



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA  
AGRICULTURA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AGROPECUARIO**

**AUTOR: FRANKLIN OSWALDO GUALPA MEJÍA**

**TEMA: “DISEÑO DE UN PROYECTO DE RIEGO POR GOTEO Y  
MICROASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE CACAO EN EL CONGOMA,  
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”**

**DIRECTOR: ING. STALIN GRANDA, MG. SC.**

**CODIRECTOR: ING. PATRICIO VACA, MG. SC.**

**SANTO DOMINGO – 2014**

**“DISEÑO DE UN PROYECTO DE RIEGO POR GOTEO Y  
MICROASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE CACAO EN EL CONGOMA,  
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”**

**AUTOR**

FRANKLIN OSWALDO GUALPA MEJÍA

REVISADO Y APROBADO

---

Ing. ALFREDO VALAREZO.

**DIRECTOR DE CARRERA**

---

Ing. STALIN GRANDA, Mg. Sc.

**DIRECTOR**

---

Ing. PATRICIO VACA, Mg. Sc.

**CODIRECTOR**

---

Ing. VINICIO UDAY, Mg. Sc.

**BIOMETRISTA**

---

Dr. RAMIRO CUEVA VILLAMARÍN

**SECRETARIO ACADÉMICO**

## CERTIFICACIÓN

Los suscritos, docentes de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Santo Domingo, certificamos que el Proyecto de Investigación de Grado intitulado “**DISEÑO DE UN PROYECTO DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE CACAO EN EL CONGOMA, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**”, cumple las disposiciones reglamentarias establecidas en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Esta investigación desarrollada por el egresado, Franklin Oswaldo Gualpa Mejía fue guiada en forma permanente por nuestra parte y en las conclusiones y recomendaciones de este documento, se destaca la importancia para el sector cacaotero de la zona.

Santo Domingo, 20 de marzo del 2014

---

Ing. Stalin Granda, Mg. Sc.

**DIRECTOR**

---

Ing. Patricio Vaca, Mg. Sc.

**CODIRECTOR**

## **AUTORÍA**

Las ideas expuestas en el presente trabajo de investigación, así como los resultados,  
discusión y conclusiones son de exclusiva responsabilidad del  
Autor.

---

Franklin Oswaldo Gualpa Mejía

## AUTORIZACIÓN

Yo Franklin Osado Gualpa Mejía.

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO DE UN PROYECTO DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE CACAO EN EL CONGOMA, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”**, manifestando que el contenido, ideas y discusiones son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Santo Domingo, 20 de marzo del 2014

---

Franklin Oswaldo Gualpa Mejía

## **DEDICATORIA**

A Dios mi creador

Por iluminarme y concederme la voluntad de lograr este gran objetivo de mi vida. Por darme fuerza cuando me sentía débil, por guiarme cuando me sentía perdido, por ayudarme cuando lo necesite.

A mi padre Joffre y mi madre Cecilia

Con todo mi cariño para mis padres las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Franklin Oswaldo Gualpa Mejía

## **AGRADECIMIENTO**

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Agradezco al director del proyecto, Ing. Stalin Granda, al codirector Ing. Patricio Vaca, y al Sr. Vinicio Ochoa propietario del predio en el cual se desarrolló el proyecto de diseño.

A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad y a todas las personas que laboran en ella, la cual abrió y abre sus puertas a jóvenes como yo, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Franklin Oswaldo Gualpa Mejía

