



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO TÉCNICO DE  
LA EFICIENCIA DE RIEGO PRESURIZADO EN EL  
CULTIVO DE CAFÉ EN EL SECTOR  
POTRERILLOS, CANTÓN  
GONZANAMÁ”.**

Tesis de grado previa a la  
obtención del título de Ingeniero  
Agrícola.

***Autor:***

*Henry Rene Maza Buele*

***Director:***

*Ing. Marco Reinoso Acaro Mg. Sc.*

**1859**

**LOJA – ECUADOR  
2020**

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR**

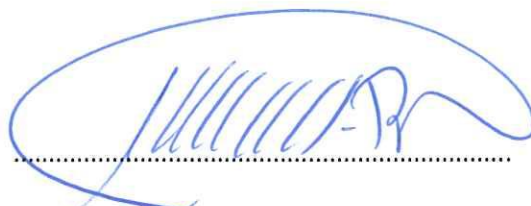
Ing. Marco Reinoso Acaro, *Mg. Sc.*

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de investigación titulado **“EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO TÉCNICO DE LA EFICIENCIA DE RIEGO PRESURIZADO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN EL SECTOR POTRERILLOS, CANTÓN GONZANAMÁ”**; ejecutado por el egresado Henry Rene Maza Buele, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrícola, ha sido prolijamente revisado, culminando dentro del cronograma establecido por lo que se autoriza su presentación para la calificación y sustentación pública correspondiente.

Loja, 26 de noviembre de 2019



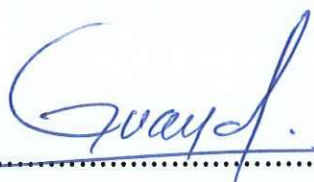
Ing. Marco Reinoso Acaro, *Mg. Sc.*

DIRECTOR DE TESIS

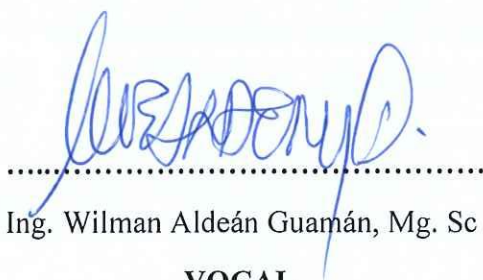
**LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO****CERTIFICAN**

Que el proyecto de tesis titulado “EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO TÉCNICO DE LA EFICIENCIA DE RIEGO PRESURIZADO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN EL SECTOR POTRERILLOS, CANTÓN GONZANAMÁ” realizado por el Sr. Egresado **Henry Rene Maza Buele**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, ha incorporado las observaciones realizadas por el Tribunal en el momento de la calificación. Por lo que se autoriza la impresión del trabajo y continuar con los trámites de graduación.

Loja, 16 de diciembre del 2019



Ing. Pedro Guaya Pauta. Mg. Sc.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Ing. Wilman Aldeán Guamán, Mg. Sc  
**VOCAL**



Ing. Giovanni Gaona Aguirre. Mg. Sc  
**VOCAL**

### Autoría

Yo, **Henry Rene Maza Buele** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual

**Autor:** Henry Rene Maza Buele

**Firma:** .....  .....

**Cédula:** 1724999618

**Fecha:** 10-01-2020



## **Agradecimiento**

Primeramente Gracias a Dios por darme la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es y lo justa que puede llegar a ser, por bendecirme siempre y permitirme culminar esta grandiosa carrera para lograr llegar a ser un gran profesional.

Gracias a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y en especial a la Carrera de ingeniería agrícola por permitirme terminar mi carrera profesional de la mejor forma posible.

Muchas gracias mi director de tesis Ingeniero Marco Reinoso quien fue el que hizo que todo esto sea posible por sus consejos, sus enseñanzas impartidas y su buena predisposición para trabajar con gran entusiasmo durante el desarrollo de esta tesis.

Gracias a mis padres y hermanos por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis, a mi madre por estar dispuesta a acompañarme en todo momento y saber darme ese apoyo incondicional; a mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida y que me permitieron crecer como un hombre de bien.

## **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada a:

Primeramente, a Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y me ha bendecido con su mano de fidelidad y amor en todo momento de mi vida hasta el día de hoy.

A mis padres José y Susana quienes con su amor, paciencia, consejos y sacrificio me han permitido llegar a cumplir hoy uno de mis sueños más preciados, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, valentía, responsabilidad y sobre todo humildad de afrontar y de no temer las adversidades porque supieron hacerme saber que Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Estalin, Miriam y Mayerly por su cariño y apoyo incondicional, durante todos estos años, por estar conmigo y confiar en que era capaz de lograr esta meta en todo momento.

Y finalmente a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

*Henry Rene Maza Buele*

## Índice de contenidos

	Pág.
Certificación del director de tesis .....	ii
Certificación de miembros del tribunal .....	iii
Autoría.....	iv
Carta de autorización.....	v
Agradecimiento .....	vi
Dedicatoria .....	vii
Índice de contenidos.....	viii
Resumen .....	xiv
Abstract .....	xv
1. Introducción.....	1
2. Revisión bibliográfica .....	3
2.1. Taxonomía y morfología del cultivo del café.....	3
2.1.1. Taxonomía.....	3
2.1.2. Morfología.....	3
2.2. El Riego.....	6
2.2.1. Tipos de riego.....	7
2.2.2. La importancia del riego.....	7
2.3. Riego por Goteo.....	8
2.4. Contenido de agua en el suelo.....	13
2.4.1. Importancia del agua en el suelo.....	14
2.4.2. Valoración del contenido de humedad del suelo en base a masa, peso, volumen y lámina.....	14
2.5. Curva de retención de humedad.....	16
2.6. Contenidos de humedad del suelo en relación con el riego.....	16
2.6.1. Saturación.....	17
2.7. Infiltración del agua en el suelo.....	18



2.7.1. Capacidad de infiltración.....	19
2.7.2. Factores que afectan a la infiltración del suelo. ....	19
2.7.3. Ecuaciones de velocidad de infiltración. ....	20
2.8. Diseño agronómico.....	22
2.8.1. Necesidades hídricas de los cultivos. ....	23
2.8.2. Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto). ....	23
2.8.3. Evapotranspiración de cultivo (Etc). ....	27
2.8.4. Requerimientos hídricos del cultivo en riego por goteo.....	28
2.8.5. Balance hídrico.....	29
2.8.6. Demandas de riego. ....	29
2.8.7. Tiempo de riego.....	30
2.9. Diseño hidráulico.....	30
2.9.1. Red hidráulica.....	30
2.9.2. Los emisores. ....	32
2.9.3. Eficiencia de riego. ....	34
2.10. Trabajos relacionados con la evaluación de sistemas de riego por goteo .....	38
3. Materiales y métodos .....	41
3.1. Localización del área de estudio.....	41
3.2. Fuente de agua del Proyecto.....	42
3.3. Caracterización del lugar .....	43
3.3.1. Clima. ....	43
3.3.2. Fisiografía y suelos.....	43
3.4. Materiales y equipos.....	44
3.5. Metodología.....	44
3.5.1. Metodología para el primer objetivo: .....	44
3.5.2. Metodología para el segundo objetivo: .....	58
3.5.3. Metodología para el tercer objetivo:.....	62

4.	Resultados y discusión .....	63
4.1.	Resultados para el primer objetivo .....	63
4.1.1.	Propiedades hidrofísicas del suelo.....	63
4.1.1.1.	Curva de retención de humedad.....	65
4.1.2.	Evaluación Agronómica.....	65
4.1.2.1.	Fuente de agua y medición de caudales. ....	65
4.1.2.2.	Levantamiento topográfico de la superficie de riego.....	66
4.1.2.3.	Velocidad de infiltración básica.....	66
4.1.2.4.	Evapotranspiración de referencia (Eto).....	67
4.1.2.5.	Precipitación efectiva. ....	68
4.1.2.6.	Coeficiente Kc del cultivo del cultivo.....	69
4.1.2.7.	Evapotranspiración del cultivo de café (Etc). ....	69
4.1.2.8.	Necesidad neta, frecuencia de riego y láminas de agua. ....	70
4.2.	Resultados para el segundo objetivo .....	72
4.2.1.	Determinación de las especificaciones técnicas de los accesorios de riego. ....	73
4.2.3.	Evaluación Hidráulica del sistema de riego.....	76
4.2.3.1.	Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU). ....	76
4.2.3.2.	Eficiencia o uniformidad de distribución (UD).....	77
4.2.3.3.	Evaluación de la red de distribución. ....	78
4.3.	Resultados para el tercer objetivo.....	80
4.3.1.	Antecedentes.....	80
4.3.2.	Recomendaciones para mejorar la calidad de riego. ....	81
4.3.2.1.	El mantenimiento del sistema de riego: .....	83
4.3.2.2.	Mantenimiento preventivo: .....	84
5.	Conclusiones.....	86
6.	Recomendaciones .....	86
7.	Bibliografía.....	87
8.	Anexos.....	91

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de la velocidad de infiltración básica .....	22
<b>Tabla 2.</b> Etapas de desarrollo del cultivo, según FAO .....	28
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los coeficientes de uniformidad.....	35
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de la uniformidad de distribución .....	36
<b>Tabla 5.</b> Interpretación de la densidad aparente con relación a la textura.....	46
<b>Tabla 6.</b> Coeficiente de cultivo de café .....	52
<b>Tabla 7.</b> Valores de Eficiencia de aplicación en climas áridos según la textura del suelo .....	55
<b>Tabla 8.</b> Textura y densidad aparente del suelo .....	63
<b>Tabla 9.</b> Propiedades Hidrofísicas del suelo de 0 a 30 cm de profundidad.....	63
<b>Tabla 10.</b> Velocidad de infiltración Básica (cilindros infiltrómetros).....	66
<b>Tabla 11.</b> Evapotranspiración Potencial según Penman – Monteith (Cropwat 8.0), de la estación meteorológica Nambacola (período 2001 – 2015).....	67
<b>Tabla 12.</b> Precipitación efectiva de la estación Nambacola periodo (2001-2015).....	68
<b>Tabla 13.</b> Kc de cultivo para café de 3 años de edad .....	69
<b>Tabla 14.</b> Demandas máximas de <i>ETc</i> e Índice de humedad.....	69
<b>Tabla 15.</b> Especificaciones técnicas de las tuberías y válvulas de riego .....	73
<b>Tabla 16.</b> Equipo de filtrado (accesorio) .....	73
<b>Tabla 17.</b> Evaluación física de los componentes de riego.....	75
<b>Tabla 18.</b> Coeficiente de uniformidad por subunidad de riego. ....	76
<b>Tabla 19.</b> Uniformidad de distribución por subunidad de riego.....	77
<b>Tabla 20.</b> Textura y densidad aparente del suelo .....	94
<b>Tabla 21.</b> Constantes hidrofísicas en términos de masa.....	96
<b>Tabla 22.</b> Constantes hidrofísicas en términos de volumen .....	96
<b>Tabla 23.</b> Constantes Hidrofísicas del suelo de 0 - 15 cm de profundidad .....	97
<b>Tabla 24.</b> Pruebas de infiltración del agua en el suelo .....	98
<b>Tabla 25.</b> Estación considerada en la zona de estudio .....	100
<b>Tabla 26.</b> Precipitación Media Mensual (mm) de la Estación Meteorológica Nambacola (período 2001 – 2015).....	100
<b>Tabla 27.</b> Datos meteorológicos de la estación Nambacola (período 2001-2015).....	100
<b>Tabla 28.</b> Evaluación de la uniformidad de riego .....	104

### Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Contenidos de agua en el suelo.....	18
<b>Figura 2.</b> Perfil de humedad en el proceso de infiltración .....	18
<b>Figura 3.</b> Transpiración por las plantas y la evaporación del agua del suelo.....	24
<b>Figura 4.</b> Ubicación de la Zona de estudio.....	41
<b>Figura 5.</b> Fuente de agua para riego. ....	42
<b>Figura 6.</b> Triángulo de la textura del suelo .....	46
<b>Figura 7.</b> Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo .....	47
<b>Figura 8.</b> Evaluación del coeficiente de uniformidad .....	60
<b>Figura 9.</b> Curva de retención de agua.....	65
<b>Figura 10.</b> Curva de infiltración acumulada y velocidad de infiltración del agua en el suelo	67
<b>Figura 11.</b> Curva de infiltración acumulada primera prueba .....	99
<b>Figura 12.</b> Curva de infiltración acumulada segunda prueba.....	99
<b>Figura 13.</b> Curva de infiltración acumulada tercera prueba .....	99
<b>Figura 14.</b> Fuente de agua y medición de caudales (método volumétrico).....	106
<b>Figura 15.</b> Toma de muestras de suelo.....	106
<b>Figura 16.</b> Levantamiento topográfico de la superficie de riego .....	107
<b>Figura 17.</b> Pruebas de infiltración del agua en suelo .....	107
<b>Figura 18.</b> Evaluación del coeficiente de uniformidad .....	108
<b>Figura 19.</b> Evaluación física de los componentes del sistema de riego .....	108

### Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Plano topográfico de la superficie de riego; Plano del diseño actual y detalles constructivos del sistema de riego por goteo; Planimetría y perfil longitudinal de la línea de conducción. ....	91
<b>Anexo 2.</b> Resultados de las constantes hidrofísicas del suelo realizados en el “Laboratorio de suelo y aguas del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables”.....	96
<b>Anexo 3.</b> Velocidad de infiltración del agua en el suelo. ....	98
<b>Anexo 4.</b> Estación meteorológica de estudio. ....	100
<b>Anexo 5.</b> Número de goteros por planta. ....	101
<b>Anexo 6.</b> Ficha técnica del gotero Netafim Dripnet Pc 12/40 .....	102
<b>Anexo 7.</b> Evaluación del coeficiente de uniformidad CU, uniformidad de distribución UD y coeficiente de variación CV (fabricación). ....	104
<b>Anexo 8.</b> Evaluación de tuberías principales, secundarias y terciarias.....	105
<b>Anexo 9.</b> Respaldo fotográfico .....	106

“Evaluación y mejoramiento técnico de la eficiencia de riego presurizado en el cultivo de café en el sector Potrerillos, Cantón Gonzanamá”.

## Resumen

El presente trabajo de investigación titulado “Evaluación y mejoramiento técnico de la eficiencia de riego presurizado en el cultivo de café en el sector Potrerillos, Cantón Gonzanamá” se lo realizó con el fin de evaluar el diseño agronómico y el funcionamiento del sistema hidráulico de riego por goteo instalado en la propiedad del Sr. José Jiménez la cual presento una superficie de riego de 1ha.

Se realizó la evaluación del diseño agronómico para lo cual fue necesario determinar las propiedades hidrofísicas del suelo y la textura, se tomaron muestras de suelo disturbadas y no disturbadas con la ayuda de los cilindros Koppecky de 100 cm<sup>3</sup> y el barreno; En el diseño agronómico, se calculó, las necesidades hídricas del cultivo de café, para ello se aplicó el método de Penman-Montieth considerando los datos meteorológicos de la estación Nambacola. Con los resultados de las propiedades hidrofísicas del suelo (saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente); la textura y las necesidades de riego máxima, se determinó, la lámina, tiempos y frecuencias de riego. En la evaluación del funcionamiento hidráulico se determinó que los goteros son de tipo autocompensado y se la realizó mediante la obtención el coeficiente de uniformidad de Christiansen (Cu) del 85.75% y la uniformidad de distribución (UD) del 81% con un coeficiente de variación de los goteros de 0.18. Finalmente propuso recomendaciones y alternativas para el manejo y el mantenimiento adecuado del sistema.

Entre los principales resultados se tuvo que: el caudal disponible 0.16 l/s solo alcanza para regar 0.51ha de la superficie de riego; la necesidad hídrica máxima del cultivo de café fue de 2.44 mm/día; la velocidad de infiltración básica del agua en el suelo fue de 20.56 mm/h; la lámina de riego fue de 9.96 mm; la frecuencia de 6 días y el tiempo de riego de 3 horas.

**Palabras claves:** evaluación, riego, agronómico, hidráulico, mantenimiento, café.

### **Abstract**

The present research work entitled “Evaluation and technical improvement of pressurized irrigation efficiency in coffee cultivation in the Potrerillos parish, Gonzanamá canton” was carried out in order to evaluate the agronomic design and hydraulic operation of the drip irrigation system installed on the property of Mr. José Jiménez on an irrigation area of 1 hectare.

The evaluation of the agronomic design was carried out for which it was necessary to determine the hydro physical properties of the soil, disturbed and undisturbed soil samples were taken with the help of the 100 cm<sup>3</sup> Koppecky cylinders and the borehole; In the agronomic design, the water needs of the coffee crop were calculated, for this the Penman-Montieth method was applied considering the meteorological data of the Nambacola station. With the results of the hydro physical properties of the soil (saturation, field capacity, permanent wilting point, apparent density, texture) and the need for maximum irrigation, the sheet, time and frequency of irrigation were determined. For the evaluation of the hydraulic operation, the Christiansen uniformity coefficient (Cu) of 85.75%, the distribution uniformity (UD) of 81% and the coefficient of variation of the drippers (Cv) of 0.18 were obtained.

Finally, recommendations and alternatives were proposed to improve the management and maintenance of the irrigation system.

Among the main results were: the available flow rate 0.16 l/s is theoretically deficient for the crop surface; the maximum water requirement for coffee cultivation was 2.44 mm/day; the basic infiltration rate of water in the soil was 20.56 mm/h; the irrigation sheet was 9.96 mm; the frequency of 4 days and the irrigation time of 2h36min.

**Keywords:** evaluation, irrigation, agronomic, hydraulic, maintenance, coffee.

## 1. Introducción

En Ecuador, en la caficultura sigue predominando el sistema de manejo tradicional con el 85% de los cafetales manejados deficientemente con rendimientos muy bajos (5,18 quintales de café oro por hectárea). El otro 15% de la superficie total cafetalera se maneja de manera semitecnificada, lo cual permite rendimientos promedios estimados en 16 quintales de café oro por hectárea y muy pocas fincas cafetaleras se manejan de forma tecnificada, llegando a niveles de productividad de hasta 50 quintales por hectárea en café arábica y 100 quintales por hectárea en café robusta. (MAG, 2016).

En gran parte de la provincia de Loja las técnicas de riego son tradicionales, el tipo de riego más empleado es por superficie o por surcos, lo que a futuro podría conllevar a problemas en el suelo como: erosión hídrica, lavados y lixiviación de nutrientes. Sin embargo debido a la falta de conocimientos por parte del sector agrícola y a la facilidad de manejo que brindan estos métodos es inevitable que se sigan utilizando en la actualidad.

Toda esta situación ha causado que las eficiencias de aplicación del riego no alcancen valores óptimos para el buen desarrollo de los cultivos y que el agua destinada para el riego no sea aprovechada satisfactoriamente; esto a su vez será la causa de bajos rendimientos de los cultivos y justificara el incremento de la pobreza generalizada en el sector rural.

La causa de dichos rendimientos bajos según el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (2008) es la baja eficiencia global en la aplicación del agua de riego, generada por falta de tecnificación o por fallas en la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de riego, especialmente en épocas críticas o de sequía.

En la parroquia de Nambacola, cantón Gonzanamá, el problema de riego se registra en los periodos de déficit de precipitación (época seca) que por lo general se extiende entre siete y ocho meses al año (tabla 12); entonces ahí es cuando los cultivos no cuentan con la suficiente humedad para poder desarrollarse vegetativamente y llegar a una producción eficiente.



Por todo lo antes mencionado se realizó la presente propuesta de evaluar la eficiencia de riego en un sistema presurizado por goteo en 1 ha de café, en el sector Potrerillos, cantón Gonzanamá, Provincia de Loja; para dar cumplimiento al presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivo General**

Contribuir al mejoramiento de la producción de café, optimizando el uso del agua a través de la evaluación y tecnificación del sistema de riego localizado.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar el diseño agronómico del sistema de riego por goteo existente en el área de estudio.
- Evaluar el funcionamiento hidráulico del sistema de riego por goteo en el cultivo de café en base a los parámetros de uniformidad de aplicación de agua y definir la necesidad de rediseño del sistema de riego.
- Diseñar alternativas y recomendaciones para el funcionamiento y mantenimiento adecuado del sistema del sistema de riego.

## 2. Revisión bibliográfica

### 2.1. Taxonomía y morfología del cultivo del café

#### 2.1.1. Taxonomía.

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (2015) nos dice que el café es un arbusto que alcanza entre 2 y 12 metros de altura y puede llegar a vivir 50 años. Comprende unas 70 especies, de las que sólo 10 son interesantes para la producción.

Según Pérez, López y Sosa (2011) el café es planta dicotiledónea de tipo arbustiva de ciclo largo con un periodo de 3 años desde la siembra a la primera cosecha y pertenece a la familia Rubiaceae, género *Coffea*. Ellos afirman que estas plantas pueden alcanzar hasta 10 metros de altura de forma silvestre y en plantación de café bajo control alcanza máximo 3 metros de altura. Son 2 las especies de mayor importancia en el mercado: *Coffea arabica* y *Coffea Canephora*, conocidas comúnmente como Arábica y Robusta.

#### 2.1.2. Morfología.

Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2010). La morfología del café se divide en:

- **Sistema radicular.**

El sistema radicular es superficial estando el 60% en los primeros 30 cm de profundidad y la raíz pivotante penetra verticalmente suelos sin limitaciones físicas, hasta profundidades de 50 centímetros.

De la raíz pivotante salen dos tipos de raíces: unas fuertes y vigorosas que crecen en sentido lateral y que ayudan en el anclaje del arbusto y otras que salen de éstas de carácter secundario y terciario. Normalmente se conocen como raicillas o pelos absorbentes.

- **Tallo.**

La planta de café está compuesto generalmente de un solo tallo o eje central, el cual presenta dos tipos de crecimiento: Uno que hace crecer a la planta verticalmente y otro en

forma horizontal o lateral. El tallo presenta solo hojas en los primeros 9 a 11 nudos de una planta joven y de ahí en adelante comienza a emitir ramas laterales.

- **Hojas.**

Las hojas aparecen en las ramas, un par cada 15 ó 20 días aproximadamente, un cafeto de un año de edad tiene alrededor de 440 hojas en promedio; tiene un pecíolo corto, plano en la parte superior y convexo en la inferior. La lámina es de textura fina, fuerte y ondulada. Su forma varía de ovalada (elíptica) a lanceolada. En la parte superior de la hoja las venas son hundidas mientras que en la cara inferior son prominentes y tienen un tamaño que puede variar de 7 a 15 cm de largo.

- **Flores.**

Las flores del café siempre aparecen en los nudos de las ramas desnudas, hacia la base de las hojas, en grupos de 4 o más, sobre un tallito muy corto llamado glomérulo. En la base de cada hoja hay de 3 a 5 glomérulos.

- **Fruto.**

El fruto del cafeto es una drupa de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada, en su interior normalmente contiene dos semillas plano convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario, en algunos casos pueden presentarse tres semillas o más

### **2.1.3. Aspectos generales del cultivo de café**

De acuerdo al Instituto de Café de Costa Rica (2011), dentro de los aspectos generales sobre el cultivo de café se tiene:

- **La altitud.**

El mejor desarrollo del café se obtiene en altitudes que oscilen entre los 500 y 1700 msnm.

- **Precipitación.**

El café necesita precipitaciones mayores a 1000 mm anuales ya que con precipitaciones menores a lo indicado se limita el crecimiento de la planta y por consecuencia la cosecha,

también dice que períodos muy extensos de sequía puede provocar la defoliación y en último de los casos la muerte prematura de la planta sin embargo con precipitaciones mayores a 3000 mm, la calidad física del café oro y la calidad de taza puede comenzar a verse afectada; además el control fitosanitario de la plantación resulta más difícil y costoso.

- **Temperatura.**

La temperatura idónea para que el cultivo de café no se vea afectado se ubica entre los 17 a 23°C promedio anual. Tomando en cuenta que bajas temperaturas inferiores a 10 °C, provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes.

- **Humedad relativa.**

Cuando alcanza niveles superiores al 85%, se propicia el ataque de enfermedades fungosas; por lo tanto la humedad relativa idónea es de 70 a 85%.

- **Vientos.**

Velocidades del viento superiores a 1.4 m/s inducen a la desecación y al daño mecánico de tejido vegetal, asimismo favorecen la incidencia de enfermedades. Por esta razón es conveniente escoger terrenos protegidos del viento, o bien establecer cortinas rompe-vientos para evitar dichos problemas.

- **Radiación solar.**

Los niveles de radiación solar para un buen desarrollo del café son de 300 a 450 cal.cm<sup>2</sup> /día.

Por lo tanto, el ICAFE (2010) establece que la precipitación y la radiación solar son los dos elementos del clima de mayor importancia en la producción de café; sin embargo se puede provocar un estrés hídrico que cause un impacto positivo sobre la concentración de la floración, pero si son muy prolongados no permiten la apertura floral, limitan el crecimiento vegetativo y el llenado de los frutos que estén creciendo en ese momento en la planta. Por otra parte, los excesos hídricos disminuyen la inducción floral y la formación de estructuras

reproductivas, favorecen la presencia de enfermedades en el cultivo, promueven el lavado de nutrientes en el suelo y las pérdidas por erosión. Por lo tanto, es importante conocer los requerimientos hídricos para el café.

#### **2.1.4. Importancia del riego en el cultivo de café.**

Según la Asociación Nacional del Café (2011). La planta de café se la puede considerar como una planta que posee una cierta tolerancia a la sequía, sin embargo es evidente que a pesar de poseer esta característica, el café necesita del riego en épocas de secano debido a que cuando el suministro de agua es deficiente la cosecha se puede ver reducida, esto debido a que la carencia de agua también produce una merma del crecimiento vegetativo y el hecho de que el café usualmente produce flores y frutos sólo en la madera formada por el crecimiento de ramas laterales durante el año anterior, la disminución de la cosecha por una deficiencia de agua, muy rara vez se observe en el mismo año en que ha ocurrido esa carencia, sino más bien se presenta en la cosecha siguiente.

#### **2.2. El Riego.**

Según Tarjuelo (2005), el riego básicamente tiene como función principal la aportación de agua para los cultivos, tratando de manera eficiente el recurso y sin alterar las características físicas del suelo, el riego trata de suministrar el agua complementaria a la precipitación y de esta manera conseguir cubrir con las necesidades hídricas mejorando su crecimiento y al mismo tiempo evitando la acumulación de sales en el suelo.

Al hablar de riego hay que tomar en cuenta que se debe lograr una alta eficiencia de riego, maximizando su uso de manera que cubra con las necesidades hídricas y evitar el desgaste del recurso esto se logra debido a que una alta eficiencia garantiza que todas las plantas del cultivo reciben la misma cantidad de agua de manera uniforme y para lograrlo se requiere minimizar las pérdidas por evaporación, escorrentía, percolación profunda y otras pérdidas

menores, para lo cual se necesita que el sistema esté bien diseñado, manejado y conservado (Montero, Osorio y Urrutia, 2003).

### **2.2.1. Tipos de riego.**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (s.f.) existen al momento cinco métodos de riego:

- **Riego por superficie.**

Es un tipo de riego muy antiguo el cual consiste en hacer fluir el agua por todo el cultivo mediante el uso de canales o zanjas en el suelo y debido a que solo se usa la pendiente del terreno para la circulación del agua este tipo de riego no requiere de operar ni mantener equipos hidráulicos complejos por lo que es considerado el más convencional y el más común entre los agricultores a pesar de su baja eficiencia de aplicación.

