera revestida 2" x 90 metros	UN	2,35	\$ 1,246,716	\$ 2,925,626	
	SUBTOTAL					\$ 14,405,614
4	Intalacion de la tuberia secundaria					
4,1	Manguera revestida 2" x90 metros	UN	0,3	\$ 375,516	\$ 112,655	
	SUBTOTAL					\$ 112,655
5	Intalacion de la tuberia Principal					
5,1	Manguera revestida 4" x50 metros	UN	8,7	\$ 1,039,651	\$ 9,044,966	
	SUBTOTAL					\$ 9,044,966
6	Cabecal de campo					
6,1	Casa de almacenamiento de (3x2,40) m	m ²	28,8	\$ 175,330	\$ 5,049,515	
6,2	Cabecal de riego	UN	1	\$ 10,380,357	\$ 10,380,357	

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La implementación de un sistema de riego presurizado en los cultivos agrícolas es de gran importancia debido a que el agua se maneja con una mejor eficiencia, por tal motivo se garantiza la cantidad de agua necesaria a la planta, y así mejorar su producción y calidad del fruto.
- Según la gráfica del Anexo 6. se puede observar que para los meses de junio, julio, agosto y septiembre hay un déficit hídrico incrementándose en el mes de agosto y para suplir las necesidades hídricas del cultivo es necesario implementar un sistema de riego con una frecuencia de riego de 1 día para estos meses, y para los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre con una frecuencia de 3 días debido a la incrementación de la precipitación en esos meses del año.
- Según los resultados obtenidos en las pruebas físicas del suelo realizado en la Institución Educativa Núcleo Escolar el Guadual para el diseño por microaspersión presenta una textura (FA) y D_a de $(1,32 \text{ g/cm}^3)$. Estos valores obtenidos indica que el suelo donde se encuentra el cultivo de cacao no presenta dificultades de aireación en la zona radicular, se está trabajando con un suelo adecuado para usos agrícolas según su textura y D_a .
- Los costos de un sistema de riego son indispensables ya que permiten dar la aprobación final del proyecto, el cual se ve afectado inicialmente por su elevado costo, pero el mismo cultivo se encargará de pagar la red de instalación.
- Según los resultados obtenidos, el caudal que se debe pedir de concesión a la Corporación del Alto Magdalena (CAM) es de 15,21 l/s, considerando el caudal de la quebrada en épocas de bajas precipitación y elevadas temperaturas se puede extraer esta cantidad de agua necesaria para el riego del lote.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar el debido mantenimiento preventivo de la red de instalación, el cual debe ser periódico según lo recomendado por el operario de mantenimiento, ya que las fugas, suciedad en el filtro, defectos o daños en los microaspersores y problemas de presión podrían bajar notoriamente la eficiencia del sistema de riego, del mismo modo aumentando los costos de operación y problemas de uniformidad.
- Al realizar la construcción del diseño de riego se debe seguir con las especificaciones del diseño según los cálculos hidráulicos y planos, para así mismo garantizar la mejor eficiencia de la red de instalación.
- Se debe dar un seguimiento a través de talleres de capacitación a los encargados del manejo de la red de distribución, en operación y mantenimiento del sistema, aplicación de riego en el cultivo y a las prácticas del manejo adecuado para una buena producción.
- La red de distribución se debe operar a la presión correcta, ya que el sistema de riego va a funcionar de una manera más eficiente. Cuando la presión es superior o inferior a la óptima, se producen diferencias en la cantidad de agua distribuida. Los motores que accionan las bombas deben reiniciarse periódicamente para que operen de la mejor manera y así mantener la presión de operación adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

Aranzazu, F. & Jamies, Y. (2010). Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilla (*Moniliophthora roreri*).

Bonneau, L. (2001). Performance of irrigation systems on irrigated banana plantation in Cameroon.

Casanova, E. (2005). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Castillo, C. (2005). 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. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

CATIE. (1993). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Sombras y cultivos asociados con cacao. Editor W. Phillips Mora. Costa Rica. ISBN 9977-56-143-0.

CIMMYT, (2013). Infiltración guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo.