## ÍNDICE DE CONTENIDO

| <b>CONTENIDO</b>                                                     | <b>Pág.</b> |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|
| CAPÍTULO I.                                                          |             |
| INTRODUCCION.....                                                    | 1           |
| CAPÍTULO II.                                                         |             |
| REVISIÓN DE LITERATURA.....                                          | 5           |
| 2.1. ASPECTOS GENERALES DEL CACAO.....                               | 5           |
| 2.1.1. Descripción Botánica.....                                     | 6           |
| 2.1.2. Variedades.....                                               | 6           |
| 2.1.3. Manejo del Cultivo.....                                       | 7           |
| 2.1.3.1. Riego.....                                                  | 7           |
| 2.1.3.2. Nutrición.....                                              | 8           |
| 2.2. RIEGOS LOCALIZADOS DE ALTA FRECUENCIA.....                      | 9           |
| 2.2.1. Riego por Goteo.....                                          | 10          |
| 2.2.2. Riego por Microaspersión.....                                 | 11          |
| 2.2.3. Ventajas de los riegos localizados de alta frecuencia.....    | 11          |
| 2.2.4. Desventajas del sistema de riego de alta frecuencia.....      | 13          |
| 2.2.5. Aplicación de Riego por Goteo en Cacao.....                   | 13          |
| 2.3. FACTORES DE SUELO QUE INFLUYE SOBRE EL RÉGIMEN<br>DE RIEGO..... | 14          |
| 2.3.1. Propiedades Físicas del Suelo.....                            | 14          |
| 2.3.1.1. Densidad aparente del suelo.....                            | 14          |
| 2.3.1.2. Densidad real del suelo.....                                | 15          |
| 2.3.1.3. Porosidad.....                                              | 15          |
| 2.3.1.4. Textura del suelo.....                                      | 16          |
| 2.3.2. Estados de Humedad del Suelo.....                             | 17          |
| 2.3.2.1. Saturación.....                                             | 17          |
| 2.3.2.2. Capacidad de campo.....                                     | 17          |
| 2.3.2.3. Punto de marchitez permanente.....                          | 18          |
| 2.3.3. Agua Útil.....                                                | 19          |
| 2.3.3.1. Determinación del contenido de agua.....                    | 20          |
| 2.3.4. El flujo o Movimiento de Agua en el Suelo.....                | 20          |