- **Riego por aspersión.**

Es un tipo o método de riego el cual trata de imitar a la lluvia a través de los aspersores los cuales por la presión del agua que circula por una tubería pulveriza el agua y la esparce por todo el terreno en forma de gotas. Este método es el segundo más usado después del riego superficial.

- **Riego por goteo.**

Sin duda alguna es considerado el mejor tipo de riego debido a que consiste en la aplicación del agua gota a gota solamente sobre el suelo que afecta a la zona radicular logrando así una alta eficiencia de aplicación ya que se evita el desperdicio del recurso y se logra satisfacer las necesidades del cultivo.

### **2.2.2. La importancia del riego.**

Zapatta y Pierre (2015) aseguran que es necesario recalcar las múltiples funciones que cumple el riego en la esfera de las actividades humanas, tales funciones están relacionadas a los ámbitos productivo, social, ambiental y económico.

En el ámbito productivo, las contribuciones del riego son:

- Solución a los problemas de distribución espacial y temporal del agua.
- Incremento y diversificación de la producción.
- Mitigación de riesgos, particularmente de sequías y heladas.

En el ámbito social, el riego tiene implicaciones importantes:

- Contribución a la estabilización de precios de los productos agrícolas.
- Generación de empleo y atenuación de la migración rural.
- Articulación de la organización y movilización social en el agro.

Desde una perspectiva ambiental, el riego es o puede ser un factor que limita o promueve la expansión de la frontera agrícola hacia ecosistemas frágiles.

Visto desde otra perspectiva, el aporte de la actividad agrícola para el país representa el 17% del PIB, así dimensionada la importancia de la agricultura para el Ecuador, se pondera mejor la importancia estrictamente económica del riego pues, el valor de la producción bajo riego, se estima en el 70% de la producción agrícola total.

### **2.3. Riego por Goteo.**

De acuerdo a Villalobos (2015) el riego por goteo es un método por el cual se aplica el agua necesaria al suelo mediante emisores o goteros los cuales mantienen un flujo constante del caudal y están localizados a lo largo de las tuberías o cintas de goteo. Es evidente la diferencia del riego por goteo con los demás métodos de riego debido a que el goteo solo humedece una parte del suelo (zona radicular) y los otros métodos humedecen mayor parte del suelo.

Villalobos (2015) también afirma que en el método de riego por goteo el agua es aplicada en un solo punto, de manera que se puede apreciar que el movimiento del agua es de forma tanto vertical como horizontal sin embargo dicho movimiento va a depender de varias

características físicas presentes del suelo, llegándose a apreciar 3 tipos de bulbos húmedos en relación al tipo de suelo:

- **Suelo Arcilloso:** en suelo pesado, el movimiento del agua, ocurre en forma horizontal y muy poco en forma vertical.
- **Suelo Arenoso:** en suelo arenoso el bulbo de humedecimiento que se forma es lo contrario al arcilloso debido a que el movimiento es más vertical que horizontal.
- **Suelo Franco:** en suelos francos el movimiento tanto vertical como horizontal son aproximadamente iguales.

### **2.3.1. Ventajas del riego por goteo.**

- Ahorro en el consumo de agua ya que este método solo aplica el agua en un solo punto y el flujo de agua es justo el necesario para las plantas.
- Se puede utilizar para la aportación de agroquímicos mediante la fertirrigación.
- Se adapta a todo tipo de clima y suelo.
- El agua se aplica directo a la raíz de la planta por lo tanto disminuye la proliferación de malezas en el cultivo.
- Ahorro de mano de obra.
- Los flujos de agua no son fuertes por lo tanto no presenta de fenómenos erosivos.
- Es capaz de adaptarse a diferentes cultivos logrando altas eficiencias y buenas producciones.
- No necesita de altas presiones de operación para su funcionamiento.
- Ayuda a reducir la reproducción de enfermedades fungosas en tallos y hojas.
- Mayor aprovechamiento de espacio físico.
- No afecta las labores agrícolas y es de fácil manejo para la limpieza.

### **2.3.2. Desventajas de riego por goteo.**

- Es un sistema que requiere de un alto conocimiento para su diseño e instalación



- Tiene un alto costo inicial o de implementación.
- Una vez instalado el sistema se queda completamente fijo para el cultivo establecido.
- Los goteros son pequeños y los orificios son vulnerables a posibles taponamientos por lo que requiere de constante mantenimiento.
- Las cintas de goteo o tuberías pueden ser afectados por roedores.

### 2.3.3. Clasificación de los sistemas de riego por goteo.

Según Armoni (2001) la clasificación de los sistemas de riego por goteo según la duración del cultivo, ha estado por años dirigida a cultivos de campo y hortalizas por medio de:

- **Sistemas anuales:** sistemas de una sola temporada, se caracterizan por ser de baja presión y muy sensibles a daños. Utiliza tubería de 0.2 mm de espesor, en general, tubos perforados. Su uso se justifica cuando faltan recursos financieros para adquirir un equipo de mejor calidad.
- **Sistemas bienales:** sistemas de uso para dos temporadas. Tubería con paredes de 0.4-0.5 m de espesor.
- **Sistemas perennes:** son la mayoría de los sistemas en uso y se caracterizan por su larga vida útil. El espesor de la tubería varía de 1 .0- 1 .6 mm. Estos sistemas requieren una mayor inversión que se prorratea para un número mayor de años.

### 2.3.4. Componentes de un sistema de riego por goteo.

Según Liotta, Carrión, Ciancaglini y Olgúin (2015) los componentes básicos de un sistema de riego por goteo son:

- a) Fuente de abastecimiento agua.
- b) Equipo de bombeo.
- c) Cabezal de riego.
- d) Sistema de filtrado.
- e) Unidad de fertilización.

f) Red de distribución de agua.

g) Los emisores.

Antes de la instalación de un sistema de riego por goteo, es necesario saber que se obtendría un mejor manejo si el agua de riego entra en el sistema dotada de la presión necesaria para hacer funcionar correctamente a los emisores instalados.

El agua antes de entrar a disposición con las plantas del cultivo tiene que seguir un recorrido a lo largo de todo el sistema de la siguiente manera: entra al cabezal de riego donde se encuentra un serie de equipos de filtrado que tratan el agua antes de entrar al sistema para evitar que el agua circule con impurezas es decir, ajustan su calidad a los requerimientos tanto del sistema de riego como del cultivo; seguidamente pasa a la red de distribución de la instalación donde es repartida a través de tuberías y elementos accesorios a las diferentes unidades y subunidades a regar y finalmente sale por los emisores de riego, los cuales aportan al suelo directamente en la raíz de donde podrá ser extraída por las plantas.

**a) Fuente de abastecimiento de agua.**

El abastecimiento para el sistema puede provenir de una fuente subterránea a través de una perforación o una fuente de tipo superficial como una quebrada o un río teniendo en cuenta, la ubicación, la calidad del agua y el caudal disponible.

En algunas zonas el agua se almacena en reservorios el cual tiene como función principal almacenar agua para abastecer de forma permanente al sistema, sus dimensiones dependen de la superficie total a regar.

**b) Equipo de bombeo.**

Los sistemas de riego por goteo suelen necesitar una presión determinada para lo cual es usual es contar con un sistema de bombeo para que suministre la presión necesaria al agua para garantizar el funcionamiento de todos los emisores y alcanzar el punto más lejano de la red, este sistema puede formar parte del cabezal o estar alojado de forma independiente. En

casos donde el agua se encuentra muy por encima del nivel de la parcela, el agua cuenta con la presión suficiente para hacer funcionar de buena manera a todo el sistema, se hace innecesario la instalación del equipo de bombeo.

Dicho equipo se constituye de una o más bombas dependiendo de la superficie a regar, para la selección y dimensionamiento de la bomba se debe tener en cuenta que la presión requerida para vencer el desnivel entre la fuente de agua y el terreno, en su mayoría las más utilizadas son las de tipo centrifugas impulsadas por energía eléctrica.

**c) El cabezal de riego por goteo.**

El cabezal de riego es el conjunto de elementos destinados a filtrar, tratar, medir y suministrar el agua a la red de distribución.

**d) Sistema de filtrado.**

El sistema de filtrado es un componente muy importante y principal del cabezal de riego, en algunos casos está compuesto por distintos tipos de filtros con los que se tiene la finalidad de no permitir que las impurezas ingresen al sistema o elementos que lleva el agua en suspensión que puedan ocasionar obstrucciones en cualquier parte de la red de riego, principalmente en los emisores.

Los filtros más usuales son:

- **Filtros de arena:** se usan principalmente para retener las partículas orgánicas en suspensión. Son depósitos llenos de arena o grava por la que circula el agua quedando ésta parcialmente limpia. Tienen gran capacidad de acumulación de suciedad.
- **Filtros de malla:** retienen todo tipo de sólidos en suspensión. Las impurezas se retienen en la superficie de unas mallas dotadas de orificios de pequeño tamaño, fabricadas en material no corrosivo (acero o plástico).

- **Filtros de anillas:** su función es también la de atrapar 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 existen en el mercado filtros de malla o anillas autolimpiantes que incluyen un mecanismo de inversión del flujo y aprovechan la misma presión del agua para expulsar la suciedad a un circuito de drenaje.

#### e) **Unidad de fertilización.**

Se emplea para inyectar de forma directa los fertilizantes al sistema, este tipo de fertilización es más conocida como fertirriego, el cual consiste en un tanque de dimensiones determinadas donde se disuelven los fertilizantes de tal manera que fluyan a través de las tuberías a las plantas del cultivo.

Consisten básicamente en dos partes:

- **Depósito de almacenamiento:** estos son tanques resistentes a la corrosión que están elaborados en su mayoría de polietileno, fibra de vidrio o fibrocemento. Sus dimensiones dependen del área y de las necesidades del cultivo, por lo general son de 200 a 1000 litros.
- **Inyección o fertilización:** es realizada por dispositivos para inyectar las soluciones al sistema entre los más usados tenemos: inyector Venturi, inyección directa a través de la bomba del equipo.

#### f) **Red de tuberías.**

Se compone principalmente de tuberías que son las encargadas de conducir el agua para riego a un determinado cultivo, estas tuberías tienen una denominación según la función que desempeñan: principales, secundarias, terciarias y laterales.

### 2.4. **Contenido de agua en el suelo.**

Según la FAO (2015) señala que tratar de mejorar contenido de humedad en el suelo es fundamental para la producción de alimentos, debido a que una disminución de la capacidad

del suelo para receptor, retener, liberar y trasladar agua reduce su productividad. El suelo debe almacenar la mayor cantidad de agua posible para que las plantas la puedan utilizar debido a que los escasos rendimientos de los cultivos en su mayoría se deben a la falta de la capacidad de los suelos para retener agua.

#### **2.4.1. Importancia del agua en el suelo.**

Jackson, (1993) señala que una capa muy delgada de agua puede parecer insignificante con respecto a la cantidad total de agua contenida en toda la tierra sobre todo en los océanos, sin embargo, una pequeña capa de suelo es la que tiene la capacidad de controlar la supervivencia de la agricultura y regular el reparto de la precipitación hacia la escorrentía y el almacenamiento del agua en la tierra. Es por ello que, el contenido de agua del suelo es una de las más importantes variables hidrológicas directamente observables que puede llegar a cumplir con la función de dar balance en uso sostenible del recurso hídrico para la agricultura.

#### **2.4.2. Valoración del contenido de humedad del suelo en base a masa, peso, volumen y lámina.**

Las formas de expresar el agua en el suelo son: humedad en unidades de masa, humedad en unidades de volumen y contenido de humedad en unidades lineales (Valarezo, Iñiguez, Valarezo y Guaya, 1998)

##### **a) Contenido de humedad en unidades de masa ( $\theta_m$ ).**

El contenido de humedad en unidades de masa es la forma más común de expresar la humedad del suelo y se entiende como la relación entre la masa de agua ( $M_w$ ) contenida por unidad de masa de sólidos del suelo ( $M_s$ ), frecuentemente se expresa como un porcentaje de la siguiente manera:

$$\theta_m \% = \frac{(M_w)}{(M_s)} * 100$$

Donde:

$\theta_m$ = Contenido de humedad en términos de masa (%).

$M_w$ = Masa de agua (g)

$M_s$ = Masa de sólidos del suelo.

**b) Contenido de humedad en unidades de peso ( $\theta_w$ ).**

$$\theta_w \% = \frac{(PMH - PMS)}{(PMS)} * 100$$

Donde:

$\theta_w$ = Contenido de humedad en términos de peso (%).

$PMH$ = Peso de la muestra húmeda

$PMS$ = Peso de la muestra seca a 105°C.

El peso de la muestra seca a 105°C es la masa del suelo secada a la estufa luego de perder toda su agua (que no sea agua químicamente ligada) y se mantenga una masa constante. Esto se logra sometiendo la muestra de suelo a una temperatura de 105°C por 24 horas.

**c) Contenido de humedad en términos de volumen ( $\theta_v$ ).**

La humedad del suelo también se puede expresar en base volumétrica, usando la siguiente fórmula:

$$\theta_v \% = \frac{(V_w)}{(V_{ts})} * 100$$

Donde:

$\theta_v$ = Contenido de humedad en términos de volumen (%)

$V_w$ = Volumen de agua (cm<sup>3</sup>)

$V_t$ = Volumen total de suelo (cm<sup>3</sup>)

Para calcular el contenido de humedad en unidades de volumen a partir de la humedad en unidades de masa se debe contar con la densidad aparente del suelo de la siguiente forma:

$$\theta_v \% = \frac{(D_a)}{(D_w)} * \theta_m$$

Donde:

$\theta_v$ = Contenido de humedad en términos de volumen (%).

$D_a$ = Densidad aparente del suelo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$D_w$ = Densidad del agua ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$\theta_m$ = Contenido de humedad en unidades de masa.

#### **d) Contenido de agua en términos de lámina (mm).**

Es necesario calcular el contenido de humedad en términos de lámina para aplicaciones de riego y drenaje, la cual se define como el volumen de agua ( $\theta_v$ ) que tiene el suelo por una profundidad determinada  $D$ . Se la expresa mediante la siguiente fórmula:

$$L_{amm} = \theta_v * D$$

Donde:

$L_{amm}$ = Lámina de riego (mm).

$\theta_v$ = Contenido de humedad en términos de volumen, (%)

$D$ = Profundidad de riego específica, (mm)

#### **2.5. Curva de retención de humedad.**

La curva de retención de agua en el suelo o curva característica de la humedad del suelo es el resultado obtenido después de someter una muestra de suelo, a diferentes cargas de presión, a este trabajo se le conoce con el nombre de succión de humedad del suelo o tensión de humedad o pF (Valarezo et al., 1998).

#### **2.6. Contenidos de humedad del suelo en relación con el riego.**

Según Valverde (2007) para saber cuál es la disponibilidad para la planta de agua en el suelo, es necesario que se deba establecer límites en el contenido de humedad (figura 1), mismos que son definidos de acuerdo a la textura del suelo.

### **2.6.1. Saturación.**

Es el punto máximo de contenido de agua en el suelo, debido a que el agua se encuentra ocupando los macro y microporos del suelo; en este estado de contenido de agua las plantas tienden a ahogarse ya que no existe oxígeno en el suelo.

### **2.6.2. Capacidad del campo (CC).**

Es el contenido de humedad presente en el suelo luego de 48 horas de drenaje libre, después de haber alcanzado el grado de saturación a causa de la lluvia o aplicación de riego. Este coeficiente depende de la textura, el contenido de materia orgánica y el grado de compactación del suelo.

Después de 2 o 3 días de haber drenado el agua de los macroporos, el agua es retenida en forma de una película gruesa alrededor de los microporos, a esta retención se la expresa en términos de tensión de humedad, misma que puede estar entre una tensión de  $1/3$  y  $1/10$  de atmosfera.

### **2.6.3. Punto de marchitez permanente (PMP).**

El punto de marchitez permanente es el contenido de humedad de agua en el suelo sostenida a una tensión de humedad de 15 atmosferas.

### **2.6.4. Agua útil o agua aprovechable (AA).**

Es el agua contenida en el suelo entre los puntos de capacidad de campo y marchitez permanente; cuando se la expresa en términos de lámina se denomina Lámina de agua aprovechable (LAA).

### **2.6.5. Umbral de riego o Porcentaje de agotamiento permitido (UR).**

Es un punto hasta el cual se permite el descenso del contenido de humedad, con relación al punto de marchitez permanente.



### 2.6.6. Agua rápidamente aprovechable (ARA).

Es el agua contenida en el suelo entre los puntos de capacidad de campo y umbral de riego o porcentaje de agotamiento permitido; cuando se la expresa en términos de lámina se denomina Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).

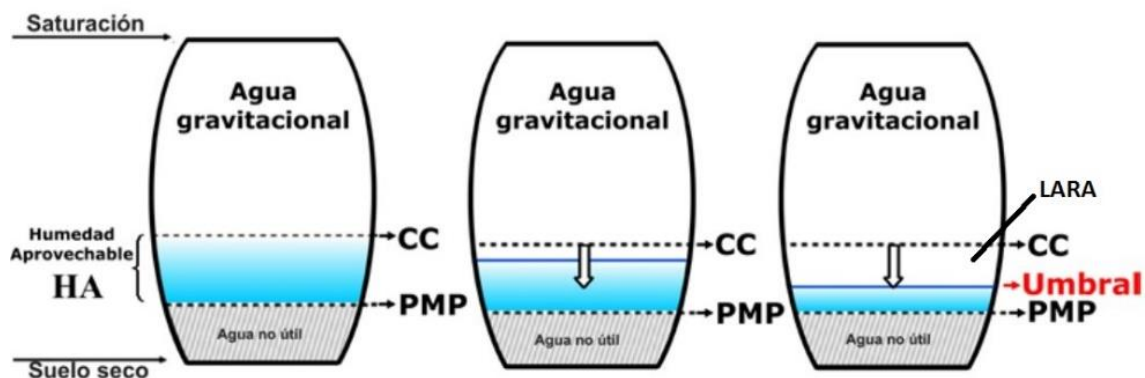


Figura 1. Contenidos de agua en el suelo.

Fuente: INIA 2014

### 2.7. Infiltración del agua en el suelo.

Esta se define básicamente como la capacidad o el proceso por el cual el agua fluye a través de las diferentes capas de suelo hasta llegar a sus capas inferiores (figura 2); ligado a este proceso se encuentran factores del suelo que pueden llegar a afectar el control de la infiltración. (Vélez et al, 2002).

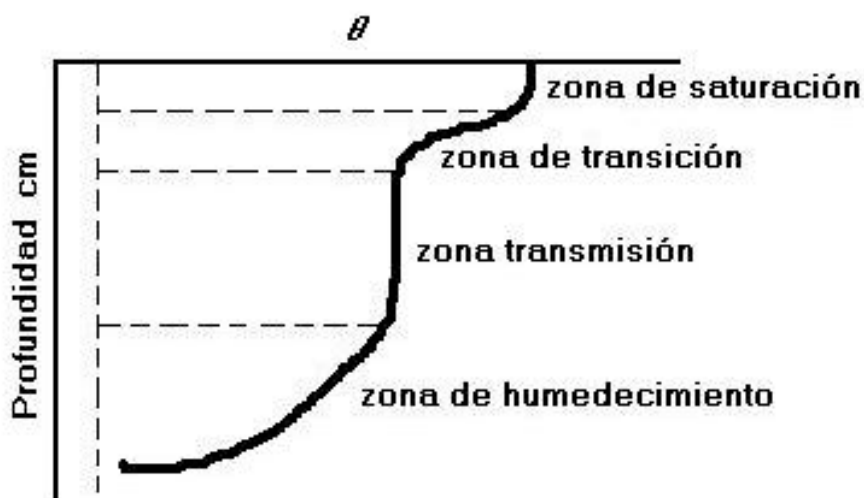


Figura 2. Perfil de humedad en el proceso de infiltración

Fuente: Pizarro, Flores, Siguenza y Martínez (s.f)

### 2.7.1. Capacidad de infiltración.

Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo (Valverde, 2007).

### 2.7.2. Factores que afectan a la infiltración del suelo.

Influyen en el proceso de infiltración: entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable, y características del fluido (Cisneros, 2003).

Cisneros (2003) afirma que los factores que afectan la infiltración del agua en el suelo son:

- **Entrada superficial:** La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que forman una capa que impiden y retrasan la entrada de agua al suelo de forma directa y continúa.
- **Transmisión a través del suelo:** La compactación en los diferentes estratos afecta de forma negativa a la infiltración.
- **Humedad inicial del suelo:** El almacenamiento disponible para que exista una buena infiltración del agua en el suelo básicamente depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.
- **Características del medio permeable:** La estructura, textura que determina el tamaño de los poros y salinidad, están relacionados directamente con la capacidad de infiltración.
- **Características del fluido:** La contaminación del agua a través de las sales que puede contener el suelo es evidente cuando estas se van acumulando en perfil del suelo de manera que llega a ocasionar alteraciones en la estructura.
- **Materia orgánica y rotación de cultivos:** estos dos factores mantienen la porosidad del suelo en buenas condiciones durante unos lapsos de tiempo, sin embargo en lugares donde

no se evidencia materia orgánica la infiltración de agua en el suelo puede llegar a ser muy lenta.

- **Textura del suelo:** este es uno de los factores más importantes que pueden llegar a afectar la infiltración del agua en el suelo debido a que suelos donde la textura es de tipo muy fina tienden a infiltrar lentamente y si la cantidad de agua excede el ritmo de la infiltración, el suelo se verá afectado por encharcamientos, mientras que en suelos con textura gruesa la infiltración será más rápida.

### 2.7.3. Ecuaciones de velocidad de infiltración.

Según Marano (2011). La infiltración se origina fundamentalmente en un medio poroso no saturado y ha sido conceptualizada mediante ecuaciones diferenciales parciales no lineales de tipo parabólico y en un solo sentido (movimiento vertical), en estas ecuaciones se combinan las de Richards y Laplace para medios no saturados. Sin embargo la resolución de estas ecuaciones resulta muy compleja, por lo que requiere de programas computacionales de gama alta, por lo que desde hace muchos años se intentó reemplazarlas por ecuaciones semiempíricas y totalmente empíricas (sin demasiados fundamentos conceptuales) pero que aportaron soluciones a problemas prácticos vinculados con el diseño y operación del riego.

La principal ecuación empírica y la más utilizada se detalla a continuación:

### 2.7.4. Ecuación de Kostiakov. Determinación de parámetros.

Considerando las limitaciones de las ecuaciones anteriores, es ampliamente utilizada una ecuación empírica desarrollada en 1932 por Kostiakov:

- **Lámina infiltrada o Infiltración acumulada.**

$$I_{cum} = A t^B \quad (1)$$

Dónde:

$I_{cum}$  = Lámina de agua infiltrada acumulada, en mm.

A= Parámetro que considera las características del suelo.

B= Parámetro que considera la infiltración en la unidad de tiempo.

t= Tiempo en minutos.

- **Velocidad de infiltración.**

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores en un tiempo determinado. Kiostakov (1932).

$$I = a t^b \quad (2)$$

$$a = A \times B \times 60 \quad (3)$$

$$b = B - 1 \quad (4)$$

La ecuación 2 es la derivada respecto del tiempo de Icum.

Dónde:

I= Velocidad de infiltración en mm / h.

a= Parámetro que considera las características del suelo.

B= Parámetro que considera la velocidad de infiltración en la unidad de tiempo.

t= Tiempo en minutos.

60= Constante para transformar la velocidad de infiltración de mm / min a mm / h.

Para obtener los valores de a y b ; A y B existen 2 métodos planteados por Kostiakov los cuales consisten en determinar mediante el método gráfico en papel doble logaritmo y el método de los mínimos cuadrados, de los cuales se obtiene la ecuación de la infiltración.

Con la ecuación de la infiltración se despeja el tiempo de infiltración para finalmente obtener la velocidad de infiltración promedio y básica con las siguientes ecuaciones:

- **Infiltración promedio (Ip):** La velocidad de infiltración promedio relaciona la Icum y el tiempo transcurrido desde que comenzó la infiltración.

$$I_p = I_{cum}/t$$

$$I_p = (a/(b+1)) * t^B$$

Se despeja el tiempo base y se reemplaza el tiempo de infiltración por el tiempo base en la ecuación  $VI=a*t^B$ , y se obtiene la velocidad de infiltración básica:

- **Velocidad de infiltración básica.**

Se define la infiltración básica como el valor que asume la velocidad de infiltración que resulta en el tiempo casi constante (Negro,1998).

$$t_{base} = -600 b, \text{ Tiempo en minutos}$$

$$VIB = a * (-600*b)^b \text{ (mm/hr; } t = \text{min).}$$

*Tabla 1. Clasificación de la velocidad de infiltración básica*

CLASIFICACIÓN	VIB (mm/h)
<b>muy baja</b>	< 2.5
<b>Baja</b>	2.5 a 15
<b>Media</b>	15 a 28
<b>Alta</b>	28 a 53
<b>muy alta</b>	> 53

**Fuente:** (FAO, CHILE 2001)

## 2.8. Diseño agronómico.

En el diseño agronómico de un sistema de riego por goteo se debe de considerar las características hidrofísicas del suelo, así como también el tipo de cultivo que se va a regar, el clima es muy importante para determinar las necesidades de riego y la tecnología de riego que se va a utilizar para determinar costos. La finalidad del diseño agronómico es determinar la lámina de riego que se debe aplicar al suelo para cada cultivo, el tiempo de riego y la frecuencia en días.

Con estos parámetros se puede llegar a calcular: el número de emisores por planta según la densidad de siembra para llegar finalmente, a conocer el caudal o gasto requerido del sistema; en caso de no coincidir con la capacidad disponible realizar los ajustes correspondientes hasta garantizar un buen funcionamiento del sistema (Fuentes, 2004).

El diseño agronómico contempla de forma general:

- Cálculo de la necesidad de agua de los cultivos o evapotranspiración del cultivo.

- Determinación de los parámetros de riego: Lamina, frecuencia y tiempo de riego.

En la confección de planes de riego la determinación de las demandas de agua se considera de gran importancia debido que así se puede conocer el valor exacto de cuánta agua necesita un cultivo para poder desarrollar de la mejor manera posible, por lo tanto, la determinación de las demandas de riego es uno de los elementos más importantes que está relacionada con las necesidades de riego de los cultivos bajo ciertas condiciones de precipitación y tipo de suelo.

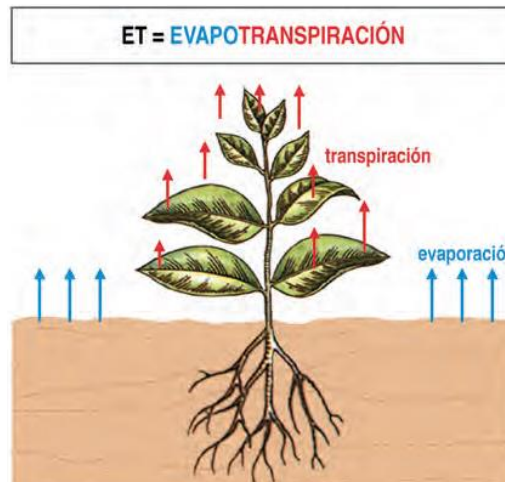
### **2.8.1. Necesidades hídricas de los cultivos.**

Los procesos de evaporación del suelo y transpiración de la superficie foliar de las plantas son importantes al momento determinar las necesidades hídricas de los cultivos, estos procesos en conjunto reciben el nombre de evapotranspiración real o de cultivo (Etc). Al momento existen distintos métodos para determinar el Etc en función de la evapotranspiración de referencia (Eto) y el Kc de los cultivos (Ortega, Márquez, Valdés y Paillán, 2001).