CENICAFÉ (2005). La evaporación y la evapotranspiración. Clima andino y café en Colombia.

Cervantes, R.; Arteaga, R.; Vázquez, M.; Ojeda, W. & Quevedo, A. (2013). Modelos Hargreaves Priestley-Taylor y redes neuronales artificiales en la estimación de la evapotranspiración de referencia. Ingeniería, investigación y tecnología. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72234-0](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72234-0)

Cutillas, P.; Barberá, G. & García, C. (2014). Estimación de la humedad del suelo a niveles de capacidad de campo y punto de marchitez mediante modelos predictivos a escala regional. I.S.S.N.: 0212-9426

de Souza, P.; Moreira, L.; Sarmento, D. & da Costa, F. (2018). Cacao *Theobroma cacao*. Exotic Fruits. Páginas 69-76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00010-1>

Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones.

de la Lanza, G.; Cáceres, C.; Adame, S. & Hernández, S. (1999). Diccionario de hidrología y ciencias afines. P y V editores.

Esmeral, Y. (2011). Análisis de la evapotranspiración real en el cultivo de rosa. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

FAO, (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje. ISSN 0254-5293.

FEDECACAO. (2016). *PRODUCCIÓN NACIONAL REGISTRADA DE CACAO EN GRANO POR DEPARTAMENTOS 2007-2016*.

Fernández, R. Murillo, C. Milla, M. Bernal, J. Gutiérrez, N. (2010). Manuel de Riegos para Agricultores Modulo: 4 Riego localizado: Manual y Ejercicios. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.

Fuentes, J. & García, G. (1999). Técnicas de riego. Sistemas de riego en la agricultura.

GOBERNACIÓN DEL HUILA. (2015). *La cadena del cacao en Huila*.

Guevara, J. (2003). Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos. Universidad Central de Venezuela. ISBN 980-00-1965-0.

ICA. (2017). *El ICA certificó institución educativa pública en Buenas Prácticas Agrícolas*.

Jaramillo, J. (2012). Drenaje Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Valle del Cauca.

Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

Khai Wah Khaw, Xinying Chew, Wai Chung Yeong & Sok Li Lim (2019). Optimal design of the synthetic control chart for monitoring the multivariate coefficient of variation. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2019.02.001>

Liotta, M. A. (2011). Los Sistemas de Riego por Goteo y Microaspersión.

Micheli, F.; Guiltinan, M.; Peres, K.; Wilkinson, M.; de Oliveira, A.; de Mattos, J.; Maximova, S. & Lanaud, C. (2010). Functional Genomics of Cacao. Advances in Botanical Research. Volume 55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380868-4.00003-X>

Mohamed, A.; Peters, T.; Zhu, X. & Sarwar, A. (2019). Adjusting irrigation uniformity coefficients for unimportant variability on a small scale. Agricultural Water Management. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.017>

Moya, J. (2000). Riego localizado y Fertirrigación. 3ª edición. Ministerio de agricultura alimentación y pesca Madrid-España.

Murillas, A. & Londoño, E. (2014). Estimación de la evapotranspiración en cultivos de arroz con sensores remotos. Universidad del Valle.

Pizarro, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia goteo, microaspersión y exudación. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa.

Prabhakaran, K. (2010). Cocoa (*Theobroma cacao* L.). The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384677-8.00005-9>

Rucks, L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce de León, J. & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Facultad de agronomía Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

Santos, M. (2014). Manejo, Riego y abonado del suelo. Editorial Elearning S.L. ISBN 978-84-16275-69-4

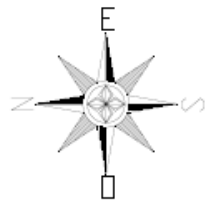
Seguí, P. (1995). Riego y Drenaje. Editorial Pueblo y Educación. P. 224. La Habana-Cuba.

Suárez, C; Moreira, M. & Vera, J. (1994). Manual del cultivo de cacao. INIAP Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Ecuador.

Valverde, J. (2007). Riego y Drenaje. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.