|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.4.1. Permeabilidad.....                                                             | 21  |
| 2.3.4.2. Infiltración.....                                                              | 22  |
| 2.3.4.3. Velocidad de infiltración.....                                                 | 23  |
| 2.3.4.4. Almacenamiento y drenaje.....                                                  | 24  |
| 2.4. NECESIDAD DE RIEGO DE LOS CULTIVOS.....                                            | 25  |
| 2.4.1. La Evapotranspiración.....                                                       | 25  |
| 2.4.1.1. Evapotranspiración de referencia, ETo.....                                     | 26  |
| 2.4.1.2. Evapotranspiración del Cultivo, ETc.....                                       | 26  |
| 2.4.2. Uso Consuntivo o Necesidades de Riego.....                                       | 26  |
| 2.4.2.1. Coeficiente del Cultivo, Kc.....                                               | 27  |
| CAPÍTULO III.                                                                           |     |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                               | 30  |
| 3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.....                                               | 30  |
| 3.2. MATERIALES.....                                                                    | 32  |
| 3.3. MÉTODOS.....                                                                       | 32  |
| CAPÍTULO IV.                                                                            |     |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                                             | 72  |
| 4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y<br>EDÁFICAS DEL SUELO EN ESTUDIO..... | 72  |
| 4.2. CONDICIONES AMBIENTALES Y METEOROLÓGICAS<br>DEL ÁREA EN ESTUDIO.....               | 76  |
| 4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO.....                                         | 79  |
| 4.3.1. Cálculo de gotero Económico.....                                                 | 79  |
| 4.3.2. Diseño de la Subunidad de goteo.....                                             | 86  |
| 4.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION.....                                | 99  |
| 4.4.1. Determinación de la velocidad de infiltración.....                               | 99  |
| 4.4.2. Selección de microaspersor.....                                                  | 100 |
| 4.4.3. Diseño de la subunidad de microaspersión.....                                    | 101 |
| 4.5. SELECCIÓN DE BOMBA Y CÁLCULO DE NPSH.....                                          | 109 |
| 4.5.1. Cálculo del NPSH altura neta de succión positiva.....                            | 110 |
| 4.6. CÁLCULO DE FILTRADO.....                                                           | 110 |
| 4.7. PRESUPUESTO DE ACCESORIOS Y MATERIALES.....                                        | 111 |
| CAPÍTULO V.                                                                             |     |
| CONCLUSIONES.....                                                                       | 117 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| CAPÍTULO VI.         |     |
| RECOMENDACIONES..... | 120 |
| CAPÍTULO VII.        |     |
| BIBLIOGRAFIA.....    | 121 |
| CAPÍTULO VIII.       |     |
| ANEXOS.....          | 126 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| CUADRO                                                                                                                | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Cuadro 1. Descripción de suelos según sus clases de gradiente de suelo de acuerdo con el criterio de la FAO.....      | 37   |
| Cuadro 2. Valores de energía generada por unidad de combustible.....                                                  | 48   |
| Cuadro 3. Coeficiente Hazen-Williams para algunos materiales.....                                                     | 62   |
| Cuadro 4. Altura de succión máxima teórica, en función de la altitud sobre el nivel del mar.....                      | 68   |
| Cuadro 5. Presión de vapor del líquido a la temperatura de operación.....                                             | 69   |
| Cuadro 6. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo (calicatas).....                                             | 72   |
| Cuadro 7. Características físicas del suelo parte uno.....                                                            | 73   |
| Cuadro 8. Características físicas del suelo parte dos.....                                                            | 74   |
| Cuadro 9. Características químicas e hidrofísicas del suelo.....                                                      | 75   |
| Cuadro 10. Datos meteorológicos estación Puerto Ila año 1964-2009.....                                                | 77   |
| Cuadro 11. Resultado de análisis en laboratorio de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)..... | 78   |
| Cuadro 12. Consideraciones generales para el diseño del sistema de riego.....                                         | 79   |
| Cuadro 13. Número de emisores, obtenido a diferentes caudales y horas de riego con una ETc máxima de 3,37 mm/día..... | 80   |
| Cuadro 14. Porcentaje de suelo humedecido para un tiempo de 3 horas de riego a diferentes caudales.....               | 81   |
| Cuadro 15. Consideraciones generales para la selección del gotero.....                                                | 82   |
| Cuadro 16. Características de los goteros para la selección optima-económica.....                                     | 84   |
| Cuadro 17. Evaluación optima-económica de goteros para cultivo de Cacao.....                                          | 85   |
| Cuadro 18. Parámetros de diseño de la subunidad de riego.....                                                         | 87   |
| Cuadro 19. Cálculo hidráulico de los laterales críticos de subunidad de riego.....                                    | 88   |
| Cuadro 20. Cálculo Hidráulico de la tubería Terciaria.....                                                            | 90   |
| Cuadro 21. Cálculo Hidráulico de la tubería secundaria.....                                                           | 92   |
| Cuadro 22. Cálculo Hidráulico de la tubería matriz.....                                                               | 94   |
| Cuadro 23. Resumen de pérdidas singulares, Hacc.....                                                                  | 95   |
| Cuadro 24. Cálculo del HDT y caudal determinación de la potencia de la bomba...                                       | 96   |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Cuadro 25. Parámetros para determinar el NPSHA de la bomba.....                              | 99  |
| Cuadro 26. Resultados de Velocidad de infiltración. Calicata 1.....                          | 99  |
| Cuadro 27. Parámetros de diseño de riego por microaspersión.....                             | 101 |
| Cuadro 28. Cálculo hidráulico de los laterales críticos de subunidad de riego.....           | 102 |
| Cuadro 29. Cálculo Hidráulico de la tubería terciaria.....                                   | 104 |
| Cuadro 30. Cálculo Hidráulico de la tubería secundaria.....                                  | 104 |
| Cuadro 31. Cálculo Hidráulico de la matriz.....                                              | 105 |
| Cuadro 32. Resumen de pérdidas singulares, Hacc.....                                         | 106 |
| Cuadro 33. Cálculo del HDT y caudal para la determinación de la potencia<br>de la bomba..... | 108 |
| Cuadro 34. Características de la bomba.....                                                  | 109 |
| Cuadro 35. Características y cálculo del filtrado .....                                      | 110 |
| Cuadro 36. Costos considerados en laterales de riego por goteo.....                          | 111 |
| Cuadro 37. Costos considerados en terciarios de riego por goteo.....                         | 111 |
| Cuadro 38. Costos considerados en secundarios de riego por goteo.....                        | 112 |
| Cuadro 39. Costos globales de riego por goteo.....                                           | 112 |
| Cuadro 40. Costos considerados en laterales de riego por microaspersión.....                 | 112 |
| Cuadro 41. Costos considerados en terciarios riego por microaspersión.....                   | 113 |
| Cuadro 42. Costos considerados en secundarios de riego microaspersión.....                   | 113 |
| Cuadro 43. Costos globales de riego por microaspersión.....                                  | 113 |
| Cuadro 44. Costo considerado en la tubería matriz.....                                       | 114 |
| Cuadro 45. Costo considerado en cabezal de control de goteo y microaspersión...              | 114 |
| Cuadro 46. Resumen de Costos.....                                                            | 115 |
| Cuadro 47. Calculo de ingreso y egreso operacional.....                                      | 116 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA                                                                                                                                               | Pág |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1. Curvas de absorción de nutrientes por el cacao a través del tiempo<br>y cantidad de nutrientes removidos en una tonelada de almendras..... | 9   |
| Figura 2. Dinámica del agua en el suelo.....                                                                                                         | 19  |
| Figura 3. Localización Geográfica de la zona en estudio.....                                                                                         | 31  |
| Figura 4. Relación entre el diámetro de humedecimiento (DH) con el caudal<br>de un emisor (qe) para distintos tipos de suelo.....                    | 44  |
| Figura 5. Subrutina de cálculo y diseño de riego por goteo .....                                                                                     | 56  |
| Figura 6. Subrutina de cálculo y diseño de riego por microaspersión.....                                                                             | 71  |