Para proceder a calcular las necesidades de riego de los cultivos, es necesario determinar la evapotranspiración de referencia por día ETo, para lo cual se debe utilizar los valores de Kc de cultivo disponibles en publicaciones de investigación tomando en cuenta las diferentes fases fenológicas del cultivo y se lo multiplica por el ETo, lo que corresponde a la evapotranspiración real o actual del cultivo (ETc) y se relacionan éstos valores con la lluvia para obtener los requerimientos netos de riego del cultivo.

### **2.8.2. Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto).**

Según Jaramillo (2006), La evapotranspiración de referencia (ETo) es la cantidad de agua evaporada desde una superficie de terreno cubierto totalmente con un cultivo hipotético de 12cm de altura, con una resistencia superficial de 70s.m-1, un albedo de 0.23 y sin restricciones de agua; este valor representa la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, en crecimiento activo y con riego adecuado. (Figura 3).



**Figura 3.** Transpiración por las plantas y la evaporación del agua del suelo.

**Fuente:** Fernández, 2010

### 2.8.2.1. *Métodos para determinar la evapotranspiración de referencia:*

Para estimar la evapotranspiración de referencia existen hasta la actualidad métodos directos y métodos indirectos los cuales ha desarrollado sus propias fórmulas de los cuales tenemos:

#### a) **Métodos directos.**

Como métodos principales tenemos a los tanques evaporímetros, los lisímetros, parcelas experimentales, estudios sobre la humedad del suelo, método de integración, método de entradas y salidas de agua para grandes extensiones; estos métodos se basan principalmente en la medición de la evapotranspiración de referencia de forma directa sobre el terreno de a partir del momento en que alcanza su capacidad de campo, entre los principales métodos tenemos:

El tanque tipo “A” este tanque consiste en medir directamente el agua que se ha evaporado en el día, este método se caracteriza por ser de fácil manejo para el usuario, de forma que se entiende que existe una relación entre el agua evaporada del tanque con el agua que es consumida por la planta. El tanque posee características tales como: diámetro 121.9 cm, altura 25cm y el espesor de la lámina de hierro galvanizado de 17.5 cm y 20cm, para la toma de lecturas en el interior del tanque se encuentra una regla graduada en mm (Cisneros, 2003).

Cisneros (2003) a su vez señala al método lisimétrico, el cual consiste en estimar la evapotranspiración de referencia, a través de un sistema de medición de las pérdidas de agua en volumen que se dan en recipientes los cuales se llenan del suelo y se siembran con el cultivo en seleccionado; dichos lisímetros se clasifican según:

- Su finalidad: agronómicos, hidrológicos e hidrogeológicos.
- El estado del suelo: alterada o inalterada (monolíticos)
- Su sistema de medición: de drenaje, de pesada (mecánicos, hidráulicos o electrónicos).
- La colocación: superficiales (agrícolas e hidrológicos) y subterráneos (hidrogeológicos).
- Su localización: de campo o de invernadero.

**a) Métodos indirectos.**

- Método FAO Penman - Monteith se recomienda como el único método de determinación de Eto con parámetros climáticos, es el más utilizado debido a que se aproxima de una manera cercana a la ETo de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos; requiere de datos meteorológicos: radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento (FAO, 2006).
- Método de Thornthwaite, este método se basa en los valores de temperatura y en la altitud de un lugar de interés. Sirve para estimar la evapotranspiración referencial del cultivo; tiene la ventaja de que la fórmula usa datos climáticos como temperaturas medias mensuales.
- Método de Christiansen, considera datos de temperatura, humedad atmosférica, velocidad del viento y heliofanía (eventualmente de nubosidad), y proporciona resultados muy satisfactorios para predecir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos (Maldonado, 2001).



- Método de Turc, se basa en la temperatura media mensual y la radiación global (horas brillo solar o heliofanía). Funciona bien para climas templados y fríos (Maldonado, 2001).

El presente trabajo se lo realizó mediante el software CROPWAT 8.0, el cual es uno de los modelos matemáticos para calcular la Eto de forma indirecta debido a que hace uso de la ecuación de Penman-Monteith, que permite comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año, entre diferentes regiones y diversos cultivos.

Según Arteaga, Montiel y Vázquez (2011), CROPWAT 8.0 es un software que fue desarrollado por la FAO. Este es un programa de cómputo el cual está diseñado para la determinación de requerimientos hídricos de riego para diferentes cultivos. Con este programa es posible establecer directrices cuantitativas o niveles de adaptabilidad según la disminución en el rendimiento de los cultivos cuando se introducen diversas combinaciones o variaciones de suelo, clima y fechas de siembra.

Fundamentalmente, Cropwat es un software que nos permite realizar un balance hídrico, debido a que contrasta la disponibilidad de agua con las necesidades hídricas del cultivo. Toma en cuenta los coeficientes ( $K_c$ ) de los cultivos a lo largo de sus distintas etapas de fenológicas.

El objetivo principal de Cropwat es el de obtener los requerimientos o necesidades de agua de los cultivos en base a datos meteorológicos incrustados por un usuario. Gracias a la interfaz del programa estos datos pueden ser directamente ingresados en Cropwat o importados de otras aplicaciones. Según la FAO recomienda la utilización de este programa debido a que para el cálculo de las necesidades de Agua del Cultivo, Cropwat requiere de datos de evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto). Cropwat permite calcular al usuario valores de Eto, ingresando datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y

radiación solar, lo cual permite al programa Cropwat calcular la ETo aplicando la ecuación de Penman-Monteith.

### **2.8.3. Evapotranspiración de cultivo (Etc).**

La evapotranspiración del cultivo (Etc) es el conjunto de la evaporación desde el suelo y la transpiración, la cual es necesaria para comprender mejor los ciclos hidrológicos terrestres y desarrollar una programación precisa de riego (Ding et al., 2013).

El conocimiento del consumo de agua para el desarrollo de los cultivos es esencial en las distintas ramas de la agricultura, como son: los requerimientos hídricos, riegos tecnificados, en la productividad y estudios en el balance del agua. La Etc se relaciona directamente a dichos estudios y se conoce como el volumen de agua requerido para satisfacer a los cultivos (Cisneros et al., 2015).

#### ***2.8.3.1. Coeficiente del cultivo (Kc).***

De acuerdo a Valverde (2012), se conoce como coeficiente del cultivo  $Kc$ , a un valor que depende y varía de las peculiaridades anatómicas, morfológicas y fisiológicas de las plantas. Este parámetro se modifica según la fenología de la planta hasta lograr un máximo, que se considera en la época mayor desarrollo del cultivo y luego vuelve a decaer en las etapas de maduración.

Según Maldonado (2012), se pueden distinguir las diferentes etapas de crecimiento del cultivo, las cuales se evidencian a medida que este se desarrolla, tanto en área foliar que cubren las plantas en el suelo como en la altura del cultivo.

El valor de  $Kc$  varía según las fases de desarrollo en la que se encuentra el cultivo, dando como resultado menor valor de  $Kc$  para cultivos que encuentran en la fase inicial y mayores  $Kc$  para cultivos que se encuentran en la fase media y final debido a que cubren más superficie y proyecta más sombra sobre el suelo. (Maldonado, 2012)

Para poder realizar el cálculo de los requerimientos de agua del cultivo el valor de Etc se deberá multiplicar por un valor de Kc que se modifica según el estado o fenología de las plantas.

Los puntos de cambio o estados de desarrollo son: Kc inicial, Kc Medio y Kc final, cuyas descripciones se presentan en la tabla 2.

*Tabla 2. Etapas de desarrollo del cultivo, según FAO*

<b>VALORES DE KC</b>	<b>ETAPAS DE DESARROLLO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Kc<sub>ini</sub></b>	Inicial	Kc promedio desde la plantación a 10% de cobertura.
<b>Kc<sub>ini</sub> - Kc<sub>med</sub></b>	Crecimiento rápido	De 10% de cobertura a 75% o al máximo de consumo de agua, lo que suceda primero.
<b>Kc<sub>med</sub></b>	Periodo medio	Kc promedio al final de la estación de máximo crecimiento hasta que el consumo de agua comienza a declinar.
<b>Kc<sub>med</sub> - Kc<sub>fin</sub></b>	Periodo final	Desde que el Kc comienza a declinar hasta la cosecha o cuando el consumo de agua llega a ser mínimo.

**FUENTE:** FAO, 1997

#### **2.8.4. Requerimientos hídricos del cultivo en riego por goteo.**

Según Pizarro (1996) en su libro de riego localizado de alta frecuencia, asegura que para determinar las necesidades hídricas netas de un cultivo bajo riego por goteo, se deben realizar correcciones a la evapotranspiración máxima registrada en el año. Las correcciones que se deben hacer son:

Por localización, debido al efecto sombra sobre la superficie mojada del suelo.

Por clima, debido a que generalmente la evapotranspiración del cultivo se calcula con los valores medios de los meteoros; por lo que, para asegurar un mejor abastecimiento de agua, se incrementa los requerimientos hídricos, para cubrir al menos un 75 % de las necesidades totales, incrementando el valor al multiplicarlo por un factor de mayoración, generalmente del orden de 1.2

Por percolación y lavado, debido a que, en riego por goteo, se puede originar una acumulación de sales en el bulbo húmedo, que es necesario lavar; y porque en el sistema de

riego por goteo a pesar de su alta eficiencia, también se tiene una percolación “inevitable” de acuerdo a las condiciones del suelo.

### **2.8.5. Balance hídrico.**

Según la FAO (2001), afirma que el balance hídrico (BH), consiste básicamente en hacer un balance entre el agua que entra con el agua que sale al suelo, para así poder establecer los períodos de déficit y excesos de agua; esto con el propósito de identificar el manejo del agua en períodos de déficit con riego, mientras que en períodos de exceso con prácticas de drenaje.

### **2.8.6. Demandas de riego.**

De acuerdo a Grassi J, (1998) citado por Gallegos C, (2016), la demanda de riego de los cultivos considera: la evapotranspiración máxima del cultivo (Etc), la selección del método de riego (aspersión, micro aspersión, goteo y gravedad) y el caudal disponible o caudal que se tiene permanente en determinada zona. De acuerdo a todo lo mencionado se puede determinar los caudales para el manejo óptimo del agua de riego, a su vez se pone en consideración el concepto de riego integral: que es aquél que se emplea cuando en un área dada la contribución del agua de lluvia presenta un déficit significativo.

#### ***2.8.6.1. Caudal continuo ( $qc$ ).***

El caudal continuo expresado en litros por segundo y por hectárea, es el que satisface los requerimientos hídricos para un tiempo de un día.

#### ***2.8.6.2. Caudal permanente ( $qp$ ).***

El caudal permanente  $qp$  corresponde al caudal que se requiere para regar una determinada superficie, que puede ser mayor o menor a una hectárea.

#### ***2.8.6.3. Caudal de diseño ( $Qd$ ).***

El caudal de diseño  $Qd$ , sirve para obtener el caudal de riego, considerando el manejo del riego. El caudal de diseño relaciona, el caudal permanente  $qp$ , con el factor de operación  $Fo$ . El factor de operación, está determinado por el manejo que se da al sistema de riego, es

decir, frecuencia de riego  $Fr$ , ciclo de riego  $Cr$  y el tiempo de aplicación. El caudal de diseño sirve para diseñar la red hidráulica de conducción principal; además sirve para en caso de ser necesario determinar el volumen del reservorio.

El dimensionamiento y construcción de un reservorio se da en el caso de que el caudal de diseño es mayor que el caudal disponible

#### **2.8.6.4. Caudal disponible ( $Q_{disp}$ ).**

El caudal disponible es el que efectivamente se tiene en la zona de riego, puede ser de manera intermitente o continua; pero es el determina la necesidad o no de construir un reservorio.

#### **2.8.7. Tiempo de riego.**

Es el tiempo que el sistema de riego debe estar en funcionamiento para poder cubrir con los requerimientos de agua del cultivo y reponer el agua que se pierde por acción de la evapotranspiración del cultivo.

### **2.9. Diseño hidráulico.**

El diseño hidráulico tiene que ver con los efectos del agua cuando está en movimiento dentro del sistema. Determinar si existe suficiente agua con la presión requerida por el sistema para regar el predio determinará si la instalación funcionará o no (Vaquero, 2007).

“El diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de conducción y distribución y el óptimo trazado de las mismas” (Fuentes, 2004).

#### **2.9.1. Red hidráulica.**

##### **2.9.1.1. Tuberías.**

Según Liotta, Carrión, Ciancaglini y Olguín (2015) las tuberías que cotidianamente se utilizan en riego por goteo son en general de plástico, siendo los materiales que más destacan, el PVC (policloruro de vinilo) y el PE (polietileno). Las tuberías laterales y normalmente las

secundarias se instalan en polietileno, mientras que la tubería principal puede ser de polietileno o de PVC dependiendo de su diámetro.

Las características que las hacen muy adecuadas 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.
- Las características básicas para clasificar las tuberías de plástico para riego son:
- Presión: presión máxima de trabajo a 20°C.
- Presión de trabajo: es el valor de la presión máxima interior a la que la tubería estará en servicio.
- Diámetro nominal: es el diámetro exterior del tubo declarado por el fabricante.
- Diámetro interior: es diámetro por el que circula el agua.
- Espesor: o grosor del tubo es la diferencia entre el diámetro nominal y el interior, declarado por el fabricante.

#### ***2.9.1.2. Red de conducción y distribución.***

Fernández (2010) afirma que la red de conducción y distribución está formada por las tuberías, que llevan el agua desde la fuente, pasando por el cabezal de control hasta las distintas subunidades de riego donde fluye a través de los goteros o emisores.

Dependiendo de la categoría de la tubería, ésta recibe un nombre como:

- **Tubería de conducción o principal:** generalmente es en la que circula los caudales más grandes. Generalmente llega desde la fuente de agua, pasa por el cabezal de control y termina en el inicio de las tuberías secundarias.

- **Tubería secundaria:** El área a regar se debe dividir en unidades de riego según determinados criterios, superficie, cultivo, suelo, etc., siendo esta tubería la que abastece cada unidad de riego.
- **Tubería terciaria o múltiple:** Es la encargada de distribuir el agua dentro de la subunidad de riego y es en donde van acopladas las laterales.
- **Tuberías laterales:** Estas tuberías están abastecidas por una tubería terciaria y es donde se encuentran colocados los emisores de riego por goteo. La superficie regada por cada terciaria se llama subunidad de riego.

### 2.9.2. Los emisores.

Según Fernández (2010) los emisores son los elementos de la red que producen y controlan la salida de agua desde los laterales. Lo más usual es que los emisores estén situados a cierta distancia unos de otros, por lo que la salida del agua se produce de manera discreta a lo largo del lateral de riego formando los bulbos húmedos, sin embargo, el agua también puede aplicarse de forma continua creándose una banda humedecida en el suelo.

Las características de un buen emisor son:

- Una buena relación precio/ calidad.
- Caudal uniforme (poco sensible a las variaciones de presión).
- Poco sensibles a obturaciones.
- Alta uniformidad de fabricación.
- Resistente a las condiciones de trabajo.
- Fácil instalación.

No siempre se requiere que se cumplan todas estas características en algunos casos las condiciones de trabajo serán distintas en las cuales estas características se les puede dar menos importancia. Sin embargo, al momento de elegir el tipo de emisor más adecuado, es preciso considerar la posibilidad de que se produzcan obturaciones teniendo en cuenta

básicamente la calidad del agua de riego y el equipo de filtrado instalado. Los goteros y tuberías emisoras son los que presentan mayor riesgo de obturación al tener menor tamaño de paso del agua y salir ésta con poca velocidad.

Los goteros constituyen el tipo de emisores de riego localizado más usado. Son dispositivos fabricados en plástico que se colocan en las tuberías laterales y disipan la presión haciendo que el agua salga prácticamente sin velocidad, es decir, goteando. Trabajan a presiones próximas a 1 bar. Para disipar la presión suelen tener en su interior un conducto muy ondulado o sinuoso, parecido a un laberinto.

Según la forma en que se colocan en los laterales se tienen los goteros:

- **Interlinea o insertados:** se instalan cortando la tubería y empalmado por ambos lados.
- **Pinchados:** se colocan en un orificio previamente practicado en la tubería.
- **Integrados:** se embuten en la tubería durante su proceso de fabricación.

Dependiendo del tipo de curva caudal – presión del gotero, es decir, del caudal que suministre según la presión a la que esté trabajando, los goteros se denominan:

- **No compensantes:** el caudal cambia cuando varía la presión. A mayor presión, el caudal que suministra es mayor.
- **Autocompensantes:** dentro de unos límites de presión, que deben ser indicados por el fabricante, el caudal que suministra el gotero prácticamente no varía. El intervalo de presiones para el que el gotero compensa la presión se llama intervalo de compensación

La distribución del agua por los emisores debe ser lo más uniforme posible y constituye el comienzo del diseño hidráulico. Para lograr una buena uniformidad será preciso que:

- Todos los emisores de la instalación sean de buena calidad (es muy importante que tengan certificado de calidad).
- La presión del agua en todos los emisores sea lo más uniforme posible.
- Las tuberías sean construidas con material donde la rugosidad sea lo mínimo posible.



Se deben de evitar exceso de recorrido cambios de dirección, entre otros. Debido a que el agua en su recorrido por la red va perdiendo presión por el rozamiento, cambios bruscos de dirección, pasos por filtros, etc. A esta pérdida se la conoce como pérdida de carga.

Lógicamente cuando el recorrido de la tubería de carga sea ascendente tendremos pérdida de presión y ganancia cuando sea descendiente, debido al desnivel geométrico del terreno.

### **2.9.3. Eficiencia de riego.**

Se define a la eficiencia de un sistema de riego como la relación entre la cantidad de agua netamente aprovechada por las plantas y la cantidad de agua suministrada desde la fuente de agua; en términos generales, la eficiencia de riego involucra manejo correcto y adecuado del agua en el terreno agrícola; es decir el grado de habilidad con que el regante maneja el agua. Sin embargo, por más cuidado que se tenga en dicho manejo del agua, es evidente que siempre habrá pérdidas ya sea principalmente durante la aplicación del agua al suelo y también durante la conducción, tanto en la red de riego externa como en la red interna de distribución del agua a la parcela (FAO, 2001).

La eficiencia de riego también se la puede definir como la resultante de tres aspectos:

- a) **Eficiencia de aplicación:** determina la parte del agua que no es retenida en la zona radicular, en relación al total del agua aplicada en el suelo.
- b) **Eficiencia de almacenamiento:** determina la parte del agua aplicada que queda almacenada en el suelo, en relación a la necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo.
- c) **Eficiencia de uniformidad:** determina la uniformidad de entrega de agua por los emisores (goteros o micro aspersores) al suelo.

Como resultado de estos tres aspectos obtenemos que la ponderación de estas eficiencias determina la eficiencia agronómica o de utilización del agua de riego, cuyo valor debiera optimizarse en condiciones de secano (Inia tierra adentro, 2010)

### 2.9.3.1. Coeficiente de uniformidad de riego de Christiansen (CU).

Según Mendoza (2013), el coeficiente de uniformidad es uno de los indicadores que tiene gran importancia en la eficiencia de riego, debido que un sistema de riego debe distribuir el agua uniformemente en toda la superficie regada, de manera que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua y esta sea la adecuada para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo durante el intervalo entre los tiempos de riego.

También afirma que un déficit de uniformidad de aplicación en riego localizado, conduce a un mal reparto de agua y fertilizantes, dando como resultado plantas quemadas o con riesgo de fitotoxicidad por exceso de nutrientes.

Vargas (2008), recomienda para su cálculo la siguiente fórmula:

$$CU = 1 - \left( \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{\bar{X} \cdot n} \right) * 100$$

Dónde:

CU= Coeficiente de uniformidad en porcentaje.

X<sub>i</sub>= Datos individuales de los caudales de los goteros muestreados.

X= Promedio de los goteros aforados.

n= Número de goteros aforados.

|X<sub>i</sub>-X|= Valor absoluto de la diferencia entre X<sub>i</sub>-X (Vargas, 2008).

*Tabla 3. Clasificación de los coeficientes de uniformidad*

<b>Tipo de uniformidad</b>	<b>Coeficiente de uniformidad</b>
<b>Excelente</b>	> 90 %
<b>Buena</b>	80 % - 90%
<b>Aceptable</b>	70% - 80%
<b>Inaceptable</b>	< 70%

**FUENTE:** Vargas, 2008

### 2.9.3.2. Eficiencia de distribución o uniformidad de distribución (UD)

Según Rain Bird Corporation (2010), la Uniformidad de la Distribución (UD) es una medida que indica el porcentaje de qué tan equitativamente se está aplicando el agua a través

de un sistema de riego en el campo durante un tiempo determinado; viene expresada en porcentaje entre 0 y 100%, pero sin duda alguna cuando se la practica en el campo es tácitamente imposible poder obtener resultados de UD del 100%.

Según Rain Bird Corporation (2010), afirma que una Uniformidad de Distribución inferior al 70% es considerada deficiente, mientras que una UD entre 70 y 90% es considerada buena, y finalmente una UD superior al 90% es excelente. En general se podría decir que si se tiene en el campo resultados de UD que correspondan a una uniformidad deficiente, quiere decir que el agua que se está aplicando a través del sistema de riego no es de manera uniforme por lo que unas plantas podrían estar recibiendo más agua de lo designado y otras pueden estar cayendo en un estrés hídrico debido a que no se le está aplicando la cantidad necesaria de agua para que las plantas puedan desarrollar con normalidad.

Según Vargas (2008), para calcular la uniformidad de distribución se determina con la siguiente ecuación:

$$UD = 100 * \left( \frac{25\%pQ}{\bar{X}} \right)$$

Dónde:

UD= Uniformidad de la distribución, en %.

Lp25%= Promedio de los caudales del 25% de los goteros con la menor descarga.

$\bar{X}$ = Promedio de todos los goteros aforados.

**Tabla 4.** *Clasificación de la uniformidad de distribución*

<b>Clasificación</b>	<b>UD %</b>
<b>Excelente</b>	> 90
<b>Bueno</b>	80-90
<b>Regular</b>	70-80
<b>Pobre</b>	60-70
<b>Inaceptable</b>	< 60

**Fuente:** Merrian y Keller, 1978

### **2.9.3.3. Coeficiente de variación de los goteros (fabricación)**

Según Pizarro (1996), es un término estadístico característico. En la tecnología de los riegos localizados de alta frecuencia, al referirlo a los emisores se puede ampliar su nombre, llamándolo coeficiente de variación de fabricación y viene expresado en tanto por uno.

El coeficiente de variación se clasifica en:

- Categoría A: emisores de elevada uniformidad  $CV < 0.05$ .
- Categoría B: emisores de baja uniformidad  $CV > 0.05$ .

A su vez Pizarro (1996), afirma que el coeficiente de variación tiene una estrecha relación con el coeficiente de uniformidad de riego (CU), debido a que cuanto mayor sea el valor de CV menor es la uniformidad. Es decir, los emisores de categoría A dan lugar a una uniformidad de más del 94% mientras que los de categoría B a menos del 94%.

### **2.9.3.4. Importancia de conocer la eficiencia de riego.**

Según el Ministerio de agricultura y riego de Perú (2015) señala que:

- Para lograr una alta eficiencia de riego, en primer lugar, se debe conocer cuánta agua se dispone o se capta en la fuente de agua, sea ésta superficial o subterránea y cuánta llega a la parcela y es utilizada por la planta.
- Saber cuantificar en dinero, lo que se está perdiendo con cada metro cúbico de agua que no se aprovecha bien.
- Conocer de forma rápida y sencilla, la cantidad de terreno que se podría irrigar si el agua mal aprovechada estuviese disponible.
- Saber la magnitud que tendrá el costo de obras de riego, para ir mejorando según la eficiencia hasta llegar a un nivel aceptable técnicamente.

### **2.9.3.5. Ventajas de una mejor eficiencia en un sistema de riego.**

El MINAGRI (2015) también señala que las ventajas que conlleva una mejor eficiencia de riego son:

- Ahorrar la mayor cantidad de agua posible, lo que conlleva una reducción en los costos por el agua utilizada.
- Obtener una mayor participación de los usuarios en el manejo eficiente del agua. .
- No desperdiciar y saber aprovechar los recursos hídricos de una cuenca, subcuenca o ámbito geográfico donde se produce el agua, debido a que si se sabe utilizar de mejor manera el recurso hará que existan menos pérdidas en las cuencas y existirá una mayor disponibilidad de agua para uso agrícola y otros usos.
- A contribuir en el correcto desarrollo de los cultivos, mejorando así la productividad y generando más ganancias tanto económicas como en no degradar las tierras, ya que cuidando los excesos de agua habrá menos deterioro de los demás recursos naturales.

#### **2.10. Trabajos relacionados con la evaluación de sistemas de riego por goteo**

Pachón, Figueroa y Chavarro (2014) en su artículo denominado **Evaluación de sistemas de riego localizado en cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) como estrategia de aumento de la producción en el departamento del Huila**, señalan que de acuerdo al estudio realizado, determinaron que el coeficiente de uniformidad obtenido de la evaluación de diferentes sistemas de riego como goteo, micro aspersion y micromanguera dan como resultado que el sistema más eficiente en el uso del agua es el sistema de riego por goteo con un valor de  $CU = 97.3\%$ , seguido del riego por microaspersión con un  $CU = 96.42\%$  y por último y no muy distante el sistema de riego con micromanguera, calificando como un tipo de uniformidad excelente para los 2 primeros sistemas y el ultimo con un tipo de uniformidad buena, concluyendo así que el riego por goteo es una buena alternativa para solucionar problemas de déficit de agua y a más bajo costo pero no muy efectivo se tiene el riego por micromanguera.

Gonzales (2011), en su investigación realizada en la Habana-Cuba sobre el tema denominado **Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de**

**cultivo en explotación**, señala que en la obtención de cosechas de buena calidad y altos rendimientos es imprescindible que los sistemas de riego funcionen con una elevada eficiencia. En el cual se tuvo que realizar la presente investigación con el objetivo de determinar la uniformidad del riego a través del cálculo del coeficiente de uniformidad (Cu) del sistema trabajando con un solo lateral y con dos laterales de gotero sobre el cantero en condiciones de producción. El estudio se realizó en el módulo de casas de cultivos “Las Guásimas”, situada en la provincia de La Habana a los 23° 00' ; 33.12" Latitud Norte y 82° 17'; 42.57" Longitud Oeste, a 92 m sobre el nivel medio del mar, Municipio Arroyo Naranjo; donde quedó demostrado que el coeficiente de uniformidad para el gasto de los emisores, clasifica en la categoría de bueno (> 80%), pero fuera del valor nominal recomendado por el fabricante (2 L·h<sup>-1</sup>) para ambas situaciones. El Cu general de los sistemas fue bueno y excelente (> 80 y > 90%). Concluimos que fue superior el coeficiente de uniformidad de los gastos y del sistema en general (incluyendo presiones), cuando se utilizó un lateral por hilera de cultivo. Los sistemas de riego en estas unidades productivas funcionan en muchos casos con presiones superiores a las calculadas por proyecto, lo que provoca que el gasto de los emisores sea superior a los diseñados por el fabricante.