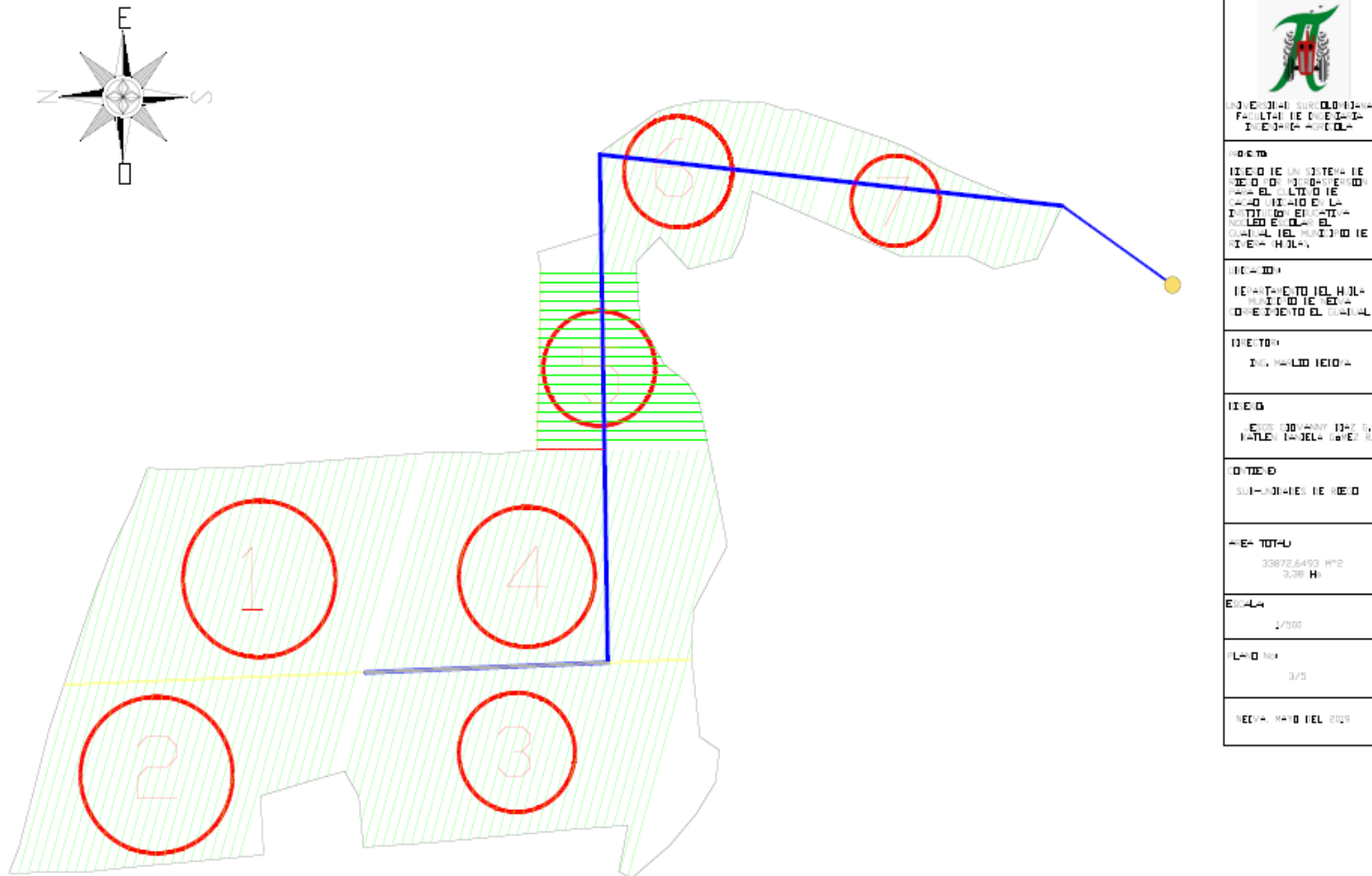
ANEXOS

ANEXO 1. Plano de curvas a nivel del terreno a irrigar.