## RESUMEN

El cacao ha sido para el Ecuador un recurso que le ha permitido participar y ser reconocido en el mercado internacional. Las plantas adultas crecen con periodos de desarrollo y de reposo irregulares, que depende de factores exógenos como la precipitación, lo que daría como resultado una producción baja y estacional debido a déficit hídrico que corresponde desde julio a octubre. La presente investigación se realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas en el Congoma, km 15 de la vía Quevedo, 9961800 N – 682100 E. El proyecto de tuvo como objetivo diseñar un sistema de riego por goteo y microaspersión en el cultivo de Cacao, de acuerdo con parámetros hidrofísicos del suelo, climáticos y vegetativos en el sector, para de este modo presentar una alternativa tecnológica, que compense las deficiencias hídricas en la época de verano. El estudio determinó que las necesidades de agua para el cultivo es 54,08 lt dia<sup>-1</sup>. Se definieron 4 módulos de riego, (A, B) riego por goteo contienen 3 emisores autocompensados PCJ-LCNL por planta de 8 l h<sup>-1</sup>, y (C y D) microaspersión que utiliza emisores mini wobler; el caudal máximo requerido es de 7,73 l s<sup>-1</sup> correspondientes al módulo B, la altura dinámica total (HDT) fue de 60,61 metros de columna de agua que pertenece al módulo C, valor que determino la potencia de la bomba en 10,14 Hp. El costo de implementar estos dos sistemas de riego es de \$ 4239,06 por hectárea.