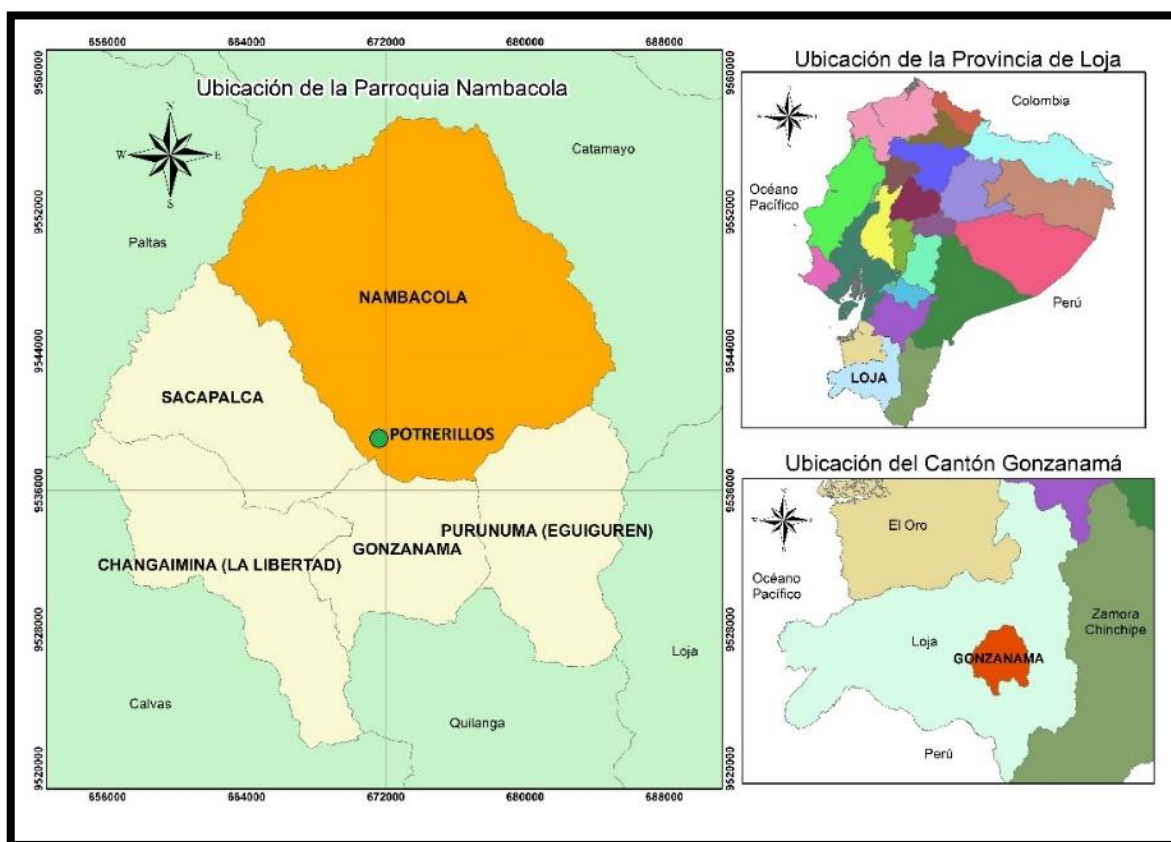
Franco (2018), en su proyecto de tesis denominado **Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo**, señala que el coeficiente de uniformidad del gotero se presenta con dos rangos de significación con un promedio 92 % con el tratamiento A1B2 (cinta hydrodrip, con la distancia entre laterales 1.0 m), seguido del tratamiento A1B1 (cinta hydrodrip, con la distancia entre laterales 0.80 m) con un valor de 91.33 %, siendo estos valores muy significativos al momento de tomar en cuenta las diferentes cintas de goteo a instalar en un sistema de riego por goteo.

Según Lozano, Gavilan y Ruiz (2014). En su investigación realizada en Almonte – España con el tema denominado, **Evaluación en campo de cintas de riego por goteo de diferente**

**caudal en un cultivo de fresa**, señalan que debido a que en zonas como la corona del Parque Nacional de Doñana es especialmente necesario regar con el menor impacto ambiental posible por lo que se hizo la evaluación 3 cintas de goteo con diferentes caudales, en una finca experimental para determinar cuál es su uniformidad de distribución y de acuerdo a eso poder determinar las mejores condiciones para proponer el riego en esta zona. Los caudales nominales de las cintas evaluadas fueron de 2.5, 3.8 y 5 l h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>. El volumen a aplicar por pulso de riego para alcanzar una uniformidad de distribución (UD) del 90% fue aproximadamente de 100 ml por gotero, lo que equivale a 10, 7 y 5 minutos de riego para las cintas de 2.5, 3.8, y 5 l h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>, respectivamente. Finalmente se concluyó que a partir de un volumen aplicado por gotero de 250 ml la UD alcanzó valores del 95% lo que los llevo a asegurar que con un buen diseño y manejo del sistema de riego por goteo es posible obtener valores altos de UD con cualquier tipo de emisor.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1. Localización del área de estudio.



*Figura 4. Ubicación de la Zona de estudio*

El ensayo se desarrolló en:

- Provincia: Loja
- Cantón: Gonzanamá
- Parroquia: Nambacola
- Sector: Potrerillos

Coordenadas:

- 669572.1 y 669652.4 ESTE
- 9539781.2 y 9539621.5 NORTE

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Nambacola (2015 - 2019) la parroquia de Nambacola se encuentra ubicada al noreste del cantón Gonzanamá; bañada en sus costados



norte, este y noreste por las aguas del río Catamayo, que sirve de límite natural con los cantones de Catamayo y Paltas, cuenta con una extensión territorial aproximada de 310 km<sup>2</sup> de superficie aproximadamente y una altura media de 1783 msnm. De acuerdo al PDOT de la parroquia Nambacola, limita su extensión de la siguiente forma:

**Norte:** Con la parroquia de San Pedro de la Bendita del cantón Catamayo

**Sur:** Con las parroquias de Gonzanamá y Purunuma.

**Este:** Con las parroquias del Tambo y Catamayo del cantón Catamayo

**Oeste:** Con las parroquias de Catacocha del cantón Paltas y Sacapalca.

### 3.2. Fuente de agua del Proyecto.

La fuente de agua proviene de la quebrada Potrerillos, la cual se caracteriza por ser tipo superficial y cuenta con un caudal disponible todo el año; tiene las siguientes coordenadas planas (UTM):

**Coordenada Norte:** 9539485.87mm

**Coordenada Este:** 669898.96 m

**Altitud:** 1823.85 m.s.n.m



*Figura 5. Fuente de agua para riego.*

### **3.3. Caracterización del lugar**

#### **3.3.1. Clima.**

El clima de la Parroquia es característico de la región andina, influenciada por factores como una temperatura promedio de 21 °C, con una precipitación media anual de 1098.8 mm., y una humedad relativa del 85 %; siendo estos factores los que determinan las condiciones de desarrollo de la biodiversidad. Desde el punto de vista de la distribución de la temperatura, la parroquia Nambacola, presenta climas, tropical, subtropical, temperado y frío-sub temperado. El clima tropical se concentra en una franja ubicada en la margen izquierda del río Catamayo, franja en la cual tenemos pequeños centros poblados como Limón Vega, Algarrobera, Santa Rita, San Juan y El Húmedo; el clima subtropical se presenta en otra franja superior altitudinalmente a la anterior, la misma que alcanza a parte de las parroquias de Nambacola y Sacapalca, como centros poblados de mayor importancia (PDOT, 2015 – 2019).

#### **3.3.2. Fisiografía y suelos.**

Según el PDOT de la parroquia de Nambacola (2015 - 2019), la fisiográfica es de tipo montañoso andino, la cual se caracteriza por poseer una serie interminable de cañones estrechos y profundos, por donde circulan drenajes los cuales en su mayoría son permanentes, cuyo resultado es el predominante y típico paisaje montañoso en su mayoría, seguido por colinas, terrazas o mesetas y pequeños valles.

El PDOT de la parroquia de Nambacola (2014) afirma que la profundidad de los suelos de la parroquia, van desde superficiales con 15 cm de profundidad los cuales son los que presentan pendientes mayores a 50% , suelos no muy profundos con 34 a 44 cm de profundidad, los cuales presentan pendientes mayores al 30% y suelos muy profundos de 75 a 99 cm de profundidad y con pendientes menores al 16% los cuales están ubicados en los valles, estos suelos son de textura variada, considerados pesados debido a su composición granulométrica: arcillo limoso y franco arcilloso limoso, arcillo arenoso y franco arcillo

arenoso. En lo que se refiere al relieve es de tipo irregular por lo que en varios lugares se puede evidenciar partes planas y colinosas.

### **3.4. Materiales y equipos**

Entre los materiales que se usaron para el presente estudio se tiene:

- Cartografía del sitio de estudio (IGM Ortofotos escala 1:5000).
- Datos climáticos: precipitación y temperatura.
- GPS y Estación total.
- Computador.
- Recipiente de volumen conocido (medir caudal).
- Cronómetro.
- Cilindros infiltrómetros.
- Barreno (muestras de suelo alteradas).
- Cilindros Koppecky (muestras de suelo inalteradas).
- Fundas
- Libreta de apuntes.
- Cámara fotográfica.
- Catálogos de goteros, cintas y tuberías.
- Medidor de presión (manómetro).
- Vehículo.
- Suministros de oficina.

### **3.5. Metodología**

#### **3.5.1. Metodología para el primer objetivo:**

Evaluar el diseño agronómico del sistema de riego por goteo existente en el área de estudio.

Para realizar la evaluación agronómica del sistema de riego, se requirió efectuar previamente un estudio para determinar las propiedades hidrofísicas del suelo, debido a que dichas propiedades son de vital importancia a la hora de diseñar un sistema de riego tecnificado.

Las constantes hidrofísicas relacionadas con el riego que se determinaron fueron: Capacidad de campo, Punto de marchitez permanente, textura, densidad aparente y porosidad.

#### ***3.5.1.1. Propiedades hidrofísicas del suelo.***

Para la obtención de las propiedades hidrofísicas se tomaron muestras de suelo en el área de riego de dos maneras que a continuación se describen:

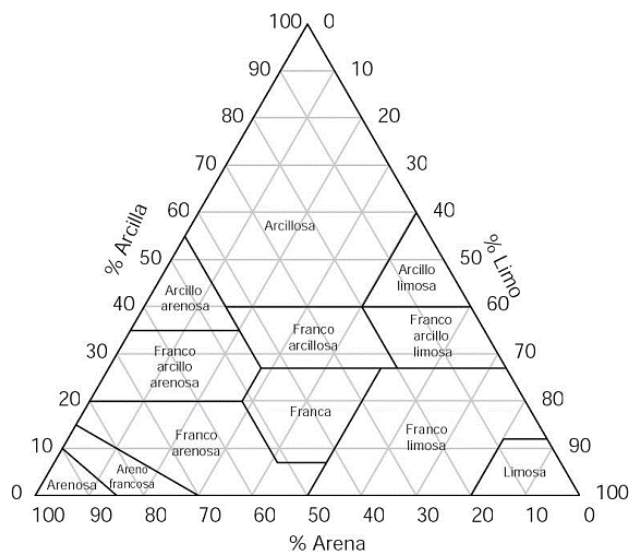
- 1) Con la ayuda del barreno se recolectó 6 muestras disturbadas del suelo a una profundidad de 15 y 30 cm, tomando en cuenta que para obtener una buena muestra se trianguló el área total del terreno, luego se tomó submuestras de características similares de suelo, de acuerdo al color y a las diferentes texturas presentes.
- 2) Se recolectó muestras sin disturbar del suelo con la ayuda de los cilindros Koppecky de 100 cm<sup>3</sup>, para lo cual primero se tomó 3 muestras a una profundidad de 0 a 15 cm y 3 muestras a una profundidad de 15 a 30 cm.

Por último, se llevó las muestras obtenidas en el campo, al laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, para su respectivo análisis.

#### **a) Textura.**

Para determinar la textura se extrajeron 6 muestras de suelo de la parcela de riego, 3 a una profundidad de 0 -15 y 3 a una profundidad de 15 – 30cm, este muestreo se lo realizó de forma aleatoria dentro del terreno tomando en cuenta triangular toda el área y evidenciar lugares con diferente color, textura y granulometría.

En el laboratorio se procedió a obtener el tipo de textura del suelo mediante el método de Bouyoucos. De acuerdo a los resultados se determinó la textura apoyándose en la (figura 6):



**Figura 6. Triángulo de la textura del suelo**  
**FUENTE: USDA**

#### b) Densidad aparente.

Para medir la densidad aparente se tomó del campo una muestra de suelo no disturbada de volumen conocido (cilindros Koppecky) y se secó en el horno a 105°C, durante 24 horas, hasta que alcanza un peso constante. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso seco del suelo por el volumen:

$$Da = \frac{\text{masa de los sólidos}}{\text{volumen del suelo}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

**Tabla 5. Interpretación de la densidad aparente con relación a la textura**

Textura de suelo	Densidad aparente ideal para el crecimiento de raíces (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente afecta el crecimiento de raíces (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Arenoso, franco arenoso</b>	< 1,6	>1,8
<b>Franco arenoso, franco</b>	< 1,4	>1,8
<b>Franco arcilloso arenoso, franco arcilloso</b>	< 1,4	> 1,75
<b>Limoso, franco limoso</b>	< 1,4	> 1,75
<b>Franco arcillo limoso</b>	< 1,4	> 1, 65
<b>Arcilloso arenoso, arcillo limoso, franco arcilloso</b>	< 1,1	> 1,58
<b>Arcilloso (&gt;45% arcilla)</b>	< 1,1	> 1,47

**Fuente: USDA**

**c) Capacidad de campo.**

Para llevar a cabo este procedimiento en laboratorio se hizo el uso del equipo de la cámara de presión; se fijó la Capacidad de Campo a la tensión de humedad de 1/10 atm (2.0 pF) y 1/3 atm (2.52pF) valores que recomienda la USDA.

**d) Punto de Marchitez Permanente (PMP).**

De igual manera se determinó el PMP haciendo uso de la cámara de presión sometiendo las muestras a una tensión de humedad de 15 atm de presión correspondiente a 4.2 pF durante 24 horas. Este valor hace referencia al límite más bajo del agua aprovechable para las plantas.

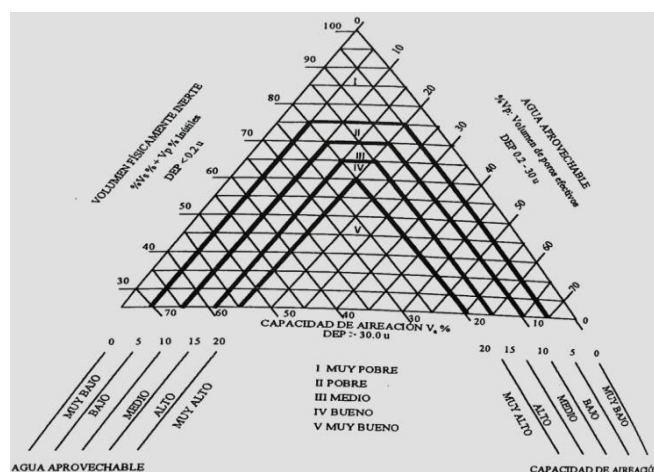
**e) Porcentaje de agotamiento o Umbral de riego (%).**

Este porcentaje hace referencia a la cantidad de agua o humedad que tiene el suelo durante el riego que conforme lo recomienda la FAO; este valor oscila entre 50 y 60% de humedad que existe entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

**f) Curva de retención de humedad.**

Para graficar la curva de retención de humedad se procesó los resultados correspondientes a las propiedades hidrofísicas del suelo en el software Excel, tomando en cuenta que se tiene que relacionar en el eje X el contenido de humedad en base a volumen y en eje Y el potencial hídrico o pF.

**g) Evaluación de las condiciones físicas del suelo.**



**Figura 7.** Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo

**Fuente:** Valarezo, et al, 1998 (USDA)

Mediante el diagrama triangular de la evaluación de las condiciones físicas (figura 7) del suelo donde se relaciona los valores de volumen de poros físicamente inerte, agua aprovechable, capacidad de aireación como resultado de los parámetros antes citados se clasifica la zona de condición física del suelo, para el desarrollo del cultivo.

### ***3.5.1.2. Evaluación del diseño agronómico del sistema de riego.***

Evaluar el diseño agronómico de un sistema de riego consiste en determinar la superficie de riego y la frecuencia de riego en función de los requerimientos hídricos del cultivo y del caudal disponible. Para realizar la evaluación agronómica del sistema de riego, primeramente se requirió conocer las láminas de agua disponibles y hacer un balance hídrico; el cual tiene por objetivo, determinar las necesidades o requerimientos de agua de los cultivos y la disponibilidad de agua así como los excesos mediante una programación de riego. El balance hídrico se lo obtuvo a través del análisis de entradas y salidas de agua a la parcela de riego entre las que se consideró la precipitación efectiva, la evapotranspiración del cultivo y los caudales disponibles para el riego.

Los datos climatológicos para la determinación de la evapotranspiración potencial se los obtuvo de la estación meteorológica Nambacola perteneciente al INHAMI (Anexo 4).

La evaluación del diseño agronómico cuenta de los siguientes procedimientos:

#### **a) Medición de caudales (Método Volumétrico).**

El aforo consistió en medir el caudal que proviene de la fuente de captación de agua mediante el método volumétrico. El método consistió en medir el volumen de agua recolectada y el tiempo de recolección. Para obtener datos confiables, este procedimiento se lo debe realizar 3 o 4 veces. Al dividir el volumen de agua recolectado (litros) por el tiempo empleado (segundos) se obtuvo el caudal en l/s (litros por segundo) como se indica en la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal(L/s)} = \frac{\text{Volumen recolectado (litros)}}{\text{Tiempo de recolección (segundos)}}$$

**b) Levantamiento topográfico de la superficie de riego.**

El levantamiento de la superficie de riego se realizó con la ayuda de una estación total y el equipo GPS. Se tuvo que recorrer toda el área y se tomó puntos resaltando lugares de interés como cabezal de control, redes de tuberías principal, secundaria y laterales, reservorio y la entrada a la parcela de riego. (Anexo 1).

Para dar inicio al levantamiento se tomó en cuenta los siguientes parámetros

- Que el sistema de referencia de los equipos esté acorde al de la región en este caso el sistema de proyección es en coordenadas UTM (Universal Transversa Mercador); Datum WGS 84 para la zona 17 Sur.
- Que la toma de puntos con el GPS sea en lugares donde el cielo se encuentre despejado ya sea de la sombra de los árboles o de las nubes, mientras que para los lugares donde el equipo GPS no presente estas condiciones, los puntos se tomen con la ayuda de la estación total.

El procesamiento de los puntos obtenidos de los equipos topográficos se lo realizó en el software AutoCAD CIVIL 3D 2015® (versión de prueba).

Con este programa se procedió a trazar la planimetría del terreno tomando en cuenta las curvas de nivel y resaltando los lugares más importantes del terreno como la distribución de las líneas de riego entre otros. (Anexo 1, lamina 1 y 2).

**c) Velocidad de Infiltración de agua en el suelo.**

Para obtener la velocidad de infiltración básica del suelo se utilizó el método de los cilindros infiltrómetros.

Este método consiste en 2 cilindros estandarizados en diámetro y altura; fabricado de material de acero con las siguientes dimensiones: el diámetro externo de 25 cm y el interno de 12 cm, la altura de ambos es de 25 cm, estos cilindros fueron introducidos suavemente en el suelo a una profundidad de 10cm; y, seguidamente se sometió a una carga de agua y se midió



el volumen de agua que fue drenada por unidad de tiempo; este proceso se lo repitió 3 veces dentro de toda el área de riego por un lapso de 3 horas.

La toma de lecturas de la lámina infiltrada de agua en cm, drenada en los cilindros, se hizo con intervalos de tiempo de cada 5 minutos la primera hora, 10 minutos la segunda y 15 minutos la tercera hasta que el descenso del nivel de agua se estabilizo y por lo menos 3 lecturas tengan un parecido o sean iguales, los datos se los puede apreciar en el (Anexo 3).

Una vez obtenidos los datos de lámina infiltrada versus tiempo se procedió a determinar la curva de infiltración acumulada en el programa Excel para una ecuación logarítmica, misma que representa los valores de A y b, que corresponden a la ecuación de la curva de  $I_{cum}=A*t^b$ .

#### **Ecuaciones:**

- **Ecuación de la infiltración acumulada.**

$$I_{cum}=A*t^b$$

Dónde:

$I_{cum}$ = Lámina de infiltración acumulada, (cm).

$t$ = Tiempo acumulado, (min).

$A$ = Valor de la infiltración cuando el tiempo es de un minuto.

$b$ = Exponente que depende de las características físicas del suelo.

- **Velocidad de infiltración Instantánea.**

La  $VI_{inst}$  se la obtiene mediante la derivación de la ecuación de infiltración acumulada con respecto al tiempo.

$$VI_{inst} = K * n * T^{n-1}$$

Dónde:

$VI_{inst}$ = Velocidad de infiltración instantánea, (cm/min).

$T$ = Tiempo, (min)

K y n= Parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

- **Velocidad de infiltración básica.**

Para calcular la velocidad de infiltración básica primero calculamos el tiempo básico el cual se lo calcula de la siguiente manera:

$$T_b = 10(1 - n) \text{ en horas}$$

Por último, se reemplaza el tiempo básico  $T_b$ , en la ecuación de velocidad de infiltración.

$$VIB = k * T^n$$

Dónde:

VIB= Velocidad de Infiltración básica, (cm/h).

K y n= Parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

**d) Evapotranspiración de referencia ( $E_{to}$ ).**

Se procedió a calcular la evapotranspiración potencial partir de datos climáticos de la zona.

La evapotranspiración de referencia del cultivo ( $E_{to}$ ), se calculó mediante el software CROPWAT 8.0 (software de libre acceso) el cual es recomendado por la FAO debido a que calcula la  $E_{to}$  haciendo uso de la fórmula de PENMAN MONTEITH, misma que requiere datos de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento e insolación.

Para obtener los datos de temperatura correspondientes al sector de estudio, se procedió a extrapolar los datos de la estación meteorológica Nambacola, por medio del gradiente térmico mediante la siguiente ecuación:

$$T^o = T_c - \left(\frac{0,65}{100}\right) * Az - Ae$$

Dónde:

$T^o$ = temperatura final (°C).

$T_c$ = temperatura de la estación, (°C).

Az= altura de la zona de estudio.

Ae= altura de la estación.

Dichos datos corresponden a los registros de 15 años de la estación Nambacola a partir del periodo 2001 – 2015 en base a los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Anexo 4).

#### e) Precipitación efectiva.

El cálculo de la precipitación efectiva se efectuó mediante el método de la precipitación fiable de la FAO, el cual establece la fórmula de la siguiente manera:

$$Pe = 0.6P - 10 \text{ para } P \leq 70 \text{ mm/período}$$

$$Pe = 0.8 P - 24 \text{ para } P > 70 \text{ mm/período}$$

Dónde:

P= precipitación mensual (mm/mes).

Pe= precipitación efectiva (mm/mes).

#### f) Coeficiente Kc del cultivo.

Según CENICAFÉ 2010, se establecieron los diferentes coeficientes para todo el ciclo del café, dependiendo de la edad que tiene el cultivo ya que debido a eso existen variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento. El Kc cambia desde la siembra hasta la cosecha. La siguiente tabla muestra los diferentes coeficientes Kc para el cultivo de café dependiendo de la edad del cultivo.

*Tabla 6. Coeficiente de cultivo de café*

Edad (años)	Coeficiente (Kc)	Profundidad de las raíces (cm)
1	0.8	20
2	0.95	30
más de 3	1.05	40

**Fuente:** Cenicafé. 2010

#### g) Evapotranspiración del cultivo Etc.

Con los datos de evapotranspiración y el coeficiente de cultivo (Kc), se determina la evapotranspiración del cultivo con la siguiente ecuación:

$$Etc = Eto * Kc$$

Dónde:

$ETc$  = Evapotranspiración máxima del cultivo, mm/día.

$ETo$  = Evapotranspiración potencial o de referencia, mm/día.

$kc$  = Coeficiente de cultivo, adimensional.

#### h) Índice de humedad.

El cálculo del índice de humedad se lo realizo para conocer el valor de déficit y exceso de agua del lugar de estudio el cual sirve como un estimador de la humedad disponible. Si existe escasez o exceso de agua el resultado es menor o mayor a 1, respectivamente. El  $Ih$  se calcula mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Ih = \frac{Pm}{Eto}$$

Dónde:

$Pm$  = Precipitación media (mm).

$Eto$  = Evapotranspiración de referencia (mm)

Los datos de precipitación media corresponden a un período de 15 años para el periodo 2001 – 2015 de la estación meteorológica completa Nambacola perteneciente al INAMHI (Anexo 4).

#### i) Necesidad neta de agua (NT).

Para realizar el cálculo de la lámina bruta de riego, primeramente se requiere hacer unas correcciones a la  $Etc$  del cultivo, como corrección por: a) localización, b) clima, c) percolación profunda y lavado.

- **Correccion por localización:** para hacer la correccion por localizacion primero se determinó el área sombreada con la siguiente ecuación.

$$As = \frac{A}{a*b}; \quad A = \frac{\pi*D^2}{4}$$

Dónde

$A_s$ = Área sombreada, ( $m^2$ ).

$A*b$ = Marco de plantación.

$D$ = Diámetro del follaje de la planta, (m).

El área sombreada se comporta como el suelo en riegos no localizados, mientras que el área no sombreada elimina agua con una intensidad mucho menor. La corrección por localización se la calcula multiplicando la Etc máxima por un coeficiente de localización  $K_l$ , cuyo valor depende de  $A_s$ . Diversos autores han estudiado la relación entre  $K_l$  y  $A_s$ , obteniendo las fórmulas siguientes:

$$K_L = 1.34 * A_s \quad \text{Ecuación de ALJIBURY AL}$$

$$K_L = 0.1 * A_s \quad \text{Ecuación de DECROIX}$$

$$K_L = Am + 0.5(1 - A_s) \quad \text{Ecuación de HOARE ET AL.}$$

$$K_L = Am + 0.15(1 - A_s) \quad \text{Ecuación de KELLER}$$

Obtenido  $K_L$ , por medio de los cuatro formulas, se eliminó el valor mayor y menor. De los cuales nos quedan dos valores y se tomó como  $K_L$ , la media de los dos valores y se lo multiplica por la Etc de mayor demanda en el año de la siguiente manera:

$$Nnl = Etc \max * K_l$$

Dónde:

$Nnl$ = Necesidad neta corregida por localización, (mm/día).

$Etc$ = Evapotranspiración del cultivo máxima, (mm/día).

$K_l$ = Coeficiente de corrección por localización.

- **Corrección por clima:** Para corregir el clima, adoptamos el criterio de Hernández Abreu con el coeficiente  $K_2$  que tiene un valor constante de 1.2

Corrección por localización y por clima

$$Nnc = Nnl * K_2$$

Dónde:

Nnc= Necesidad neta corregida por clima (mm/día).

Nnl= Necesidad neta corregida por localización (mm/día).

K2= Coeficiente de corrección por clima.

- **Corrección por percolación profunda y lavado**

Para realizar la corrección de la necesidad de riego neta por percolación y lavado, se usó la siguiente ecuación.

$$NT = \frac{Nnc}{Cu(1 - k)}$$

Dónde:

NT= Necesidad total (mm/día).

Cu= Coeficiente de uniformidad, tomado el (0.95).

K= Coeficiente de corrección por lavado y percolación.

Para calcular k, se usó las siguientes ecuaciones, de la cual se toma el mayor valor.

$$K = (1 - Ea)$$

$$K = LR$$

Ea= Eficiencia de riego

LR= Requerimiento de lavado

En la tabla 7 se muestran los diferentes valores para la eficiencia de riego de acuerdo a la textura del suelo y la profundidad de las raíces en climas áridos.