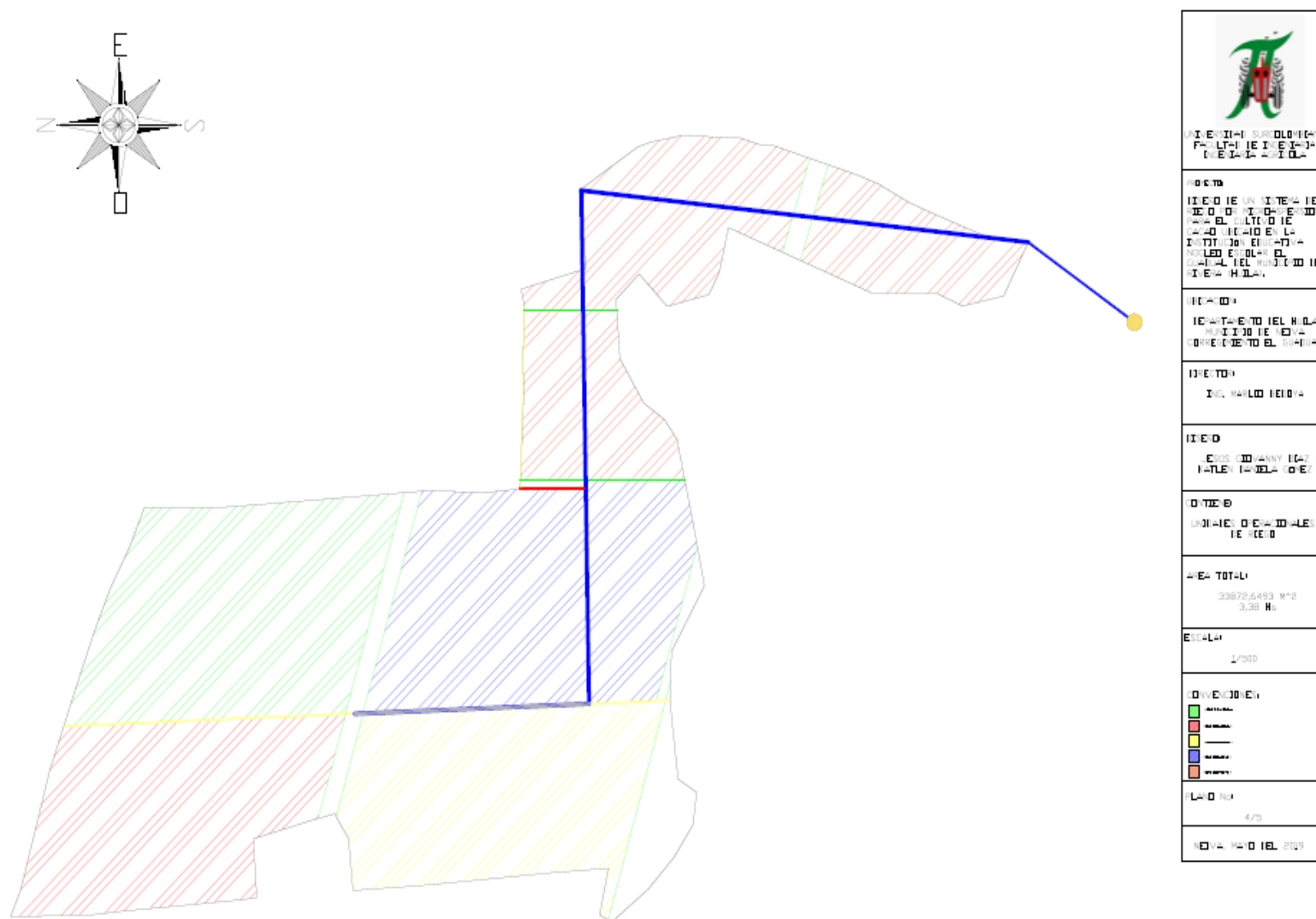
[illegible]