**Palabras clave:** diseño, riego, goteo, microaspersión, cacao.

## SUMARY

Cocoa has been to Ecuador a resource that has allowed him to participate and be recognized in the international market. Mature plants grow and development periods of irregular rest, it depends on external factors such as precipitation, which would result in low production and due to seasonal water deficit corresponding from July to October. This research was conducted in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas in Congoma, km 15 of the road Quevedo, 9961800 N - 682100 E. The project aimed to design a system of drip irrigation and micro sprinkler in growing cocoa, according to hydrophysical soil parameters, climatic, and vegetative in the sector, thus presenting an alternative technology, which compensates for water deficiencies in the summer. The study found that the water needs for cultivation is 54.08 liters day<sup>-1</sup>. 4 modules were defined irrigation, (A, B) containing three drip irrigation emitters autocompensados PCJ - plant LCNL by 8 l h<sup>-1</sup>, and (C and D) micro sprinkler using mini wabler issuers, the maximum flow is required 7.73 l s<sup>-1</sup> for Module B , the total dynamic head (HDT ) was 60.61 meters of water column belonging to module C , determine the value of the pump power at 10.14 Hp . The cost of implementing these two irrigation systems is \$ 4,239.06 per hectare.

**Keywords:** irrigation design, drip, micro sprinkler, cocoa.

## **“DISEÑO DE UN PROYECTO DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN PARA EL CULTIVO DE CACAO EN EL CONGOMA, SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”**

### **I. INTRODUCCIÓN**

Aguirre y Villarroel (2009), en su estudio realizado en la hacienda Ernesto Molestina de la parroquia Luz de América anotan criterios importantes a ser tomado en cuenta para la utilización del agua como riego para cultivos tropicales en la región. Indican que es importante generar información mediante un estudio de suelos que oriente a brindar las pautas para la mejor utilización de los recursos: suelo y agua, para con esto optimizar y elevar la producción agrícola de la zona del proyecto. Además el mismo estudio determinó el balance hídrico climático de la zona, estableció que existe la necesidad de riego en cultivos representativos como: papaya, cítricos, piña, palmito y particularmente cacao. En el cultivo de cacao se precisó que el déficit hídrico parte desde julio y se extiende hasta octubre, recomendando la implementación de un sistema de riego, en las áreas donde se mantiene este cultivo.

Romero y Proaño (2008), mencionan que mediante la aplicación de un sistema de riego por goteo en cultivo de cacao se obtiene producciones superiores a 2000 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en comparación con un sistema de microaspersión que solo llegó a 1681,81kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, destacando que en ambos sistemas no se aplica ningún fertilizante. Además se demuestra que el agua requerida por el goteo es un 12% menos que el agua requerida mediante un sistema de riego por aspersión.



Amores y Agama (2006), determinaron que el rendimiento de cacao Nacional específicamente los clones de INIAP, junto con la Variedad CCN-51(Agr. Castro, Ec) tienen una caída en su producción en los meses de junio a septiembre (época seca) llegando a bordear los 2 a 4 kg de cacao fresco por mes concomitantemente en los mejores meses se llega a una producción de 16 a 17 kg de caco fresco por mes. Evidenciando que la deficiencia hídrica tiene impacto negativo en la producción de cualquier ejemplar de cacao.

Bermeo y Toala (2008), valoran que el cacao es una planta sensible a la escases de agua, sus necesidades oscilan entre 1500 a 2500 mm al año. Además el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador (2001), indica que estas pluviosidades deben ser distribuidas uniformemente en el año con un mínimo mensual de 100 a 120 mm de agua, para que el cacao genere una producción representativa y constante. En las condiciones locales se tiene un período de déficit hídrico (promedio mensual de precipitación) bastante marcado entre los meses de julio a diciembre, que vienen relacionados con la baja producción de cacao reportados para ese periodo seco.