**Tabla 7.** Valores de Eficiencia de aplicación en climas áridos según la textura del suelo

Profundidad de raíces (m)	Textura			
	Muy porosa	Arenosa	Media	Fina
< 0,75	0.85	0.90	0.95	0.95
0.75 - 1.50	0.90	0.90	0.95	1.00
> 1.50	0.95	0.95	1.00	1.00

**Fuente:** Pizarro (1996)

Para determinar LR, se realizó la siguiente ecuación

$$LR = \frac{CEw}{2 * CE_s}$$

Dónde:

LR= Requerimiento de lavado.

CEw= Conductividad eléctrica del agua de riego (mmhos/cm).

Ces= Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (mmhos/cm).

- Finalmente calculamos la lámina bruta con la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Ln}{Nt}$$

Dónde:

Lb = Lamina bruta (mm).

Ln = Lamina neta (mm).

Nt = Necesidad Neta corregida (mm).

#### **j) Frecuencia de riego.**

Para calcular la frecuencia de riego se hizo una relación entre la lámina neta y la necesidad neta de la siguiente manera:

$$Fr = \frac{LARA}{Nt}$$

Dónde:

Fr = Frecuencia de riego, (días).

Ln = Lámina de agua rápidamente aprovechable, (mm).

NT = Necesidad total, (mm/día).

#### **k) Lámina de agua aprovechable.**

Para el cálculo de la lámina de agua aprovechable se utilizó la siguiente ecuación:

$$LAA = (CC - PMP) * Da * Prof.ef* 0.3$$

Dónde:

LAA= Lamina neta (mm).

CC= Capacidad de campo, en tanto por uno.

PMP= Punto de marchitez permanente, en tanto por uno.

Da= Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>).

Prof.efect= Profundidad efectiva de las raíces, 70% de la profundidad total en mm.

0.3= Factor de corrección de la lámina para riego por goteo.

**l) Lámina de agua rápidamente aprovechable.**

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$LARA = LAA * p$$

Dónde:

LARA= Lámina de agua rápidamente aprovechable, (mm).

LAA= Lámina de agua aprovechable, (mm).

p= Porcentaje de agotamiento permitido o umbral de riego.

**m) Caudal continuo (qc).**

$$qc = \frac{Etc}{Ef. sistema * 8.64}$$

Dónde:

qc= Caudal continuo (l/s/ha).

Ef. Sistema= Eficiencia del sistema de riego por goteo, 90%.

8.64= Constante adimensional.

Etc= Evapotranspiración del cultivo corregido, Nt.

**n) Caudal permanente (qp).**

$$qp = A * qc$$

Dónde:

qp= Caudal permanente en l /s.



A= Área de riego en ha.

qc= caudal continuo en l /s /ha.

**o) Caudal de diseño (Qdis).**

Para realizar el cálculo del caudal de diseño o caudal de bombeo, se empleó la siguiente ecuación:

$$Q_{dis} = \frac{Q_p}{F_o}$$

Dónde:

Qdis= Caudal de diseño; (l/s).

Qp= Caudal permanente para la superficie de riego; (l/s)

Fo= Factor de operación; (adimensional, forma decimal)

El factor de operación se lo obtiene se la siguiente manera:

$$F_o = \frac{C_r}{F_r} * \frac{N^{\circ} \text{ de horas de riego/día}}{N^{\circ} \text{ de horas del día}}$$

Dónde:

Fo= Factor de operación; (adimensional, forma decimal).

Cr= Ciclo de riego; (días).

Fr= Frecuencia de riego; (días).

Nº de horas de riego/día= Número de horas de riego por día.

Nº de horas del día= 24 horas.

**2.5.2. Metodología para el segundo objetivo:**

Evaluar el funcionamiento hidráulico del sistema de riego por goteo en el cultivo de café en base a los parámetros de uniformidad de aplicación de agua y definir la necesidad de rediseño del sistema.

El diseño hidráulico de un sistema de riego se evalúa a través de la medición de la uniformidad de aplicación de agua que corresponde a la calidad del riego en la parcela.

**3.5.2.1. Determinar las especificaciones técnicas de los accesorios instalados en campo (cintas, goteros, llaves de paso, cortadoras, tuberías), basándose en los catálogos de riego.**

Para llevar a cabo este procedimiento se obtuvo datos y especificaciones técnicas de los accesorios que intervienen en el riego por goteo instalado, dichos datos se los podrá encontrar en los catálogos de los productos de riego.

Una vez con las especificaciones de los accesorios según los catálogos, se realizó una inspección en campo de los componentes del sistema, desde tuberías, conectores de cabecera, válvulas, inyector de fertilizante, emisores, filtro etc.

Se comprobó que los goteros presentes en todo el sistema sean idénticos en marca, modelo, tipo y presión, principalmente en las conexiones a la toma o bocas de riego.

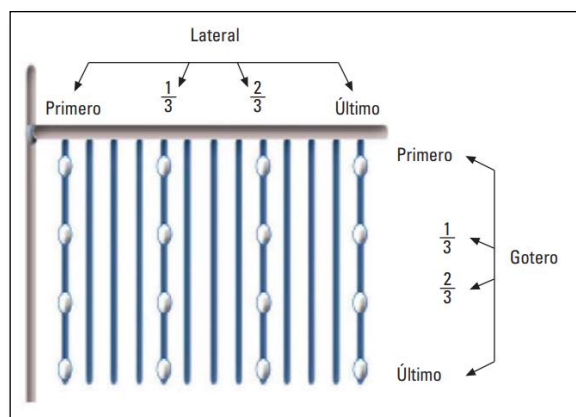
Se evidenció la existencia o no de elementos de medida y control de agua, la cantidad que existe de cada uno, su ubicación y su estado general: manómetros o toma manométrica, reguladores de presión, válvulas, etc.

Finalmente, con todos los datos recopilados en el campo se realizó una tabla donde se muestren las características y se evaluaron todos los componentes de riego, ésta consistió en valorar el estado en el que se encuentran cada uno de ellos actualmente.

**3.5.2.2. Determinar el coeficiente de uniformidad (CU) y la eficiencia o uniformidad de distribución (UD) de aplicación de agua.**

El área de total de riego se encuentra dividida en 4 subsistemas o subunidades, los cuales cuentan cada uno con una válvula que sirven para operar de manera independiente el riego en la parcela. Para la determinación de la uniformidad del sistema se procedió, a identificar las tuberías terciarias con sus laterales dispuestas en todo el sistema; seguidamente se eligió los laterales de los extremos y dos de la parte media ubicados en el primer y segundo tercio de

cada uno de los 4 sectores. Los emisores a evaluar en cada lateral se eligieron en los extremos y 2 a un tercio y dos tercios en la parte media como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 8.** Evaluación del coeficiente de uniformidad

Antes de iniciar con la evaluación se realizó una purga de los laterales, la cual consiste en soltar los extremos de los laterales y hacer fluir el agua por unos minutos de manera que ésta pueda fluir libremente por toda la tubería, con esto se logra limpiar las laterales.

Luego con un recipiente graduado, se midió el volumen que entregan cada uno de los emisores de los 4 subsistemas en un lapso de tiempo de 15 minutos.

#### a) **Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiensen.**

Con los datos obtenidos para la evaluación, se calcula la eficiencia de uniformidad mediante el siguiente procedimiento:

$$CU = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n * \bar{X}} \right) * 100$$

Dónde:

CU= Coeficiente de uniformidad (%).

$\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|$ = Sumatoria del valor absoluto de la desviación de las observaciones individuales (emisores evaluados) con respecto al promedio de caudales registrados.

$\bar{X}$ = Caudal promedio del total de datos registrados.

n= Número de emisores evaluados.

**b) Determinación de la eficiencia o uniformidad de distribución (UD).**

Se calculó mediante la siguiente formula:

$$UD = \frac{Q_{25\%}}{Q_m}$$

Dónde:

UD= Eficiencia de distribución, en decimal.

Q<sub>m</sub>= Caudal promedio de todas las lecturas (l/h).

Q<sub>25%</sub>= Caudal promedio del 25% de las lecturas más bajas (l/h).

**c) El coeficiente de variación de los goteros (UD).**

Se calculó mediante la siguiente formula:

$$Cv = \frac{Desv. est. Q}{\bar{X}}$$

Dónde:

Cv= Coeficiente de variación de los goteros, en decimal.

Desv.est.Q= desviación estándar de las lecturas (l/h).

$\bar{X}$ = caudal promedio del total de datos registrados.

**d) Definir la necesidad de rediseño el sistema hidráulico.**

Para determinar si el sistema de riego requiere de un rediseño se hizo una evaluación a nivel de toda la red hidráulica, donde se tomaron en cuenta las longitudes de cada tubería, el caudal que circula por cada una de ellas, el diámetro interno y el tipo de material con el que están construidas.

Una vez determinados estos datos se procedió a calcular los siguientes factores: Pérdida de carga en las tuberías y la velocidad del agua dentro de las tuberías.

### **3.5.3. Metodología para el tercer objetivo:**

Diseñar alternativas y recomendaciones para el funcionamiento y mantenimiento adecuado del sistema de riego.

En el estudio se maneja el concepto de que una alternativa significa tomar una decisión de cambiar una parte del sistema de riego como producto de la evaluación; mientras que, una recomendación consiste en una sugerencia de operación o mantenimiento para mejorar la eficiencia o alargar la vida útil de los componentes del sistema de riego. Para el cumplimiento de este objetivo se plantearon alternativas, así como recomendaciones tomando en cuenta los resultados de la evaluación agronómica e hidráulica.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Resultados para el primer objetivo

#### 4.1.1. Propiedades hidrofísicas del suelo.

El estudio de las propiedades hidrofísicas del suelo a dos diferentes profundidades se presentan en las siguientes tablas:

*Tabla 8. Textura y densidad aparente del suelo*

Textura del suelo y densidad aparente					
Profundidad (cm)	Análisis mecánico % TFS			Clasificación	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
	Arena	Limo	Arcilla		
0 - 15	32.72	35.28	32.00	Fo Ac	1.28
0 - 15					
20 - 30	30.72	33.28	36.00	Fo Ac	1.35
20 - 30					

La textura con un contenido de arena 32.72 %, limo 35.28 % y arcilla 32 %, corresponde a un suelo franco arcilloso (Fo Ac) no cambia con la profundidad y se mantiene con un contenido de arena 30.72%, limo 33.28% y arcilla 36%.

La densidad aparente de suelo para la primera capa es de 1.28 g/cm<sup>3</sup> y para la segunda es de 1.35 g/cm<sup>3</sup>, estos valores se encuentran en el rango óptimo de acuerdo a la USDA que señala que suelos con densidades menores a 1.40 g/cm<sup>3</sup> son adecuados para la agricultura; mientras que con valores superiores a dicho valor son suelos con problemas de manejo.

*Tabla 9. Propiedades Hidrofísicas del suelo de 0 a 15 y de 15 a 30 cm de profundidad*

Profundidad cm	Saturación (%)	CC 1/10 atm %	CC 1/3 atm %	PMP 15 atm %	Agua aprove chable AA	Capacida d de aireación CA	Volume n total de poros VTP	Volume n total de solidos VTS	Volumen físicament e inerte VFI
	pF 0	pF 2	pF 2.52	pF 4.2	%				
0 a 15	52.20	48.40	44.65	29.88	18.52	3.80	52.20	47.80	77.68
15 a 30	49.20	42.60	40.00	31.21	11.39	6.60	49.20	50.80	82.01

El porcentaje de saturación de agua se lo considera en un rango alto, este resultado de saturación se contrasta con lo que señala Valarezo et al, (1998), que los suelos de textura fina

tienden a tener mayor porcentaje de saturación y por lo tanto más porosidad que los suelos de textura gruesa.

Capacidad de campo: el  $\theta_v$  CC es de 48.4% para una tensión de humedad de 1/10 atm y 44.65% a una tensión de humedad de 1/3 atm, lo cual indica que el suelo posee una alta capacidad de almacenamiento de agua, condición muy favorable para el desarrollo de los cultivos (Hernández, 2015).

Punto de marchitez permanente: El  $\theta_v$  PMP es de 29.88%, valores que se clasifican como muy altos y corresponden a la cantidad de agua presente en el suelo cuando las plantas alcanzan su grado de marchitez permanente.

La capacidad de aireación (CA) tuvo un porcentaje del 3.80% que corresponde a un nivel muy bajo de aire presente en el suelo por lo que ocasiona una mala aireación en el suelo. Este resultado es deficiente y se puede corroborar con lo expuesto por Valarezo, et. al 1998, que señala que el suelo debe poseer una capacidad de aireación de 15 % para que los cultivos puedan desarrollarse. A su vez Hernández, 2015 señala que se considera que un suelo posee deficiencias de aireación cuando la capacidad de aireación es menor que un 10 % esta condición debido es debido el suelo es de textura fina, pero se la puede mejorar a través de la adición de materia orgánica.

El volumen de suelo físicamente inerte (VFI) es de 77.68% este volumen refiere al volumen de suelo más el volumen de microporos del suelo que retiene el agua higroscópica.

El porcentaje de agua aprovechable (AA) tuvo un valor de 19 % valor que se encuentran en un rango alto de agua disponible para las plantas.

El volumen de suelo físicamente inerte es de 77.68% este volumen refiere al volumen de suelo más el volumen de microporos del suelo que retiene el agua higroscópica.

De acuerdo a los resultados presentes en la (tabla 9) se procedió a determinar la curva de retención de humedad del suelo (figura 9).

#### 4.1.1.1. Curva de retención de humedad

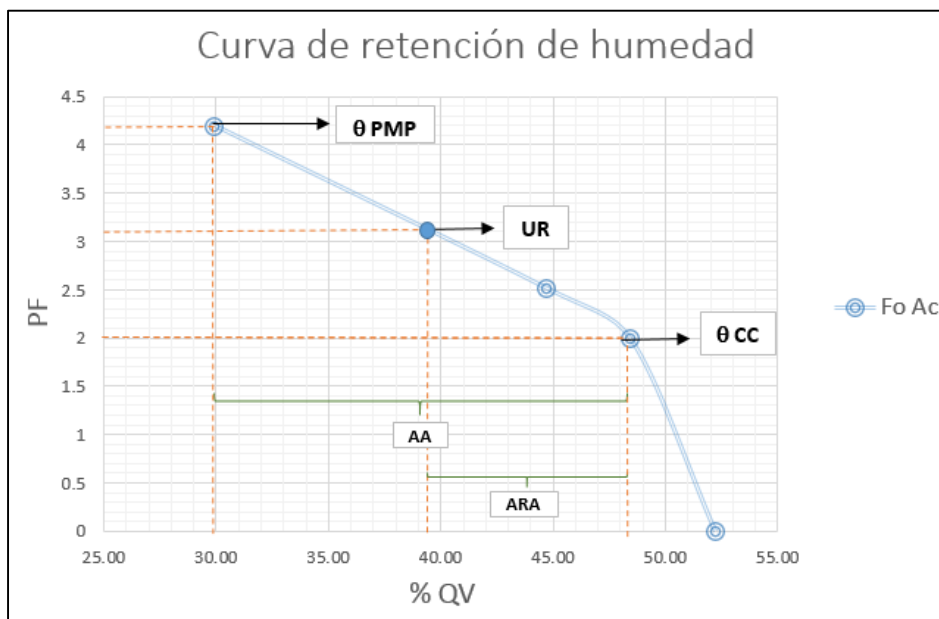


Figura 9. Curva de retención de agua

#### 4.1.2. Evaluación Agronómica

##### 4.1.2.1. Fuente de agua y medición de caudales.

La fuente de agua que abastece a la parcela de estudio se encuentra ubicada en la quebrada Potrerillos de la cual se deriva un caudal permanente, dejando un caudal ecológico. El caudal medido en la época de estiaje que llega desde la fuente de agua al reservorio corresponde a un valor de 0.16 l/s.

El agua se capta de la quebrada mediante una tubería de polietileno de 50 mm de diámetro y una longitud de 225 m hasta el reservorio diámetro la cual al inicio consta con un filtro de agua hecho con un galón de plástico el cual sirve para evitar la entrada de residuos o basuras a la tubería. El agua es transportada hacia un reservorio el cual la almacena para después poder extraer el caudal de diseño del sistema de riego (Anexo 1, lamina 4).

El reservorio consiste en una excavación sin revestir con una capacidad de almacenamiento de 360 m<sup>3</sup>, ubicado en una cota que garantiza la presión para el funcionamiento del sistema.



#### 4.1.2.2. Levantamiento topográfico de la superficie de riego.

En el mapa topográfico se puede apreciar a detalle la superficie de riego y la ubicación de los componentes de sistema de riego por goteo tales como reservorio, tuberías principales y secundarias, cabezal de riego y la disposición de las laterales, las cuales se encuentran a una separación de 2 m. La superficie de riego es de 1 ha. (Anexo 1).

#### 4.1.2.3. Velocidad de infiltración básica.

**Tabla 10.** Velocidad de infiltración Básica (cilindros infiltrómetros)

Textura	Velocidad de Infiltración Básica			VIB final (mm/h)	Clasificación
	Prueba 1 (mm/h)	Prueba 2 (mm/h)	Prueba 3 (mm/h)		
<b>Franco-arcilloso</b>	20.43	20.25	21.00	20.56	Media

En base a los resultados presentados en la (tabla 10) se puede observar que la velocidad de infiltración básica promedio de las 3 pruebas realizadas en el sitio de estudio es de 20.56 mm/h que según la clasificación dispuesta por la FAO (2001) se ubica en una velocidad media, que corresponde con la textura del suelo (tabla 8), esto se corrobora con lo que señala la FAO (2001) que dice que la velocidad de infiltración de un suelo se ve afectado según el tipo de textura de suelo donde los valores más altos se registran para suelos livianos(arenosos), mientras que los valores más bajos son para suelo pesados (arcillosos).

La (figura 10) muestra la curva de infiltración acumulada del suelo, cuya forma es:

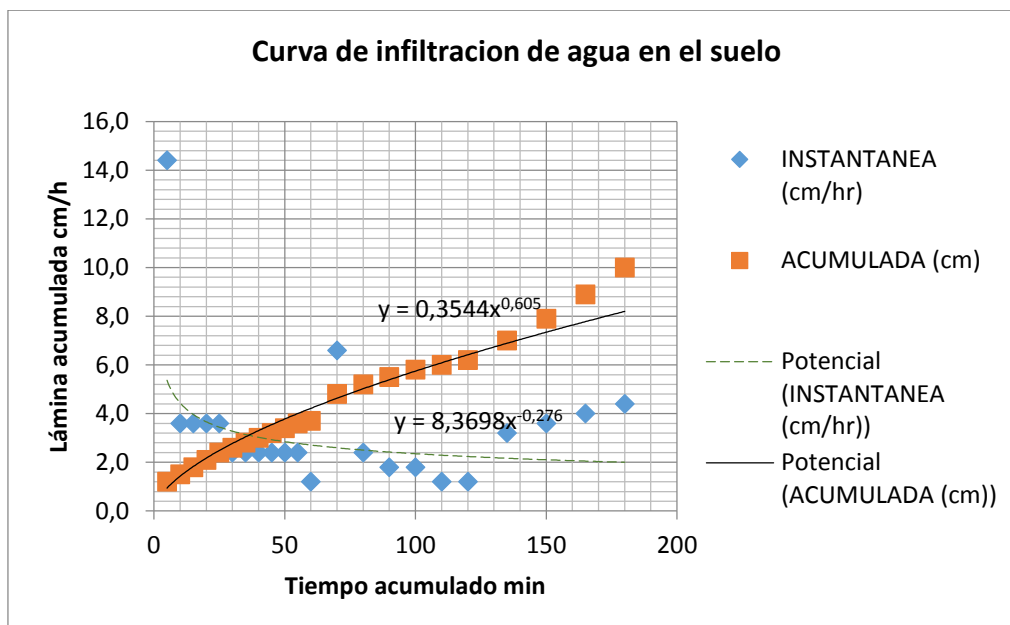
$$I_{cum} = 0.3544 T^{0.605}.$$

Donde la lámina acumulada,  $I_{cum}$  se expresa en centímetros; y, el tiempo  $T$  se expresa en minutos.

Esta fórmula sirve para determinar la velocidad de infiltración, cuya presentación es:

$$V_{inf} = 8.3698 T^{-0.276}.$$

Donde la velocidad de infiltración  $V_{inf}$ , se expresa en cm / h; y el tiempo  $T$  se expresa en minutos.



**Figura 10.** Curva de infiltración acumulada y velocidad de infiltración del agua en el suelo  
**4.1.2.4. Evapotranspiración de referencia (Eto).**

**Tabla 11.** Evapotranspiración Potencial según Penman – Monteith (Cropwat 8.0), de la estación meteorológica Nambacola (período 2001 – 2015).

Mes		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rad	<b>MJ/m2/día</b>	21.1	13.8	6.8	0.6	-3.9	-6	-5	-1.2	4.4	11.3	19.3	23.4
Eto	<b>mm/día</b>	4.34	2.62	0.84	0.57	0.80	1.20	1.80	1.79	1.85	2.52	4.05	4.83

La (tabla 11) presenta los resultados de la evapotranspiración mensual de referencia del lugar de estudio.

La evapotranspiración máxima según el software Cropwat se obtuvo en el mes de diciembre con un valor de 4.83 mm/día, mientras que la menor evapotranspiración se obtuvo en el mes de abril con un valor de 0.57 mm/día.

Según la FAO (1996) este método es aceptado a partir del año 1990 y es considerado el método más confiable debido a que reduce las imprecisiones debido a que para el cálculo, utiliza los cuatro meteoros que más inciden en la Eto, por lo que produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua del cultivo de referencia.

#### 4.1.2.5. Precipitación efectiva.

Tabla 12. Precipitación efectiva de la estación Nambacola periodo (2001-2015)

Parámetro	Meses del año											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días por mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Precipitación media mm/mes	74.81	174.46	213.08	133.71	49.55	10.47	7.38	4.12	3.45	32.44	44.88	65.08
Precipitación efectiva mm/mes	35.85	115.57	146.47	82.97	19.73	0.00	0.00	0.00	0.00	9.46	16.93	29.05
Precipitación efectiva mm/día	1.16	4.13	4.72	2.77	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.56	0.94

La (tabla 12) presenta los resultados correspondientes a las precipitaciones medias y precipitaciones efectivas tanto mensuales como diarias, calculadas en base a los datos de precipitaciones medias mensuales de la estación meteorológica de Nambacola haciendo uso de la ecuación sugerida por la FAO (1993):

$$Pe=0.6P - 10 \text{ para } P \leq 70 \text{ mm/período}$$

$$Pe = 0.8 P - 24 \text{ para } P >= 70 \text{ mm/período}$$

Es importante el cálculo de este parámetro debido a que la precipitación efectiva ayuda a definir esa fracción de la lluvia que estará realmente disponible para satisfacer al menos parte de las necesidades de agua de las plantas.

Las precipitaciones efectivas más altas del año se las evidenció en los meses de febrero con 4.13 mm/día, marzo con 4.72 mm/día, y abril con 2.77 mm/día, estos resultados se puede corroborar de acuerdo al plan de ordenamiento territorial de Nambacola (2015-2019), el cual nos indica que en estos meses es en donde se produce la mayor precipitación del año en temporada de invierno; mientras, que también se pueden apreciar los meses de verano con menor precipitaciones medias que van desde 3 mm hasta 10 mm mensuales correspondientes a los meses de junio, julio, agosto y septiembre dando como resultado final precipitaciones efectivas nulas.

#### 4.1.2.6. Coeficiente Kc del cultivo del cultivo.

**Tabla 13.** Kc de cultivo para café de 3 años de edad

Cultivo	Kc												Profundidad de las raíces cm
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Café	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	40

La (tabla 13) presenta los valores de Kc del cultivo y la profundidad de las raíces que de acuerdo a CENICAFÉ están establecidos tomando en cuenta el tiempo de vida del cultivo, en este caso el tiempo de vida del cafetal de estudio fue de 3 años, 4 meses.

CENICAFÉ (2010) establece que para cafetales de un año de vida el coeficiente Kc es de 0.8, para cafetales de 2 años es de 0.95 mientras que para cafetales de 3 años o más el Kc es de 1.05, con una profundidad de raíces de 40 cm.

#### 4.1.2.7. Evapotranspiración del cultivo de café (Etc).

**Tabla 14.** Demandas máximas de Etc e Índice de humedad

Meses	Etc del cultivo de café												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Pm (mm/mes)	74.81	174.46	213.08	133.71	49.55	10.47	7.38	4.12	3.45	32.44	44.88	65.08	813.44
Etc (mm/mes)	141.27	77.03	27.34	17.96	26.04	37.80	58.59	58.26	58.28	82.03	127.58	157.22	869.40
Etc (mm/día)	4.56	2.48	0.88	0.58	0.84	1.26	1.89	1.88	1.88	2.65	4.25	5.07	-----
Índice de humedad	0.56	2.38	8.18	7.82	2.00	0.29	0.13	0.07	0.06	0.42	0.36	0.43	-----

Debido a las condiciones climatológicas de la zona de estudio en los meses de marzo a septiembre se presentan los valores más bajos de Etc entre 0.88 y 1.88 mm/día respectivamente, mientras que, diciembre es el mes donde se presenta la mayor evapotranspiración del cultivo con un valor de 5.07 mm/día, este valor máximo de Etc sirve de base para dar inicio al diseño de cualquier tipo de sistema de riego tecnificado.

De acuerdo a los datos de precipitación media de la (tabla 14) de la estación Nambacola se pudo conocer que la precipitación media anual es de 813.14 mm, dicha precipitación mediante la aplicación del índice de humedad se pudo conocer que su distribución no es uniforme a lo largo de todo el año.

El índice de humedad hace una relación directa entre la precipitación media mensual y la evapotranspiración de referencia, este índice permitió determinar los meses de exceso de agua cuando los valores son superiores a 1 (febrero, marzo, abril y mayo) y los meses de déficit cuando los valores son inferiores a 1.

Los índices de humedad inferiores a 1 son valores que sirven para tomar en cuenta al momento de hacer planificaciones de riego debido a que si existe un déficit de agua quiere decir que el cultivo no tendrá el agua necesaria para poder cumplir con su desarrollo.

#### ***4.1.2.8. Necesidad neta, frecuencia de riego y láminas de agua.***

- **Necesidad neta:** la necesidad neta mayor de riego después de realizar las respectivas correcciones como son por localización, por clima por percolación y lavado tiene un valor de 2.44 mm/día.
- **Lámina de agua aprovechable (LAA).**

El agua aprovechable del suelo de la zona de estudio es de 19.91 mm parámetro muy importante a la hora de diseñar un sistema de riego.

Según Valarezo et al (1998), lo mejor para un suelo de uso agrícola y para lograr buenos resultados en un cultivo, es procurar que el agua o la lámina aprovechable no llegue a su valor mínimo conocido como punto de marchitez permanente, debido a que la extracción del agua por parte de las plantas no es suficiente para cubrir sus necesidades y empiezan a marchitarse y finalmente mueren.

- **Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).**

Según FAO (2001), sobre la lámina de agua rápidamente aprovechable afirma que para aplicar el próximo riego no debe permitirse un agotamiento total del agua disponible en el suelo, sino cierto porcentaje (p) el cual depende de la tolerancia del cultivo al estrés de humedad y del criterio de riego o punto óptimo de riego. El porcentaje de agotamiento

permitido o umbral de riego, para el cultivo de café es de 0.5 %; lo que determina el valor de la lámina de agua rápidamente aprovechable en un valor de 9.96 mm

- **Frecuencia de riego:**

El valor de la frecuencia de riego fue de 4 días, el cual se lo obtuvo de la división entre la lámina de agua rápidamente aprovechable y la necesidad neta máxima del cultivo.