65

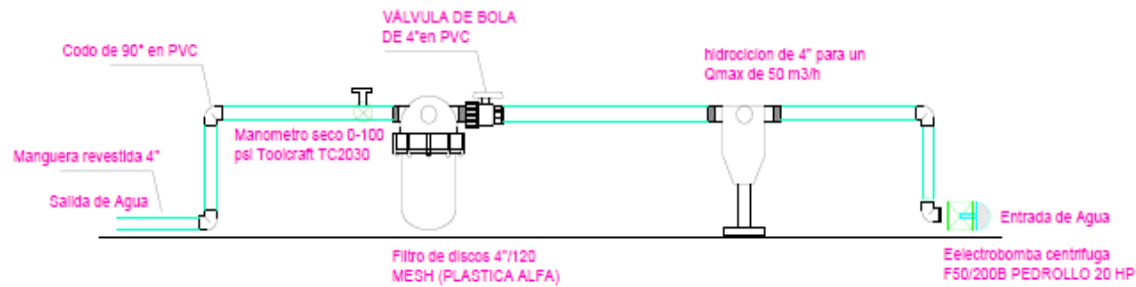
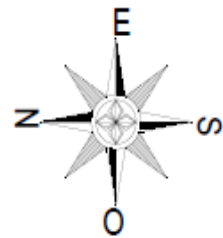
ANEXO 3. Plano de las subunidades de riego



ANEXO 4. Plano de unidades operacionales de riego.



ANEXO 5. Plano del cabezal de riego.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGRÍCOLA

PROYECTO:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE
REGO POR MICROASPERSIÓN
PARA EL CULTIVO DE CACAO
UBICADO EN LA INSTITUCIÓN
EDUCATIVA NÚCLEO ESCOLAR EL
GUADUAL DEL MUNICIPIO DE
RIVERA (HUILA).

UBICACIÓN:
DEPARTAMENTO DEL HUILA
MUNICIPIO DE NEIVA
CORREGIMIENTO EL GUADUAL

DIRECTOR:
ING. MARLO BEDOYA

DISEÑO:
JESÚS GIOVANNY DIAZ G.
KATLEN DANIELA GÓMEZ R.