Uno de los mecanismos fisiológicos que posee el cacao para sobrevivir épocas de escases de agua es la reducción de fotosíntesis, con la consecuente disminución de otros procesos como emisión de hojas, flores y dependiendo de la severidad del estrés hídrico puede llegar a la dormancia de yemas vegetativas y florales con el inconveniente que la planta no genere hojas y flores, hasta que cuente con condiciones adecuadas de humedad. Esto ha generado que en el Ecuador la producción de cacao tenga un repunte en una época específica del año, en los meses de octubre, noviembre y parte de diciembre; la otra parte del año su producción es notablemente más baja. Mantener un nivel hídrico adecuado durante todo el año mediante un sistema de riego ayudará a evitar la alteración de estos procesos fisiológicos y por ende aumentar la producción en meses del año donde es baja o casi nula.

En el presente trabajo se planteó los siguientes objetivos.

### **Objetivo General**

Diseñar un sistema de riego por goteo y microaspersión en el cultivo de Cacao, de acuerdo con parámetros hidrofísicos del suelo, climáticos y vegetativos en el sector del Congoma Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

### **Objetivos Específicos**

Estudiar las características fisiográficas y edafológicas de una parcela representativa con cultivo de cacao en producción establecido en un área de 3,5 ha.

Evaluar las condiciones meteorológicas y climáticas de la zona en estudio para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo.

Planificar y diseñar un sistema de riego por goteo y microaspersión de acuerdo a condiciones edafo-climáticas y fisiológicas del cultivo.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ASPECTOS GENERALES DEL CACAO.

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta perenne que rinde varias cosechas al año. Empezó a cultivarse en América, donde era ya un producto básico en algunas culturas antes de que llegaran los colonizadores Europeos. En el ámbito mundial los países productores de cacao suman un total de 3 256 438 TM con una superficie de 6 981 522 hectáreas (ANECACAO, 2003). La superficie total de cultivo de cacao en nuestro país es de 378 520 ha, que corresponden a 54 000 unidades de producción, aproximadamente el 90% de la superficie dedicada a la producción de cacao esta en manos de pequeños propietarios y representa casi el 65% de la producción nacional (INEC, 2002).

El género *Theobroma* es originario de América Tropical, específicamente de la cuenca alta del río Amazonas. El género posee algunas especies de gran relevancia económica en los trópicos, principalmente *Theobroma cacao* y en mucho menor grado *T. grandiflorum* y *T. bicolor*. Las semillas de *T. cacao* se han empleado a lo largo de la historia para la preparación de bebidas y otros alimentos, como moneda, bebida ceremonial y tributo a reyes. Esta especie se encuentra actualmente distribuida a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, desde los 20° de latitud norte hasta los 20° de latitud sur (ICCO, 2003).

### **2.1.1. Descripción Botánica.**

El Cacao es una planta perenne tropical, que se desarrolla desde el nivel del mar hasta 1000 m.s.n.m. Su altura depende de la variedad, suelo y condiciones climáticas, que va en las variedades nacionales de 15 a 18 m, mientras que en las clónales es de 2 a 4 m (Vera, 1993).

La raíz principal es pivotante, puede crecer normalmente entre 120 a 150 cm, alcanzando en suelos sueltos hasta 2 m. poseen muchas raíces secundarias (hacia los lados), el mayor volumen (entre 85 a 90%) de las cuales se encuentran en los primeros 25 cm de profundidad del suelo alrededor del árbol, aproximadamente en la superficie de su propia sombra. Bajo condiciones de buen cultivo, las raicillas están en contacto con el mantillo que cubre naturalmente el suelo de un cacaotal. El tallo es recto. Las hojas son simples, enteras y pigmentadas variando mucho el color de esta pigmentación, la mayoría es de color verde bastante variable (INIAP, 1993). Las flores nacen en grupos pequeños llamados cojines florales y se desarrollan en el tronco y ramas principales. Las flores salen donde antes hubieron hojas y siempre nacen en el mismo lugar; por eso, es importante no dañar la base del cojín floral para mantener una buena producción. El fruto del cacao llamado comúnmente mazorca, es una drupa grande sostenida por un pedúnculo fuerte fibroso, que procede del engrosamiento del pedicelo floral (Vera, 1993).