- **Numero de goteros y tiempo de riego.**

El número de goteros de acuerdo al diseño de riego implementado fue de 2.5 goteros planta (Anexo 5), y un tiempo de riego de 2 h 36 min.

- **Numero de goteros y tiempo de riego sugeridos.**

De acuerdo a las normas de diseño de riego por goteo, los goteros deben cubrir o mojar el 30% del área de cada planta para poder anclarse al suelo y así evitar que por acción del viento estas sean tumbadas al suelo.

Por lo tanto para cubrir con ese porcentaje de área se necesitan 4 goteros por planta a una separación de 0.25m y un tiempo de riego ajustado para esa cantidad de goteros de 3 horas cada 6 días, o 1.5 horas cada 3 días (Anexo 5).

- **Caudal continuo (qc)**

El caudal continuo es de 0.31 l/s/ha, dicho caudal se obtiene al dividir la Etc máx en mm/día para la eficiencia de aplicación del sistema en este caso 0.9 para riego por goteo, y para un coeficiente de transformación de 8.64.

- **Caudal permanente.**

El caudal permanente no es más que el caudal que se requiere para cualquier superficie de riego. La superficie de riego es de una hectárea, por lo tanto, el caudal permanente también equivale a 0.31 l/s.

El caudal disponible es de 0.16 l/s, lo quiere decir que solamente se debería regar 0.5 ha. Sin embargo, el cultivo presenta buenas condiciones físicas (turgencia), lo que permite

deducir, que posiblemente, el valor de  $K_c$ , es menor que el utilizado en el cálculo de los requerimientos hídricos del café. El valor utilizado en el cálculo, puede ser para un cultivo que no se encuentra protegido por la sombra de árboles, por lo que el efecto sombra reduciría a la mitad la evapotranspiración del cultivo.

La reducción del  $K_c$  en un cultivo bajo sombra posiblemente se debería a una menor actividad fotosintética, o reducción de la apertura de los estomas de las hojas debido a una mayor sombra de los árboles, esto se puede corroborar con lo expuesto por Chamba (2018), quien señala que a mayor sombra sobre el cultivo de café, el índice estomático disminuyó de forma significativa lo que provocó una minoración de la pérdida de agua por transpiración, favoreciendo la regulación del sistema suelo-planta-atmosfera.

- **Superficie de riego.**

La superficie de riego se la obtuvo al hacer una relación entre el caudal disponible con el caudal continuo determinándose un valor de 0.5 ha.

Por lo tanto, el caudal disponible en el lugar de estudio no es suficiente para regar el área dispuesta por el sistema riego instalado el cual es 1 ha. Habría que analizar el comportamiento del cultivo, cuando se le dota de los requerimientos hídricos según el cálculo, considerando un  $K_c$  de 1.05 y determinar si el rendimiento aumenta significativamente.

- **Caudal de diseño ( $Q_{dis}$ )**

El caudal de diseño dispuesto para un ciclo de riego de 1 día y una frecuencia de riego de 6 días es de 1.92 l/s, requiriendo así un volumen de almacenamiento en el reservorio de 76 m<sup>3</sup> para cada riego.

#### **4.2. Resultados para el segundo objetivo**

Los resultados de la evaluación hidráulica del sistema de riego para su presentación se dividieron en dos fases:

Determinación de las especificaciones técnicas de los accesorios de riego; y,

Determinación del coeficiente de uniformidad y coeficiente de distribución.

Los resultados obtenidos en las dos fases anteriores sirvieron para determinar los criterios de rediseño del sistema de riego.

#### 4.2.1. Determinación de las especificaciones técnicas de los accesorios de riego.

*Tabla 15. Especificaciones técnicas de las tuberías y válvulas de riego*

Descripción de la tubería	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interno (mm)	Espesor nominal (mm)	Tipo de material	Presión de trabajo		
					MPa	PSI	Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Tubería de conducción</b>	63	59.2	3.8	Pe	0.5	72.5	5.0
Tubería principal y secundaria	50	46.8	1.6	PVC	0.8	116	8.16
<b>Tuberías terciarias</b>	40	36	2	PVC	1.25	181	12.75
<b>Lateral de riego</b>	12.56	11.8	0.38	Pe	0.35	50.76	3.57
<b>Válvula principal</b>	50	40	10	PVC	1.0	145.0	10.19
<b>Válvulas de campo</b>	50	40	10	PVC	1.0	145.0	10.19

*Tabla 16. Equipo de filtrado (accesorio)*

Accesorio	Caudal de filtrado	Volumen del filtro	Diámetro de conexión	Presión de trabajo	Temperatura máx.
<b>Filtro de agua</b>	12 m <sup>3</sup> /h	592 cm <sup>3</sup>	50mm	1 Mpa	70°C

La (tabla 15) nos indica las especificaciones técnicas de los accesorios instalados en el sistema de riego por goteo, dicha tabla se la pudo realizar mediante la comparación de los accesorios instalados en el sistema con los accesorios de los catálogos en la red de internet, dando como resultado que para la captación de agua desde la fuente de agua al reservorio y del reservorio al cabezal de riego se utilizó una tubería de polietileno de 63 mm con un diámetro interno de 59.2 mm mm y una presión de trabajo de 0.5 Mpa; la tubería principal salida desde el cabezal de riego del sistema es una tubería de PVC de 50 mm, con un diámetro interno de 46.8 mm y una presión de 0.8 Mpa; las tuberías secundarias y terciarias que abastece a las laterales de riego son tuberías de PVC de 40mm con un diámetro interno de 36 mm y una presión de 1.25 Mpa.



Las laterales de riego son de polietileno de 12.56 mm de diámetro nominal, 11.8 mm de diámetro interno y una presión de trabajo de 0.25 Mpa o 2.5 bares en esta tubería es donde se encuentran los goteros de tipo autocompensados con un espaciamiento de 0.4m y una presión de trabajo de 0.35 Mpa o 3.5 bares (Anexo 6).

Las válvulas de corte son de tipo bola y están determinadas para abrir y cerrar el paso del agua desde el cabezal de riego a las subunidades y de las subunidades a las laterales de riego para dar un mejor manejo al sistema, tienen un diámetro de 50mm y una presión de trabajo de 1 Mpa; La operación de dichas válvulas es de forma manual.

La (tabla 16) a su vez muestra las especificaciones técnicas del filtro de agua utilizado en el cabezal de riego para evitar que entren las impurezas al sistema y puedan causar taponamientos en los goteros, dicho filtro es de material PVC de 120 mesh con la capacidad de filtrar hasta 12 m<sup>3</sup>/h.

#### 4.2.2. Evaluación física de los componentes de instalación

Tabla 17. Evaluación física de los componentes de riego.

Componentes de riego	Características	Estado general			Observaciones
		Bueno	Regular	Malo	
<b>Fuente de agua</b>					La fuente de agua cuenta con un filtro improvisado por el agricultor con la finalidad de que el agua que llegue al reservorio sea lo más pura posible, el reservorio por su lado se encuentra descubierto con exposición directa al sol.
Estado que se encuentra	Muros de suelo natural	X			
Calidad de agua	Buena	X			
<b>Reservorio</b>					La válvula principal se opera de forma manual.
Impermeabilizado	Suelo natural	X			
Estado que se encuentra	Dimensiones m Ancho: 12 m Largo: 15 m Profundidad: 2 m	X			
<b>Cabezal de riego principal</b>					Existe el equipo de fertilización pero no se encuentra en funcionamiento.
Válvula principal	PVC 50 mm	x			
Filtro de agua	Filtro de anillas Netafim 50mm	x			
<b>Equipo de Fertilización</b>					El equipo funciona con apertura de válvulas manuales independientes, desde los cabezales de campo para cada subunidad.
Depósito de fertilización	Tanque de plástico 200 Litros	x			
Venturi	PVC 2"	x			
<b>Cabezales de campo</b>					Se observó suciedad y roturas en varios laterales de riego y un número mínimo de goteros tapados por presencia de lodo.
Válvula manual 1	PVC 50 mm	x			
Válvula manual 2	PVC 50 mm	x			
Válvula manual 3	PVC 50 mm	x			
Válvula manual 4	PVC 50 mm	x			
Hidrante	PVC 50 mm	x			Se observó suciedad y roturas en varios laterales de riego y un número mínimo de goteros tapados por presencia de lodo.
<b>Red hidráulica</b>					
Tubería de conducción	Pe 63 mm				
Tubería principal y secundaria	PVC 50 mm	x			
Tuberías terciarias	PVC 40 mm	x			
Estado de las laterales	Netafim Dripnet PC		x		Se observó suciedad y roturas en varios laterales de riego y un número mínimo de goteros tapados por presencia de lodo.
Estado de los goteros	Netafim Dripnet PC		x		

La (tabla 17), presenta los resultados de la evaluación física del funcionamiento y del estado actual de los componentes de riego instalados, donde se refleja la situación en la que se encuentra el sistema en la actualidad; varios de dichos componentes se encontraron en

perfectas condiciones como: tuberías, válvulas, reservorio, cabezales de riego y filtro. Sin embargo, se pudo apreciar algunas falencias en otros componentes, como es el caso de la captación de agua desde fuente natural en la cual se evidenció una falta de mantenimiento y limpieza lo cual a futuro podría contraer problemas al sistema por presencia de basuras que puedan obstruir el paso del agua por la tubería y una falta de infraestructura para la captación del agua.

Se pudo apreciar que varios laterales de riego presentaron fugas provocados por cortes en la tubería, este es un problema de mucha consideración ya que provoca una disminución de la presión de trabajo y por consecuencia una disminución del caudal aplicado provocando que el riego no sea uniforme y varias plantas del cultivo no reciban el agua requerida, por otro lado estas fugas de agua provocan encharcamientos en puntos fijos de la parcela.

La exposición directa del reservorio al sol hace que diariamente el agua se pierda por acción de la evaporación, tomando en cuenta que el reservorio cuenta con las siguientes dimensiones: 12 m de largo por 15 m de ancho y la superficie del espejo de agua del reservorio es de 180 m<sup>2</sup>.

#### **4.2.3. Evaluación Hidráulica del sistema de riego.**

##### ***4.2.3.1. Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU).***

De acuerdo a la evaluación del coeficiente de uniformidad de Christiansen realizada para cada uno de las cuatro subunidades de riego (Anexo 6) presentó los siguientes resultados:

***Tabla 18. Coeficiente de uniformidad por subunidad de riego.***

Subunidad	CU %	CV
<b>1</b>	89	0.15
<b>2</b>	83	0.20
<b>3</b>	88	0.16
<b>4</b>	83	0.20
Promedio	<b>85.75</b>	<b>0.18</b>

El coeficiente de uniformidad promedio del sistema es de 85.75%, esto lo ubica en una clasificación de buena con un rango de 80%- 90%, esto quiere decir que se está distribuyendo el agua de buena manera sobre la parcela debido a que el sistema de riego cuenta con emisores de riego de tipo autocompensado lo que se corrobora con la ficha técnica de los goteros en la cual según Netafim sus productos garantizan altos niveles de uniformidad alcanzando el 90% o en algunos casos superando dicho límite.

El coeficiente de variación de fabricación de los goteros del sistema de riego promedio es de 0.18 lo cual lo ubica como gotero de categoría B (emisores de baja uniformidad), por lo tanto, se puede afirmar que el coeficiente de variación de los goteros está influyendo para que la uniformidad de riego no alcance valores mayores al 90%.

Según Pizarro (1996), el coeficiente de uniformidad tiene una relación directa con el coeficiente de variación de fabricación debido a que, coeficientes de variación superiores al 0.05 disminuyen la uniformidad de riego.

#### **4.2.3.2. Eficiencia o uniformidad de distribución (UD)**

La Uniformidad de distribución se refiere a la evaluación del 25% del área que está con el riego más bajo (sub-irrigada), la cual se utiliza para ajustar la lámina de riego al 100% eliminando la posibilidad de que existan áreas con estrés hídrico. Para el estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 19.** Uniformidad de distribución por subunidad de riego.

Subunidad	(UD) %
1	<b>87</b>
2	<b>76</b>
3	<b>86</b>
4	<b>77</b>
Promedio	<b>81</b>

La (tabla 19) muestra los resultados de las diferentes uniformidades de distribución que se obtuvieron de las 4 subunidades de riego dando como promedio una uniformidad de

distribución de 81%, por lo que se clasifica como bueno según la clasificación dispuesta por Merriam y Keller 1976 citado por Vargas (2008).

Sin embargo, en los resultados obtenidos por cada una de las 4 subunidades se puede apreciar que las subunidades 2 y 4 presentan una uniformidad de distribución de 76 y 77% respectivamente la cual se clasifica como regular, lo que quiere decir que el agua de riego en estas 2 subunidades no se está repartiendo de manera uniforme en los caudales más bajos por lo que podría presentar variaciones en el desarrollo del cultivo.

#### ***4.2.3.3. Evaluación de la red de distribución.***

La evaluación de la red de distribución del sistema de riego consistió en determinar las pérdidas de carga por cada tubería, así mismo como determinar cuál es la velocidad a la que el agua se encuentra en circulación. Con esta evaluación se logró conocer cuál es la pérdida de carga máxima por fricción en las tuberías de todo el sistema. A su vez se realizó el perfil longitudinal de la red hidráulica de riego desde la fuente de agua hasta la superficie de riego con el fin de determinar si el sistema fue diseñado con base a la topografía del terreno (anexo 1).

#### ***4.2.3.4. Tubería de conducción***

La tubería de conducción desde la captación es de polietileno, con una longitud de 225 m, diámetro interno de 46.8 mm; a través de esta tubería circula un caudal de 0.16 l/s resultando una pérdida de carga  $h_f$  de 0.06 m y una velocidad de 0.88 m/s mientras que la tubería de conducción desde el reservorio a la superficie de riego es de polietileno, con una longitud de 120 m, diámetro interno de 59.2 mm; a través de esta tubería circula un caudal de 2 l/s resultando una pérdida de carga  $h_f$  de 1.14 m y una velocidad de 0.72 m/s (Anexo 1, lamina 4) lo que según el criterio de diseño señala que la velocidad del agua dentro de una tubería debe ser de 0.5 a 2.5m/s por lo tanto están dentro del rango normal (Anexo 8).

#### **4.2.3.5. Tubería principal.**

La tubería principal es de PVC, con una longitud de 35 m, diámetro interno de 46.8mm, al igual que la tubería de conducción circula un caudal de 2 l/s resultando una pérdida de carga de 1.04 m y una velocidad de 1.16 m/s por lo tanto están dentro del rango normal (Anexo 8).

#### **4.2.3.6. Tubería Secundaria.**

La tubería secundaria es de PVC, con una longitud de 1 m, diámetro interno de 46.8mm por la cual circula un caudal de 2 l/s resultando una pérdida de carga de 1.31 m y una velocidad de 1.96 m/s por lo tanto están dentro del rango normal (Anexo 8).

#### **4.2.3.7. Tubería Terciaria.**

La tubería terciaria es de PVC, con una longitud de 33 m, diámetro interno de 36mm; de acuerdo a la longitud de los laterales, al número de laterales y al número de goteros por lateral se determinó un caudal de 2 l/s resultando una pérdida de carga de 1.31 m y una velocidad de 1.96 m/s por lo tanto están dentro del rango normal (Anexo 8).

#### **4.2.3.8. Laterales de riego y goteros**

Las laterales de riego instaladas en el sistema son de la marca Netafim (Anexo 6) según las especificaciones técnicas de la tubería posee un diámetro interno de 12.56 mm, con un espaciamiento de 0.4m entre goteros; según las características de esta tubería la longitud permisible máximas con un caudal de 2 l/s es de 84m mientras que la longitud máxima de la tubería en el sistema es de 64 m por lo tanto se acepta este tipo de lateral de riego.

Por último, se pudo conocer si el sistema de riego está bien hidráulicamente haciendo una comparación entre las pérdidas de carga a lo largo de toda la tubería, partiendo desde el reservorio hasta la superficie de riego, frente a la pérdida de carga máxima que se puede permitir de acuerdo al desnivel que se tuvo entre el reservorio y la superficie de riego. Dicho desnivel según la diferencia de cotas es de 25.72 m (Anexo1), y a lo largo de toda la tubería tenemos una pérdida de carga de 3.4 m, por lo tanto, se garantiza la presión requerida para

que el sistema funcione correctamente debido a que se tiene 22.37 m de presión en la superficie de riego.

### **4.3. Resultados para el tercer objetivo.**

Diseñar alternativas y recomendaciones para el funcionamiento y mantenimiento adecuado del sistema del sistema de riego.

#### **4.3.1. Antecedentes.**

Las siguiente alternativa y recomendaciones de funcionamiento y mantenimiento adecuado del sistema de riego forman parte del documento final del proyecto de titulación denominado: “EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO TÉCNICO DE LA EFICIENCIA DE RIEGO PRESURIZADO EN EL CULTIVO DE CAFÉ EN EL SECTOR POTRERILLOS, CANTÓN GONZANAMÁ”.

Estas recomendaciones de funcionamiento y mantenimiento del sistema de riego se originaron mediante la evaluación agronómica e hidráulica de la situación actual del sistema de riego por goteo en el cultivo de café en el sector Potrerillos, La finca pertenece al señor José Jiménez, en la que se determinó que no hay la necesidad de realizar el rediseño hidráulico de la red de riego en general, y únicamente algunos ajustes en las laterales de riego.

Los aspectos que se evaluaron fueron la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, recurso agua disponible y la uniformidad de riego en la parcela a través del coeficiente de uniformidad de riego y el de uniformidad de distribución.

El coeficiente de uniformidad del riego a través del sistema establecido, resultó ser aceptable dentro de los términos técnicos debido a que determino un valor de 85.75%, valor que para calificarlo como excelente debería ser de 90 %, pero se pudo explicar esta reducción del valor del coeficiente por la acción del coeficiente de variación de los goteros los cuales se encuentran en categoría B y tienen cierta influencia en la disminución del coeficiente de uniformidad.

Las siguientes recomendaciones para mejorar la operación del sistema, consideran la situación actual del mismo, en la que se hace necesario realizar algunas modificaciones y luego, de haber realizado los mencionados cambios, definir las actividades para un buen mantenimiento.

En el presente manual se describe la operación de la estructura básica del sistema de riego por goteo; así, como instrucciones, recomendaciones y procedimientos de mantenimiento para que el propietario organice las actividades con el propósito de asegurar un eficiente funcionamiento del sistema de riego y una prolongada vida útil de todos los elementos que lo componen.

Las presentes recomendaciones de uso y manejo son un documento que servirá de pauta para que el productor pueda dar buen uso del sistema y manejar el cultivo de acuerdo a sus requerimientos.

#### **4.3.2. Recomendaciones para mejorar la calidad de riego.**

- **Superficie de riego**

Partiendo de la evaluación agronómica se pone en consideración que con el caudal disponible no es posible regar con mayor eficiencia toda la superficie de riego.

- **Red hidráulica.**

De acuerdo al diseño hidráulico del sistema se definió que no es necesario realizar un rediseño del mismo debido a que el diseño está bajo los parámetros aceptados, por lo tanto solo se hace énfasis en realizar un cambio en las laterales de riego en cuanto tiene que ver el número de goteros por planta.

- **Laterales de goteo.**

Las laterales de riego cuentan con goteros autocompensados Dripnet Pc 12/40 de 3 l/h con un espaciamiento de 0.4m, por lo tanto, para que exista una mayor eficiencia se recomienda que se cambien el espaciamiento entre goteros, de 0.4 a 0.25m, de esta manera existirá el



traslape necesario entre goteros y cubrirán la superficie mínima necesaria que es del 30 % de la superficie por planta.

- **Cabezal de campo o de control.**

En el cabezal de control se recomienda colocar una válvula de aire para regular la entrada y salida de aire a la red hidráulica. Ingrese aire cuando se cierra la válvula y los goteros continúan emitiendo agua, aliviándose la subpresión; y, permitiendo la salida de aire cuando la tubería se llene cuando se va a iniciar el riego. A su vez también se sugiere que se instale aparatos de medida y control antes y después del filtro de agua (manómetro y grifo) para su mejor mantenimiento.

- **Equipo de filtrado.**

El filtro instalado en el sistema actual es de una capacidad de filtración de 12 m<sup>3</sup>/h que solo permite regar 1 subunidad de riego, por lo que debe ser cambiado por otro que filtre 25 m<sup>3</sup>/h y 120 mesh de grado de filtrado de 2 pulgadas; con este nuevo filtro, se podrán regar 2 subunidades simultáneamente, lo que implica, un ahorro de tiempo a la hora del riego.

- **Inyector de fertilizante.**

Para optimizar el sistema de riego y lograr una fertilización en agua se propone instalar en derivación (by pass) un inyector tipo Venturi MAZZEI, Modelo 584 (3 / 4 “) con una presión de entrada de 10 PSI (0.7 atm) y una presión de salida de 5 PSI (0.5 atm). En estas características de funcionamiento, circulará 0.18 l/s por el inyector y tendrá una capacidad de succión de 34 l/h. Antes del inyector, se instalará una válvula, para aislar el inyector de fertilizante cuando no se aplique la fertirrigación.

- **Mantenimiento.**

Mantenimiento de un sistema de riego se considera a todas las actividades a realizar tanto para preservar la vida útil de los accesorios como para prevenir daños o desastres en el mismo.

#### ***4.3.2.1. El mantenimiento del sistema de riego:***

- **Lavado del sistema.**

Realizar esta actividad procurando que no esté colocado el cartucho del filtro, ni los tapones al final de los laterales de riego; seguidamente se abrirá una llave de bola a la vez de cada subsistema de riego, dejando que el agua circule por las salidas, a este procedimiento se lo conoce como purga.

- **Instalación del filtro y tapones al final de los laterales.**

Una vez lavado el sistema, se procede a colocar el cartucho de filtrado y a las cintas de goteo se las colocara de manera que queden sobre el terreno con los goteros hacia arriba y al final de las cintas, se le hará un dobléz y se le calzara un anillo de polietileno de media pulgada de diámetro, de manera que funcione como tapón final.

- **Aplicación del riego.**

Una vez instaladas las cintas de goteo se puede programar el riego, procediendo, para ello, a abrir la válvula general del cabezal de riego y luego la válvula de cada uno de los subsistemas de riego, para regar un sector de acuerdo a la frecuencia de riego que es de 6 días y al terminar se cierra esta válvula y se abre otra válvula para regar otro sector. Es preferible regar por sectores para tener una mejor presión de riego y el goteo sea uniforme.

- **Lavado del filtro durante el riego.**

El lavado del filtro se realizará cada vez que se aprecie una baja de presión, lo cual se nota en las cintas de goteo, que se van aplanando y el agua ya no llega al final de la cinta. Esto nos indica que el filtro está sucio y requiere limpieza.

- **Tiempo de riego.**

El tiempo de riego diario o ínter diario depende de la evapotranspiración Potencial y del tamaño del cultivo, una práctica recomendada será un riego cada 6 días por un período de 3 h o cualquier combinación que del mismo resultado; por ejemplo ½ h cada día.

#### *4.3.2.2. Mantenimiento preventivo:*

- **Filtro de agua.**

Una vez por mes es recomendable, dejar remojando el cartucho filtrante en un balde con agua y cloro disuelto y una vez al año con ácido muriático para eliminar las incrustaciones cálcicas en los anillos.

- **Emisores o goteros.**

El taponamiento de los emisores es una amenaza constante que violenta contra el buen rendimiento del equipo, es por ello que se necesita realizar un lavado frecuente de las cintas, para evitar el taponamiento de emisores.

Este lavado consiste en retirar el tapón final de las cintas, dejando que fluya el agua por intervalo de 5 minutos. Esta operación es recomendable que se realice mensualmente.

- **Cintas de goteo**

Si por algún motivo la cinta se rompiese o tuviese un pequeño agujero, se recomienda repararlo lo más pronto posible con cinta aislante, de lo contrario se afectará la uniformidad de riego del sistema.

Se recomienda levantar las cintas de goteo en forma cuidadosa para realizar labores culturales como poda o control de malezas.

- **Cabezal y tuberías**

Se deberá pintar toda la tubería de PVC que se encuentre expuesta a la luz solar con esmalte blanco y enterrar la tubería de conducción de agua para evitar daños por animales o desastres naturales y así prolongar su vida útil.

- **Reservorio**

Tapar el reservorio que se encuentra con exposición directa a la luz solar para evitar que el agua se pierda por evaporación y ahorrar grandes cantidades de agua en los meses de mayor Eto.

**4.3.2.3. Costos estimados del diseño e implementación del sistema de riego por goteo del presente estudio.**

<b>RUBRO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>TOTAL</b>
Conectores Pe mixtos 12mm	64	U	0.28	17.92
Empaques	64	U	0.22	14.08
Gotero DRIPNET PC 12 30/40	4	Rollo	384.00	1536.00
Tubería PVC 40 mm, 181 PSI	22	U	7.60	167.2
Tubería PVC 50 mm, 116 PSI	6	U	8.68	52.08
Tubería Pe 63mm 72.5 PSI	105	m	1.59	174.90
Filtro 50mm anillas, 120 mesh	1	U	26.00	26.00
Venturi, modelo 584 3/4"	1	U	55.00	55.00
Adaptador mixto hembra s/r 50mm	1	U	1.80	1.80
Adaptador mixto hembra s/r 50mm	1	U	1.80	180
Manómetro 80 psi	2	U	16.00	32.00
Terminal roscable 40mm	8	U	0.45	0.90
Cruceta PVC 50 mm	1	U	0.60	0.60
Válvula de bola 50mm"	5	U	4.50	18.00
Codo PVC 90°, 50 mm	4	U	1.20	4.80
Reducción PVC 63mm*50mm	2	U	0.62	1.24
Tee 50mm*40mm	4	U	2.08	8.32
Poli pega 500 cc	1	U	4.20	4.20
Tapón PVC soldable 40 mm	4	U	0.40	1.60
Teflón	4	U	1.00	4.00
Desbroce y limpieza	1	Ha	85.00	85.00
Replanteo y nivelación	0.5	Km	430.00	215.00
Excavación sin clasificar a mano	25	m3	10.20	255.00
Diseño y asistencia técnica	1		760.01	760.01
<b>TOTAL</b>				<b>3615.45</b>

## 5. Conclusiones

El caudal disponible captado de la fuente de agua de 0.16 l/s, es insuficiente en función de los cálculos para regar la superficie del cultivo de 1 ha.

El diseño agronómico determinó una frecuencia de riego de 4 días y un tiempo de 2h 36min para compensar una lámina de riego de 9.96 mm, en el presente estudio se propone en base al caudal disponible aplicar el riego con una frecuencia de 6 días por un tiempo de 3 horas, debiendo anotarse que existirá un déficit de 4.68 mm de lámina calculada por reponer.

El efecto de la sombra sobre el cultivo de café provocaría que los estomas de las hojas se cierren y por lo tanto habrá menor tasa de transpiración del cultivo, por consecuencia se deduce que esto provoca una reducción de la evapotranspiración del cultivo, lo cual es aseverado también en el estudio realizado por (Chamba, 2018).

El coeficiente de uniformidad CU es de 85.75%, mientras que la UD es de 81% ambos valorados como bueno, lo que determina que el diseño hidráulico del sistema es bueno, sin embargo, se pueden elevar dichos coeficientes si se aplican las modificaciones que se plantean en el tercer objetivo del presente estudio.

## 6. Recomendaciones

Realizar un estudio sobre la variación del coeficiente del cultivo  $K_c$  y la evapotranspiración del cultivo de referencia  $E_{to}$  por efecto de la sombra en el cultivo de café.