CONTIENE:
DETALLE DE CABEZAL DE REGO

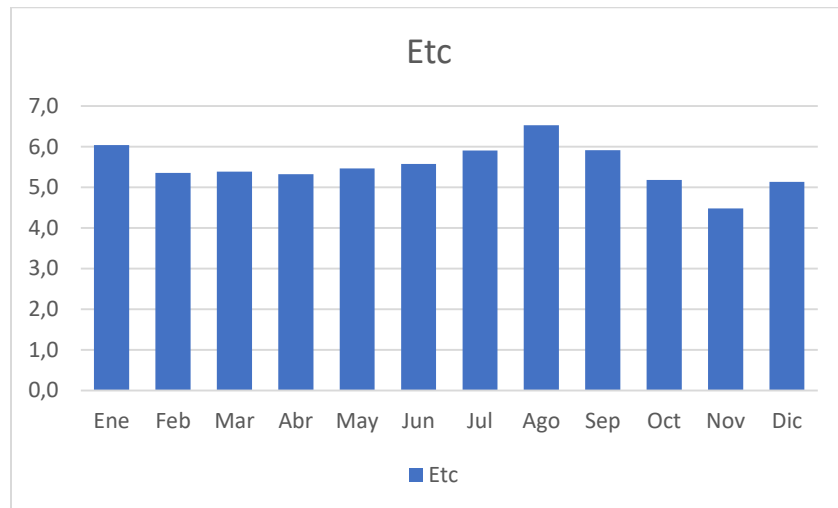
ÁREA TOTAL:
33872,6403 M²
3,38 Ha

ESCALA:
1/15

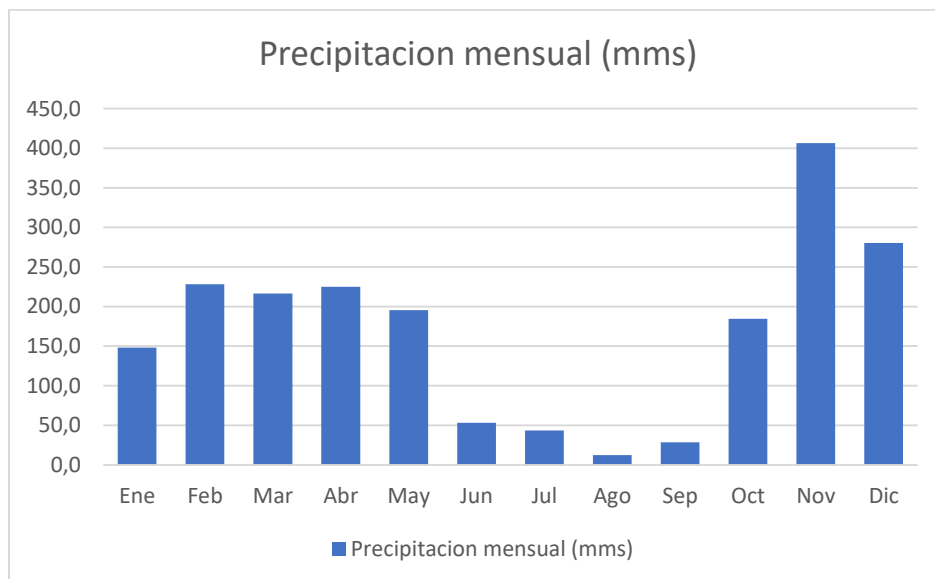
PLANO No:
5/5

NEIVA, MAYO DEL 2019

ANEXO 6. Evapotranspiración del cultivo mensual.



ANEXO 7. Precipitación mensual.

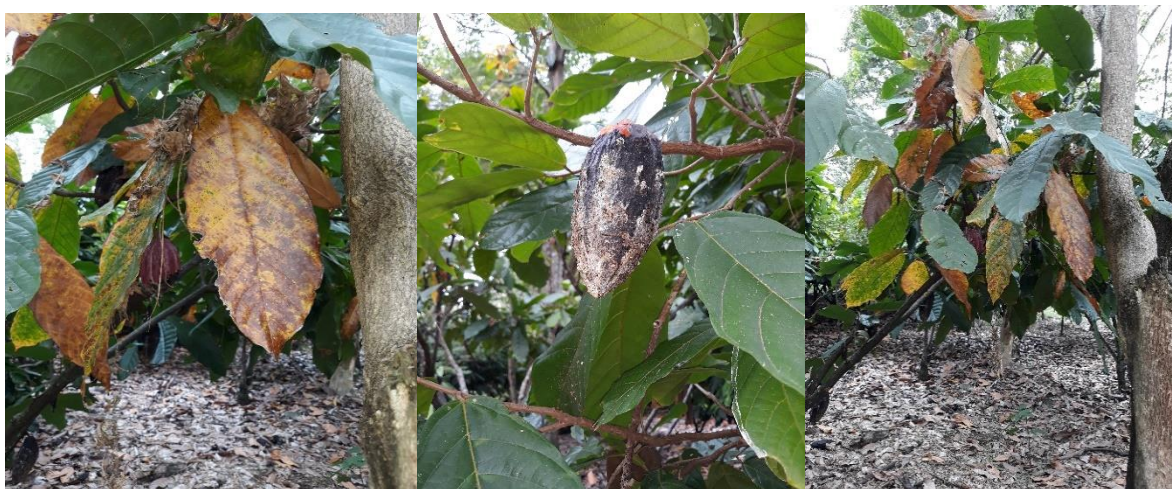


ANEXO 8. Aforo de la quebrada.

CAUDAL	m^3/seg	l/seg
Bola	0,2587	258,7
Tinta	0,3204	320,04

ANEXO 9. Evidencias fotográficas del proceso de elaboración del proyecto.

Fotografía 1. Estado del cultivo por déficit hídrico.



Fotografía 2. Levantamiento topográfico.



Fotografía 3. Ahoyado para toma de muestras.



Fotografía 4. Aforo del caudal de la quebrada.



Fotografía 5. Curva de retención de humedad.



Fotografía 6. Densidad aparente.



Fotografía 7. Determinación de la textura del suelo.



Fotografía 8. Prueba para la determinación de los coeficientes de uniformidad y de variación.