### **2.1.2. Variedades.**

El éxito de una nueva plantación de cacao reside en el empleo del mejor material, entre los clones más recomendados de cacao nacional tenemos EET-103, EET-95, EET- 48, EET-19, EET-62, EET-96 (Rivas, 2006).

El genotipo “nacional” tiene un producto que es un suave de buen sabor y aroma a chocolate delicado acompañado por un pronunciado sabor floral y frutal. El cacao nacional se produce únicamente en Ecuador y ha sido clasificado como un tipo forastero, puesto que posee algunas características fenotípicas de este, pero la diferencia con respecto a este grupo radica en que el cacao nacional posee un sabor y aroma característicos, que son muy apreciados por las industrias de todo el mundo.(ANECACAO 2009).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 es fruto de varios años de investigación en hibridación de plantas, lo cual fue realizado de forma acertada por el Agr. Homero Castro Zurita en Naranjal (Provincia del Guayas), por el año de 1965. En la actualidad, del hectareaje total de cacao del Ecuador aproximadamente un 10% corresponde a CCN-51 (INIAP, 1997).

### **2.1.3. Manejo del Cultivo**

#### **2.1.3.1. Riego**

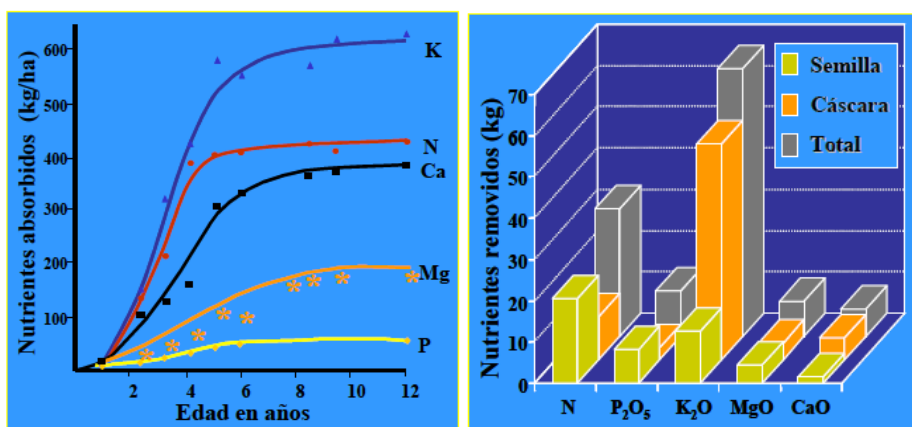
El riego en el cultivo de cacao es una práctica fundamental, especialmente en zonas secas como es el valle de Portoviejo, donde el INIAP recomienda que se realicen riegos al cultivo de cacao por lo menos una vez al mes.

Además, es necesario conocer la cantidad y la calidad del agua que se va a suministrar, ya que esta puede contener contaminantes químicos y físicos. La calidad del agua se define por tres principios: salinidad, sodicidad y toxicidad (INIAP, 2010).

#### **2.1.3.2. Nutrición**

Para la aplicación de fertilizantes se recomienda aplicar en círculos es decir en forma de corona, hasta el cuarto año de vida en campo, luego de lo cual se debe aplicar en toda el área de cultivo debido a que el cacao luego de ese tiempo ha desarrollado un sistema radicular extenso que cubre toda la superficie, además se recomienda que el fertilizante sea incorporado al suelo a una profundidad de 5cm, para evitar la pérdida por volatilización (Crespo, 1997).

La cantidad de nutrientes a aplicar son variables, dependen del tipo de suelo, material plantado, edad de la huerta, intensidad de la sombra, requerimientos de nutrientes del cultivo, contenidos en el suelo y eficiencia o manejo, entre otros. Por lo que se recomienda hacer un mapeo de suelos identificando semejanzas y diferencias que servirán de base para la extracción de muestras y el posterior análisis de las características químicas, físicas, hidrológicas y microbiológicas de suelo (Crespo, 1997).