Profundizar los estudios de evaluación de la distribución del agua en el suelo, determinando el comportamiento del bulbo húmedo en los suelos de Potrerillos.

## 7. Bibliografía

Armoni, S. (2001). El riego por goteo. Conceptos sistemas y características .Israel.

ANACAFE (ASOCIACIÓN NACIONAL DEL CAFÉ) (2011). Los subproductos del café y su respuesta al riego por goteo. Recuperado de: [www.anacafe.org/](http://www.anacafe.org/)

Arteaga, R. Ángeles, V y Vázquez, M. (2011). Programa Cropwat para planeación y manejo del recurso hídrico. Estado de México. Recuperado de: <file:///C:/Users/cliente/Downloads/Dialnet-ProgramaCropwatParaPlaneacionYManejoDelRecursoHidr-4181854.pdf>

Cisneros, A. (2003). Apuntes de la materia de Riego y Drenaje. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Cisneros, E. Zayas, I. Rey, R. García, I. Martínez, R. Vaona, I. Robaina, I. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.

Centro nacional de investigaciones de café (Cenicafé). (2010). El café de Colombia: el árbol y el entorno. Colombia. Recuperado de: [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/el\\_cafe/el\\_arbol\\_y\\_el\\_entorno/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/)

Consejo Cafetalero Nacional (2012). El Clima en las zonas de producción de café arábigo del Ecuador. (En línea). EC. Recuperado de: <http://www.cofenac.org/>

Consejo Nacional de Recursos Hídricos (2008). Gestión de los recursos hídricos del Ecuador: políticas y estrategias. Informe Ejecutivo. Quito, Ecuador.

Chamba, E. (2018). Efecto de cuatro niveles de sombra en el desarrollo vegetativo del cafeto (*Coffea arabica* L.) en sistemas agroforestales de la Hacienda Cristal del cantón Loja (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja – Ecuador.

Ding, R. Kang, S. Zhang, Y. Hao, X. Tong, L. y Du, T. (2013). Partitioning evapotranspiration into soil evaporation and transpiration using a modified dual crop coefficient model in irrigated maize field with ground-mulching. *Agricultural Water Management*, 127, 85–96. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.05.018>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (1993). CROPWAT. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudio Riego y Drenaje N° 46. Roma

FAO. (2015). Los suelos en el ciclo del agua. Roma, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/326296/>.

FAO. (s.f). Riego y Drenaje. Las necesidades de agua en los cultivos, Vía dalle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

FAO. (2001). Manual de riego parcelario: Diseño de métodos de riego. Santiago, Chile, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Recuperado de: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/recreat/pdf/MR\\_indice.PDF](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recreat/pdf/MR_indice.PDF)

FAO. (2009). Permeabilidad del suelo; Guías para la determinación de los requerimientos de agua. Disponible en URL: [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_training/FAO\\_training/general/x6706s/x6706s09.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm)

Fernández, R. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 4. Riego localizado: manual y ejercicios. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.

Fuentes, J. (4 ed). (2004). Técnicas de Riego. Madrid, España: Mundi-prensa Madrid.

Gallegos, C. (2016). Diseño e implementación de un sistema de riego presurizado para pastos en la finca Landapo de la parroquia Lauro Guerrero, cantón Paltas, provincia de Loja (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja – Ecuador.

Gobierno Autónomo Descentralizado de Gonzanamá (2018). Ubicación geográfica. Ecuador: GAD Gonzanamá. Recuperado de <https://gonzanama.gob.ec/index.php/gonzanama/ubicacion-geografica>.

Gonzales, R. (2011). Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric). La Habana, Cuba. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542011000100007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000100007).

INIATierra adentro. (2010). Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano. Región de O'Higgins, Chile. Recuperado de [http:// biblioteca.inia.cl/ medios/biblioteca/ta/ NR36672.pdf](http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR36672.pdf).

Instituto del Café de Costa Rica. (1ª ed.).(2011). Guía Técnica para el Cultivo del Café. Costa Rica: ICAFE-CICAFE Recuperado de <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>

Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región andina de Colombia; cenicafé. Colombia. Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc057%2804%29288-298.pdf>

Lozano, D. Gavilán, P. y Ruiz, N. (2014). Evaluación en campo de cintas de riego por goteo de diferente caudal en un cultivo de fresa. Madrid, España: editorial Agrícola Española. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/275960524\\_Evaluacion\\_en\\_campo\\_de\\_cintas\\_de\\_riego\\_por\\_goteo\\_de\\_diferente\\_caudal\\_en\\_un\\_cultivo\\_de\\_fresa\\_Agricultura](https://www.researchgate.net/publication/275960524_Evaluacion_en_campo_de_cintas_de_riego_por_goteo_de_diferente_caudal_en_un_cultivo_de_fresa_Agricultura)

Maldonado, R. (2012). Texto Guía de Riego por Gravedad o Superficie. Loja: Primera Edición.

Montero. J., Osorio. A., y Urrutia. J. (2003). La aplicación de agua con emisores de última tecnología en equipos pivote. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario.

Mendoza, A. (2013). Riego por goteo. El salvador.

Ministerio de agricultura y riego. (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2016). Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. Obtenido de Café Balanza Comercial, Toneladas Métricas. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/eboletinsituacional-de-cafe-2014-actualizado.pdf>

Ortega, S. Valdés, H. Márquez, J. y Paillán, H. (2001). Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv. FA-144) de invernadero producido en otoño. Agric. Téc. Chile 61:479-487. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072003000400008](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072003000400008).



Paulo Marano. (2011). Cátedra Diagnóstico y Tecnología de Aguas: Practico 2, Infiltración del agua en el suelo.

Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Nambacola. (2015 -2019). Loja, Ecuador.

Pérez, T. López, M. Sosa, E. (2011). Producción de café (Coffie Arabica L): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. Puebla, Mexico. Recuperado de: [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5\(2\)-Temis-Perez-et-al-2011.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5(2)-Temis-Perez-et-al-2011.pdf)

Rain Bird Corporation. (2018). Recuperado de [https://www.rainbird.com/documents/ag/L387\\_DistributionUniformity\\_es.pdf](https://www.rainbird.com/documents/ag/L387_DistributionUniformity_es.pdf)

Tarjuelo. J. (2005) El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona. ES. p 19.

Vaquero L; (2007). Principios Básicos para la Instalación de Riego por Goteo a Pequeña Escala. 1ed. Agencia Suiza. Honduras. Consultado el 5 de Marzo del 2012.

Valarezo, C. Iñiguez, M. Valarezo, L. & Guaya, P. (1998). Condiciones Físicas de los Suelos de La región Sur del Ecuador. Loja: Universidad Nacional de Loja.

Valverde, C. (2007). Riego y Drenaje. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a distancia.

Vélez, M. Vélez, J. (2002). Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica. Recuperado de: <http://poseidon.unalmed.edu.co/materias/hidrologia.html>

Villalobos. (2015). Riego a Presión y Goteo. Cartago, Costa Rica.

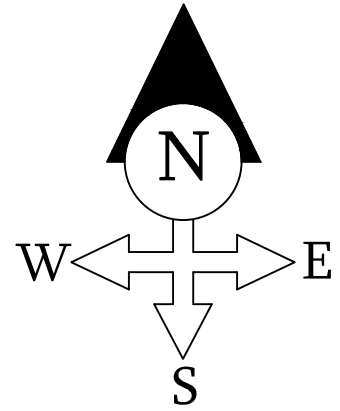
Vargas, A. (2008). Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de Seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano (Proyecto de graduación del programa de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana), Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5481?mode=full>.

Zapatta, A. y Pierre, G. (2005). El riego en el Ecuador: problemática, debate y políticas. Quito, Ecuador. Recuperado de : [https://www.researchgate.net/publication/266564765\\_El\\_riego\\_en\\_Ecuador\\_problematika\\_de\\_bate\\_y\\_politikas](https://www.researchgate.net/publication/266564765_El_riego_en_Ecuador_problematika_de_bate_y_politikas).

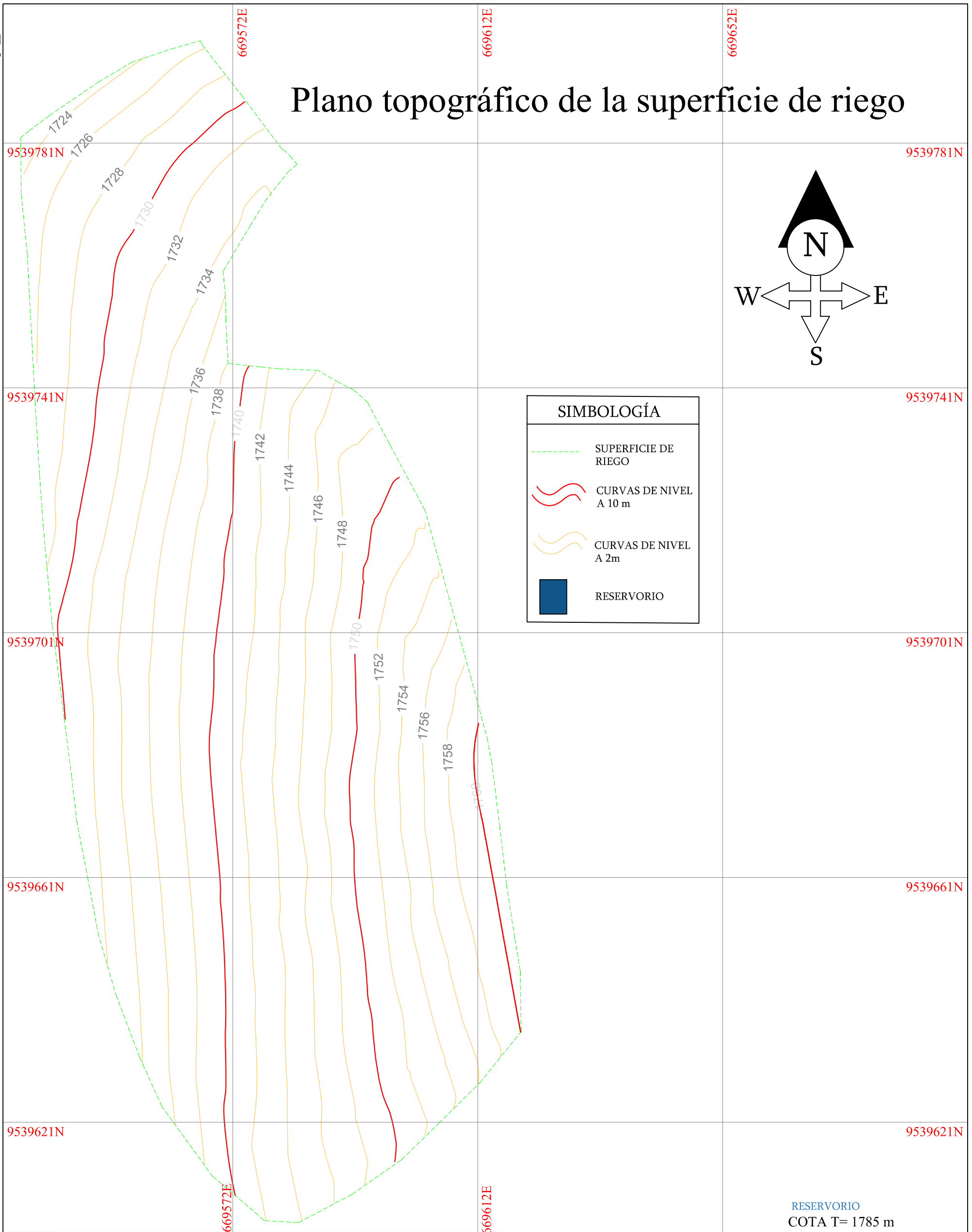
## 8. Anexos

*Anexo I. Plano topográfico de la superficie de riego; Plano del diseño actual y detalles constructivos del sistema de riego por goteo; Planimetría y perfil longitudinal de la línea de conducción.*

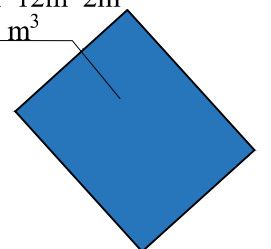
# Plano topográfico de la superficie de riego



SIMBOLOGÍA	
	SUPERFICIE DE RIEGO
	CURVAS DE NIVEL A 10 m
	CURVAS DE NIVEL A 2m
	RESERVORIO



RESERVORIO  
 COTA T= 1785 m  
 V= 15m\*12m\*2m  
 V = 360 m<sup>3</sup>

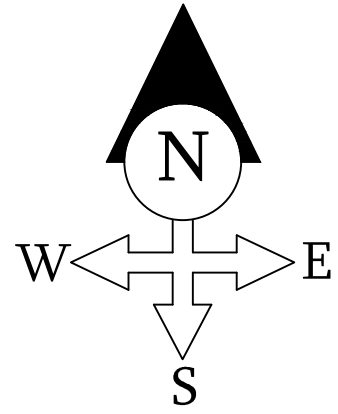


<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b> ULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA			
<b>Provincia:</b> Loja	<b>Cantón:</b> Gonzanamá	<b>Parroquia:</b> Nambacola	<b>Barrio:</b> Potrerillos
<b>Contiene:</b> Plano topografico de la superficie de riego		<b>Propietario:</b> Sr. José Jimenez	<b>Escala:</b> 1:600
<b>Elaborado por:</b> Henry Rene Maza Buele		<b>Área de riego :</b> 1 ha	<b>Lámina:</b> 1/ 4

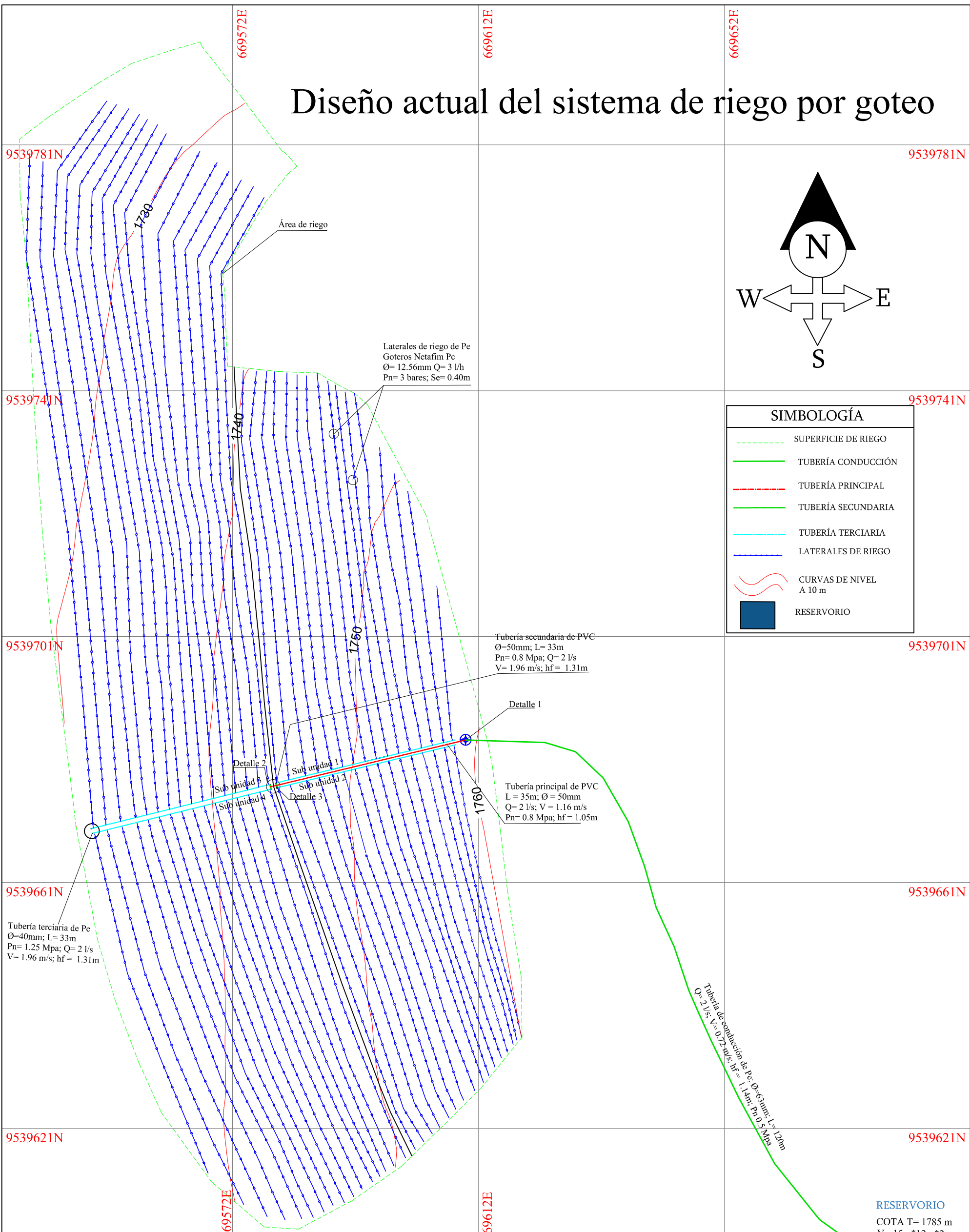
92


669652E

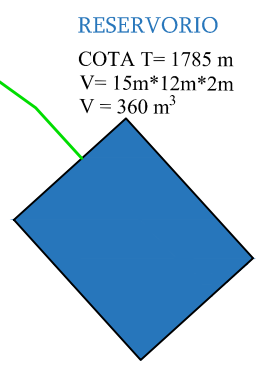
# Diseño actual del sistema de riego por goteo



SIMBOLOGÍA	
	SUPERFICIE DE RIEGO
	TUBERÍA CONDUCCIÓN
	TUBERÍA PRINCIPAL
	TUBERÍA SECUNDARIA
	TUBERÍA TERCIARIA
	LATERALES DE RIEGO
	CURVAS DE NIVEL A 10 m
	RESERVORIO

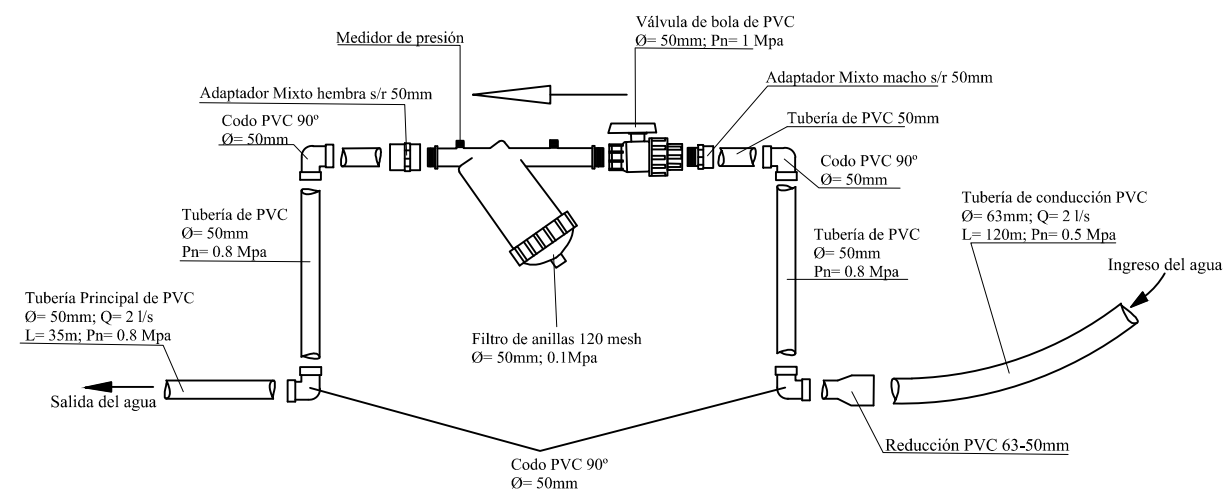


 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b> ULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA			
<b>Provincia:</b> Loja	<b>Cantón:</b> Gonzanamá	<b>Parroquia:</b> Nambacola	<b>Barrio:</b> Potrerillos
<b>Contiene:</b> Plano del diseño actual del sistema de riego por goteo		<b>Propietario:</b> Sr. José Jimenez	<b>Escala:</b> 1:600
<b>Elaborado por:</b> Henry Rene Maza Buele		<b>Área de riego :</b> 1 ha	<b>Lámina:</b> 2/ 4

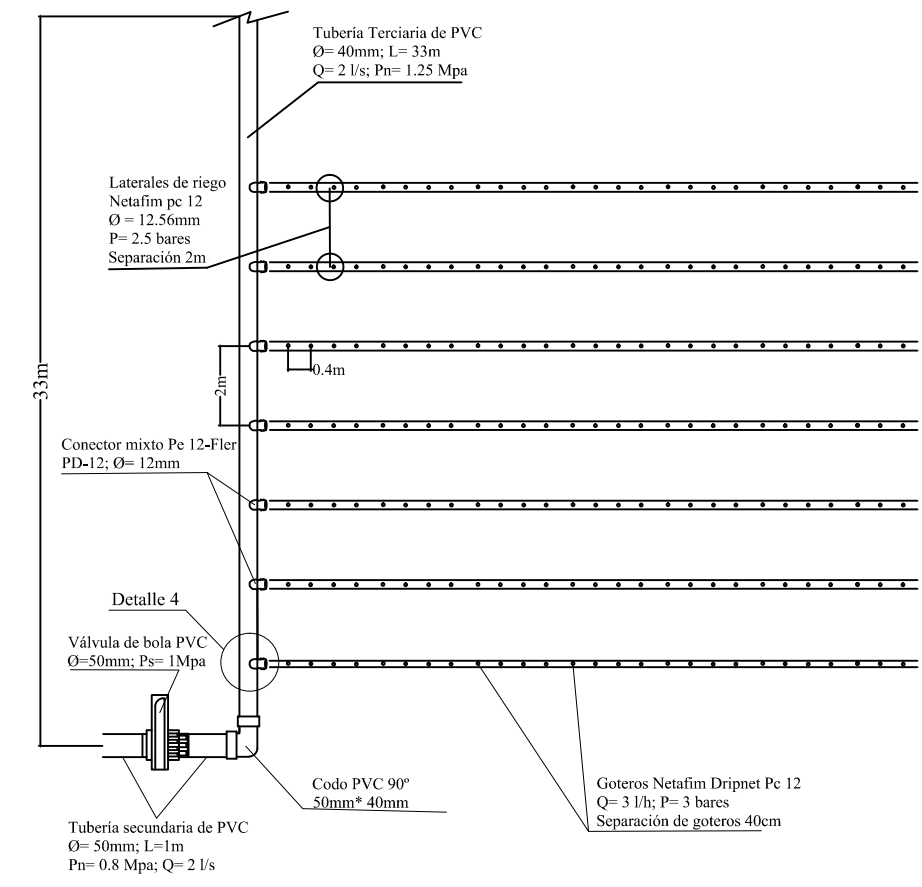


## Detalles técnicos del sistema de riego por goteo

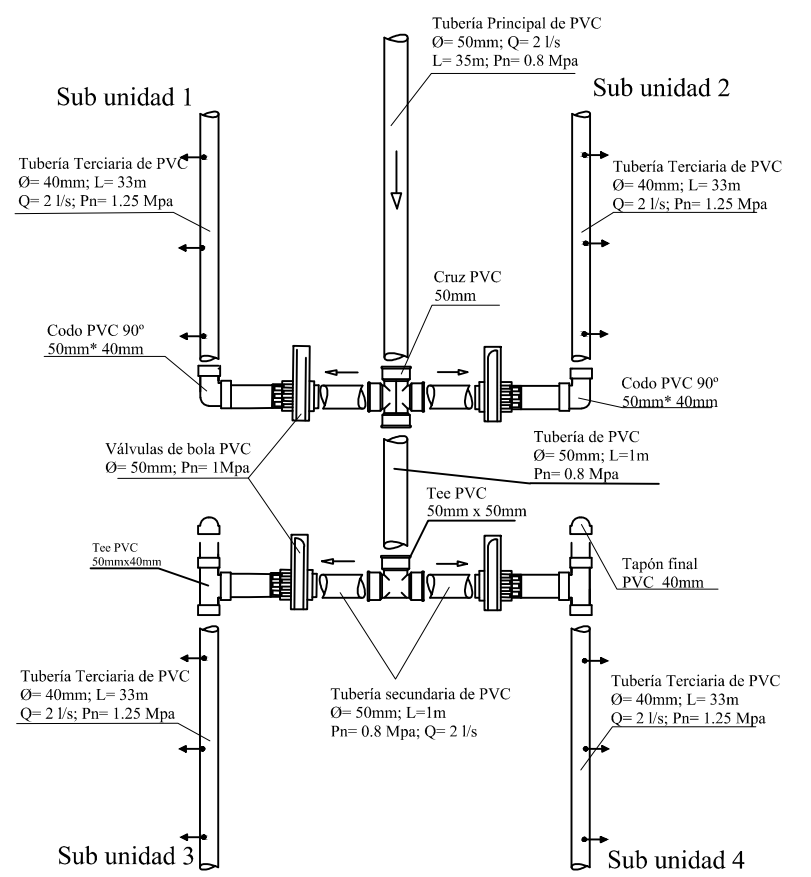
Detalle 1.- Cabezal de control.



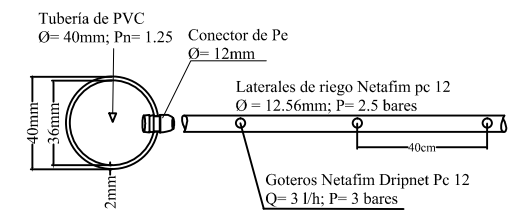
Detalle 3.- Conexión de las laterales a la tubería terciaria.



Detalle 2.- Salida a las tuberías terciarias de la tubería principal.



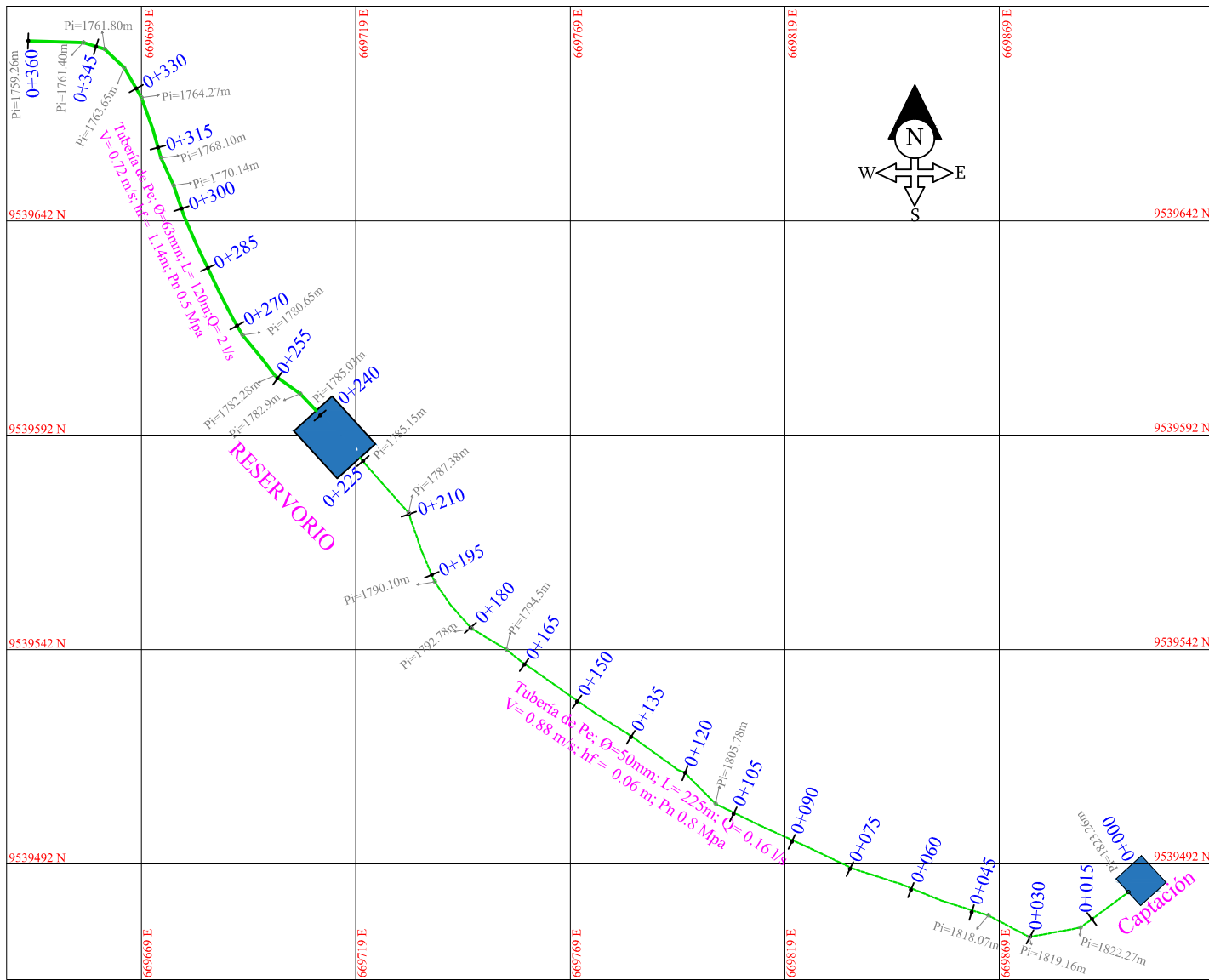
Detalle 4.- Inserción del conector a la tubería terciaria.



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b> <b>FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA</b>			
<b>Provincia:</b> Loja	<b>Cantón:</b> Gonzanamá	<b>Parroquia:</b> Nambacola	<b>Barrio:</b> Potrerillos
<b>Contiene:</b> Detalles técnicos del sistema de riego por goteo		<b>Propietario:</b> Sr. José Jimenez	
<b>Elaborado por:</b> Henry Rene Maza Buele		<b>Área de riego :</b> 1 ha	<b>Lámina:</b> 3/ 4

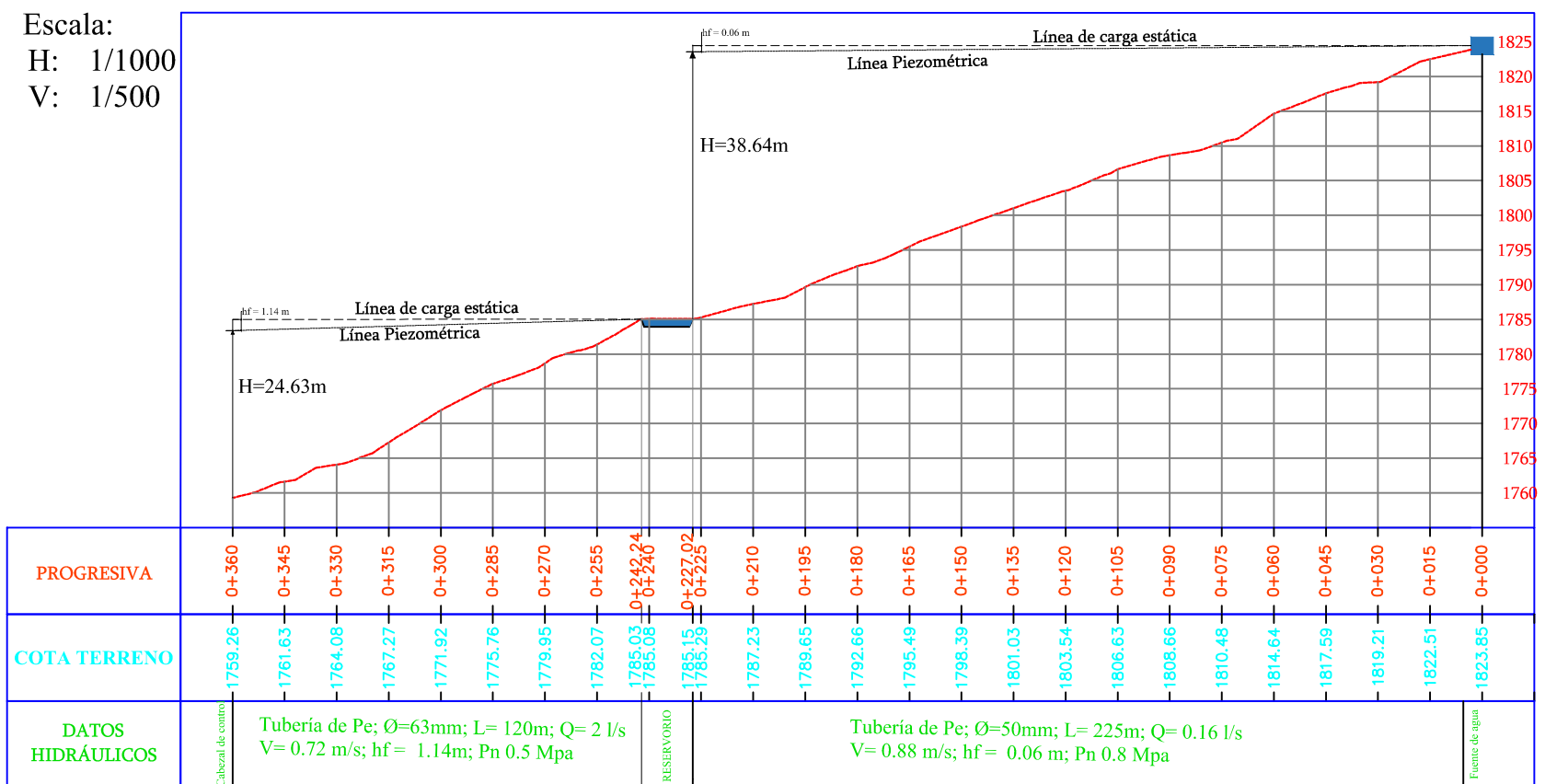
### Planimetría de la línea de conducción


Escala:  
1/1500



### Perfil hidráulico de la línea de conducción

Escala:  
H: 1/1000  
V: 1/500



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA</b> <b>FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA</b>			
<b>Provincia:</b> Loja	<b>Cantón:</b> Gonzanamá	<b>Parroquia:</b> Nambacola	<b>Barrio:</b> Potrerillos
<b>Contiene:</b> Planimetría y perfil hidráulico de la línea de conducción		<b>Propietario:</b> Sr. José Jimenez	
<b>Elaborado por:</b> Henry Rene Maza Buele		<b>Área de riego :</b> 1 ha	<b>Lámina:</b> 4/ 4

**Anexo 2.** Resultados de las constantes hidrofísicas del suelo realizados en el “Laboratorio de suelo y aguas del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables”.

**Tabla 20.** Textura y densidad aparente del suelo

Textura y densidad aparente del suelo						
Cód. Lab.	Profundidad	Análisis mecánico % TFS			Clasificación	Densidad Aparente g/cm <sup>3</sup>
		Arena	Limo	Arcilla		
2255	0 - 15	32.72	35.28	32	Fo Ac	1.28
2256	0 - 15					
2254	20 - 30	30.72	33.28	36	Fo Ac	1.35
2253	20 - 30					

**Tabla 21.** Constantes hidrofísicas en términos de masa

Código de laboratorio	Código de campo	Textura del suelo	% Términos de masa				P.M.P (% Humedad a 15 atm.) pF 4.2	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
			% Saturación	% Humedad a 1/10	% Humedad a 1/3			
			pF 0	pF 2	pF 2.52			
2255	0 - 15	Fo Ac	39.27	36.56	33.46	22.99	1.29	
2256	0 - 15	Fo Ac	42.02	38.81	36.07	23.53	1.28	
2254	20 - 30	Fo Ac	38.11	33.58	30.61	23.47	1.35	
2253	20 - 30	Fo Ac	34.66	29.43	28.55	22.68	1.36	

**Tabla 22.** Constantes hidrofísicas en términos de volumen

Código de laboratorio	Código de campo	Textura del suelo	% Términos de volumen				P.M.P (% Humedad a 15 atm.) pF 4.2
			% Saturación	% Humedad a 1/10	% Humedad a 1/3		
			pF 0	pF 2	pF 2.52		
2255	0 - 15	Fo Ac	50.70	47.20	43.20	29.69	
2256	0 - 15	Fo Ac	53.70	49.60	46.10	30.07	
2254	20 - 30	Fo Ac	51.30	45.20	41.20	31.59	
2253	20 - 30	Fo Ac	47.10	40.00	38.80	30.82	

**Tabla 23.** Constantes Hidrofísicas del suelo de 0 - 15 cm de profundidad

Textura	Saturación	CC 1/10 atm	CC 1/3 atm	PMP 15 atm	Agua aprove chable AA	Capacidad de aireación CA	Volumen total de poros VTP	Volumen total de solidos VTS	Volumen físicamente inerte VFI
	pF 0	pF 2	pF 2.52	pF 4.2			%		
Fo Ac	50.70	47.20	43.2	29.69	21.01	3.50	50.70	49.30	78.99
Fo Ac	53.70	49.60	46.1	30.07	23.63	4.10	53.70	46.30	76.37
Promedio	52.20	48.40	44.65	29.88	22.32	3.80	52.20	47.80	77.68

CC= Capacidad de campo; PMP= Punto de marchitez permanente; Sat= saturación.

- **Agua aprovechable**

$$AA = CC - PMP$$

$$AA = 48.40\% - 29.88\%$$

$$AA = 18.52\%$$

- **Capacidad de aireación**

$$CA = Sat - CC$$

$$CA = 52.2\% - 48.4\% =$$

$$CA = 3.8\%$$

- **Volumen total de poros**

(Saturación = Volumen total de poros)

$$VTP = 52.2\%$$

- **Volumen total de sólidos**

$$VTS = 100 - Sat$$

$$VTS = 100 - 52.20\%$$

$$VTS = 47.8\%$$

Saturación= Volumen de agua + aire

VTS= Volumen ocupado por las partículas del suelo.

- **Volumen físicamente inerte**

$$VFI = [100 - (VTP - PMP)]$$

$$VFI = [100 - (52.2\% - 29.88\%)]$$

$$VFI = 77.68\%$$



*/Anexo 3. Velocidad de infiltración del agua en el suelo.**Tabla 24. Pruebas de infiltración del agua en el suelo*

TIEMPO		LAMINA		VELOCIDAD	
Parcial	Acumulado	Infiltrada	Acumulada	Infiltración instantánea	Infiltración horaria
(min)	(min)	(cm)	(cm)	(cm/hr)	(cm/h)
0	0	0	0		
5	5	1.2	1.2	14.4	14.4
5	10	0.3	1.5	3.6	9.0
5	15	0.3	1.8	3.6	7.2
5	20	0.3	2.1	3.6	6.3
5	25	0.3	2.4	3.6	5.8
5	30	0.2	2.6	2.4	5.2
5	35	0.2	2.8	2.4	4.8
5	40	0.2	3	2.4	4.5
5	45	0.2	3.2	2.4	4.3
5	50	0.2	3.4	2.4	4.1
5	55	0.2	3.6	2.4	3.9
5	60	0.1	3.7	1.2	3.7
10	70	1.1	4.8	6.6	4.1
10	80	0.4	5.2	2.4	3.9
10	90	0.3	5.5	1.8	3.7
10	100	0.3	5.8	1.8	3.5
10	110	0.2	6	1.2	3.3
10	120	0.2	6.2	1.2	3.1
15	135	0.8	7	3.2	3.1
15	150	0.9	7.9	3.6	3.2
15	165	1	8.9	4	3.2
15	180	1.1	10	4.4	3.3

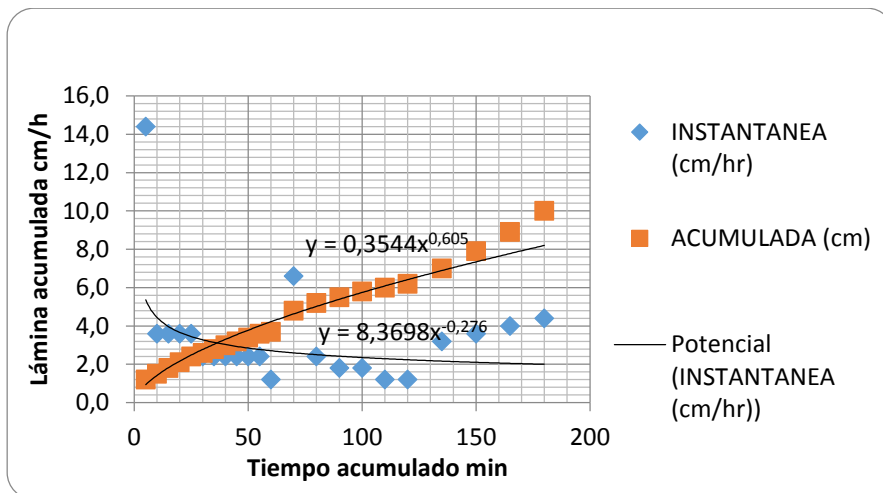


Figura 11. Curva de infiltración acumulada primera prueba

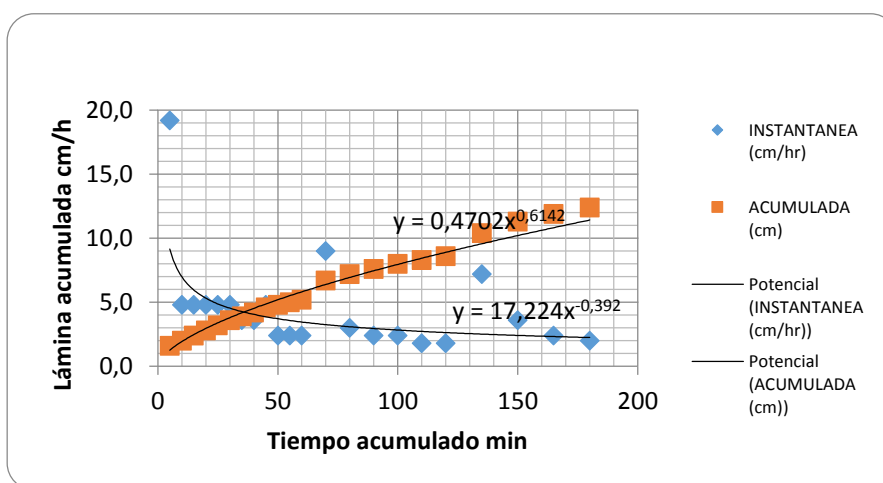


Figura 12. Curva de infiltración acumulada segunda prueba

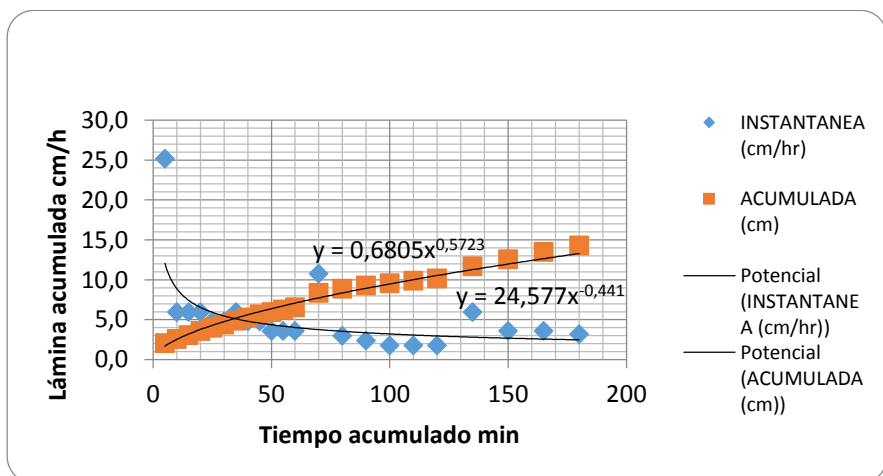


Figura 13. Curva de infiltración acumulada tercera prueba

**Anexo 4. Estación meteorológica de estudio.****Tabla 25. Estación considerada en la zona de estudio**

<b>Código</b>	<b>Estación</b>		<b>Ubicación geográfica</b>		<b>altitud</b>	<b>Institución propietaria</b>
	<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>m.s.n.m</b>	<b>Publica</b>
M1214	Nambacola	CO	9542563.30	674147.9	1835	INAMHI

CO= Estación completa

**Tabla 26. Precipitación Media Mensual (mm) de la Estación Meteorológica Nambacola (período 2001 – 2015)**

<b>Código</b>	<b>Estación</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Media</b>
M1214	Nambacola	74.8	174.5	213.1	133.7	49.6	10.5	7.4	4.1	3.5	32.4	44.9	65.1	813.4

**Tabla 27. Datos meteorológicos de la estación Nambacola (período 2001-2015)**

<b>Mes</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Temperatura máxima	25.91	25.52	26.02	26.00	26.30	26.79	26.81	27.13	27.40	27.44	26.66	26.10
Temperatura media	19.38	19.04	19.47	19.47	19.90	20.09	20.22	20.46	20.40	20.27	20.00	19.83
Temperatura mínima	13.72	13.97	14.03	13.72	13.98	13.79	13.53	14.00	13.83	14.19	13.80	13.32
Humedad relativa	75.50	77.80	80.40	79.31	74.86	72.14	66.61	64.86	65.86	70.57	74.21	74.03
Horas sol	11.85	11.93	12.02	12.18	12.27	12.35	12.27	12.27	12.10	12.02	11.93	11.85
Velocidad del viento	1.4	1.0	1.0	1.2	1.5	2.1	2.9	2.7	2.8	1.8	1.3	1.3

*Anexo 5. Número de goteros por planta.*

- **Área por planta ( $A_p$ )**

$A_p = \text{marco de plantación}$

$$A_p = 1m * 2m$$

$$A_p = 2m^2$$

El área mínima a regar es del 30% del área que ocupa cada planta

$$\text{Área mínima} = 2m^2 * 0.3$$

$$A_{\text{mínima}} = 0.6m^2$$

- **Área mojada por gotero ( $A_{mg}$ )**

$$A_{mg} = \frac{Q_{got}}{VIB}$$

$$A_{mg} = \frac{3 \text{ dm}^3/h}{0.2056 \text{ dm/h}}$$

$$A_{mg} = 14.6 \text{ dm}^2 = 0.1416m^2$$

- **Número de goteros por planta**

$$N_{gp} = \frac{\text{Separación entre plantas}}{\text{Separación entre goteros}}$$

$$N_{gp} = \frac{1m}{0.40m} = 2.5 \text{ g/p}$$

2.5 goteros riegan  $0.354m^2$  de área por planta, por lo tanto se requiere incrementar el número de goteros a 4 goteros por planta a una separación de 0.25m para cubrir el 30% del área mínima a regar.

## Anexo 6. Ficha técnica del gotero Netafim Dripnet Pc 12/40

DRIPNET PC 12 30/40



Activar Windows  
Ir a Configuración

DRIPNET PC es el nuevo gotero autocompensante compacto de Netafim.

Presenta grandes ventajas que lo hacen muy competitivo:

- Laberinto TURBONET® de flujo turbulento.
- Alta resistencia a la obturación.
- Gran área de filtración.
- Gran área de paso del laberinto que permite el drenaje de las impurezas.
- Sistema patentado de autocompensación por presión diferencial. Mantiene uniforme el caudal a distintas presiones de entrada. Asegura una distribución exacta de agua y fertilizantes.
- El diafragma flotante de silicona inyectada permite el uso de fertilizantes sin modificación de las prestaciones.
- 5 caudales disponibles de 0.6, 1, 1.6, 2.0 y 3.0 l/h.
- Gotero inyectado con muy bajo CV.




» **Datos técnicos de la tubería**

Tubería	Ø interior (mm)	Espesor (mm)	Ø exterior (mm)	Presión máxima de trabajo (bar)	KD
1230	11.80	0.31	12.42	2.1	1.35
1240	11.80	0.38	12.56	2.5	1.35



» **Datos técnicos del gotero**

Caudal (l/h)	Presión de trabajo (bar)	Dimensiones del paso del laberinto Ancho-Profundidad-Largo (mm)	Área filtración (mm)	Constante K	Exponente X
0.6	0.25 - 2.5*	0.52 x 0.60 x 22.0	39.0	0.6	0
1.0	0.4 - 3.0*	0.61 x 0.60 x 8.0	39.0	1.0	0
1.6	0.4 - 3.0*	0.76 x 0.73 x 8.0	44.0	1.6	0
2.0	0.4 - 3.5*	0.76 x 0.73 x 8.0	42.0	2.0	0
3.0	0.4 - 3.5*	1.02 x 0.88 x 8.0	42.0	3.0	0

\* Atención: La presión máxima de trabajo limita el tipo de tubería.



(+34)935. 737. 400  
C/ Gartz , 3, Pol. Ind. Can Volant,  
08150, Parets del Vallès, Barcelona  
regaber@regaber.com

GC-G1-120

## » Largos máximos de tubería en suelo llano

Presión de entrada al inicio del lateral: 1.5 bar

Caudal l/h	Distancia entre goteros					
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.75
0.6	108	155	198	239	277	330
1.0	75	108	138	166	193	230
1.6	55	79	102	123	142	170
2.0	46	66	85	94	103	119
3.0	35	51	65	78	91	109

Presión de entrada al inicio del lateral: 2.5 bar

Caudal l/h	Distancia entre goteros					
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.75
0.6	129	185	236	285	331	395
1.0	92	132	170	204	237	284
1.6	68	97	125	151	175	209
2.0	58	84	108	119	130	151
3.0	44	64	82	99	115	138

Los conectores fler son accesorios roscados de fácil instalación pensados para sistemas multicampaña o fijos. Los conectores fler PD de color azul están indicados para tubería de pared delgada de 0,6mm o menor y los fler PG son para pared gruesa de de 0,9 a 1,2mm

090000460	MANGUITO UNION FLER PG 16-FLER PD 12	
090000461	MANGUITO UNION FLER PD 16-FLER PD 12	
090000464	MANGUITO UNION FLER PD 12MM	
090000465	MANGUITO MIXTO PE12-FLER PD 12	
090000466	MANGUITO UNION FLER PD 12-1/2"PM	
090000467	TAPON FINAL FLER PD 12MM	

Barcelona Tel (+34)935.737.422 - Valencia Tel (+34)961.667.013 - Murcia Tel (+34)968.350.102 - Málaga Tel (+34)952.244.624 - Sevilla Tel (+34)955.5961.900 - Madrid Tel (+34)916.746.000



Regaber (parte de Regaber, S.A. se reserva el derecho a modificar las especificaciones de su producto y a realizar cambios en la información contenida en este documento. Para solicitar o obtener información, por favor, envíe un correo electrónico a [marketing@regaber.com](mailto:marketing@regaber.com)

**Anexo 7.** Evaluación del coeficiente de uniformidad CU, uniformidad de distribución UD y coeficiente de variación CV (fabricación).

**Tabla 28.** Evaluación de la uniformidad de riego

Laterales	N° goteros	Sub unidad 1		Sub unidad 2		Sub unidad 3		Sub unidad 4	
		Q (L/H)	Xi	Q (L/H)	Xi	Q (L/H)	Xi	Q (L/H)	Xi
1	1	1.32	0.027	1.76	0.444	1.04	0.135	0.90	0.304
	2	1.28	0.063	1.72	0.408	1.04	0.135	1.06	0.144
	3	1.38	0.037	1.66	0.348	1.30	0.125	0.90	0.304
	4	1.80	0.457	1.36	0.048	1.12	0.055	1.00	0.204
2	5	1.20	0.143	1.80	0.488	1.12	0.055	0.99	0.212
	6	1.28	0.059	1.35	0.040	0.98	0.195	0.90	0.304
	7	1.46	0.117	1.30	0.012	1.12	0.055	1.06	0.144
	8	1.74	0.397	1.34	0.028	1.28	0.105	1.48	0.277
	9	1.28	0.063	1.16	0.152	1.06	0.115	1.28	0.077
3	10	1.24	0.103	1.08	0.232	1.02	0.155	1.20	0.004
	11	1.24	0.103	0.98	0.332	1.20	0.025	1.42	0.217
	12	1.54	0.197	1.12	0.192	1.44	0.265	1.20	0.004
	13	1.27	0.071	1.32	0.008	1.00	0.175	1.67	0.469
4	14	1.14	0.203	1.12	0.192	1.08	0.095	1.60	0.397
	15	1.12	0.223	1.00	0.312	1.30	0.125	1.35	0.149
	16	1.20	0.143	0.92	0.392	1.70	0.525	1.24	0.037
		<b>1.34</b>	<b>2.408</b>	<b>1.31</b>	<b>3.628</b>	<b>1.17</b>	<b>2.340</b>	<b>1.20</b>	<b>3.239</b>
<b>CU=</b>		89		83		88		83	
<b>UD=</b>		87		76		86		77	
<b>CV=</b>		0.15		0.22		0.16		0.21	

*Anexo 8. Evaluación de tuberías principales, secundarias y terciarias.*

Tuberías (conducción y principal)		Pérdidas de carga por fricción	Velocidad media del flujo
Material	PVC y Pe	$J = 1.21 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} D^{-4.87}$	$V = \frac{Q}{A}$
Longitud 1	120 m	J1 = 0.01m	
Longitud 2	225 m	J2 = 0.01m	
Longitud 3	35 m	J3 = 0.03m	
Caudal	2 l/s		V1 = 0.72 m/s
C	150		V2 = 0.88 m/s
Diámetro 1	59.2 mm	hf = J * L	V3 = 1.16 m/s
Diámetro 2	46.8 mm	hf1 = 1.14m	
Diámetro 3	46.8 mm	hf2 = 0.06m	
Área 1	0.0028 m <sup>2</sup>	hf3 = 1.05m	$1.16 \frac{m}{s} \text{ y } 0.72 \frac{m}{s} < 2.5 \frac{m}{s}$
Área 2	0.0017 m <sup>2</sup>		
Área 3	0.0017 m <sup>2</sup>		

Tuberías secundarias y terciarias		Pérdidas de carga por fricción	Factor de Christiansen
Material	PVC	$J = 1,21 * 10^{10} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} D^{-4.87}$	$F = \left[\frac{2n}{2n-1}\right] \left[\frac{1}{B+1} + \frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2}\right]$
Longitud S	1 m	JS = 0.107m	FS = 0.37 FT = 0.37
Longitud T	33 m	JT = 0.107m	
Caudal	1.998 l/s		Velocidad media del flujo
C	150		$V = \frac{Q}{A}$
Diámetro S	36 mm	hf = J * L * F	Vs = 1.96 m/s
Diámetro T	36 mm		Vt = 1.96 m/s
B	1.8	hf S = 0.04m	
Área S y T	0.0010 m <sup>2</sup>	hf T = 1.31m	$1.96 \frac{m}{s} < 2.5 \frac{m}{s}$
N	16		



*Anexo 9. Respaldo fotográfico*



*Figura 14. Fuente de agua y medición de caudales (método volumétrico)*



*Figura 15. Toma de muestras de suelo*



*Figura 16. Levantamiento topográfico de la superficie de riego*



*Figura 17. Pruebas de infiltración del agua en suelo*



**Figura 18.** Evaluación del coeficiente de uniformidad



**Figura 19.** Evaluación física de los componentes del sistema de riego