**Figura 1.** Curvas de absorción de nutrientes por el cacao a través del tiempo y cantidad de nutrientes removidos en una tonelada de almendras.

Fuente: International Plan Nutrition Institute (IPNI), 2002

## 2.2. RIEGOS LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA

Pizarro (1990), menciona que el microrriego o riego localizado es un sistema que localiza y aplica el agua de riego en un entorno de las raíces de la planta, denominado bulbo húmedo, con el fin de que su aprovechamiento sea máximo. El agua se aplica con alta frecuencia, utilizando pequeños caudales a baja presión. Este riego incluye el riego por goteo y la microaspersión.

La localización consiste en que solo se humedece parte del volumen del suelo y se pretende que las raíces obtengan de ese volumen el agua y los nutrientes que necesitan. Además la localización del riego casi obliga a que este se aplique con alta frecuencia; el volumen de suelo es reducido y por tanto la capacidad de almacenamiento es baja, por lo que hay que aplicar dosis reducidas de riego, y para



satisfacer las necesidades de los cultivos con estas pequeñas dosis se deben aplicar con alta frecuencia.

Los sistemas de alta frecuencia se caracterizan por no mojar todo el volumen del suelo, para satisfacer las necesidades de los cultivos se utilizan pequeñas dosis de riego que se aplican con alta frecuencia, el régimen de humedad del suelo se ve modificado constantemente manteniéndose cercana a la capacidad de campo(CC) (Pizarro, 1990).

#### **2.2.1. Riego por Goteo**

El riego por goteo presenta algunas características entre las se pueden destacar: no moja la totalidad del suelo, utiliza pequeños caudales a baja presión, aplica el agua en las proximidades de las raíces, riega con frecuencia para mantener un nivel óptimo de humedad en el suelo, en un bulbo húmedo centrado en el sistema radicular de la planta.

Los goteros son dispositivos que aplican el agua a descargas muy bajas, del orden de 3 a 14 l h<sup>-1</sup> en forma de gotas. Usualmente se colocan sobre la superficie del suelo o enterrados por lo que el principal medio de propagación es el suelo. Existe una gran diversidad de diseños de goteros (Zazueta, 1992).

Los goteros se clasifican según su configuración del paso de agua tenemos a los de conducto largo, los de laberinto, de orificio, tipo vortex y autocompensado. Mientras que según la forma de conexión se clasifican en goteros sobrelínea (tipo botón), interlínea e integrados.

### **2.2.2. Riego por Microaspersión**

Los microaspersores son dispositivos que aplican el agua a descargas del orden de 15 a 80 l h<sup>-1</sup> en forma de llovizna (gotas muy finas). Su característica principal es que usan una boquilla que distribuye el agua a través del aire sobre una superficie relativamente grande. Tiene la ventaja de que depende menos de las características hidráulicas del suelo para su distribución del agua. Sin embargo al distribuir el agua por el aire hay pérdidas por evaporación y sensibilidad al viento (Zazueta, 1992).

### **2.2.3 Ventajas de los riegos localizados de alta frecuencia (RLAF)**

En la línea de los RLAF, se ubican el goteo y la microaspersión, entre las principales ventajas tenemos:

Zazueta (1992), citando estos RLAF menciona las siguientes como: máxima eficacia de riego (90-95 %); ahorro de agua por un mejor aprovechamiento de la misma; reducción al mínimo en pérdida por percolación y escorrentía; posibilidad de

regar si la topografía del terreno es irregular y espesores pequeños de suelo; mayor uniformidad de riego; las partes foliares permanecen secas, lo que reduce los tratamientos fitosanitarios; reducción de malas hierbas, que se concentran sólo alrededor de los goteros; permite la aplicación localizada de abonos mediante fertirrigación con una eficacia elevada; mínimo gasto de energía de las plantas en la absorción de agua y nutrientes al mantenerse el bulbo húmedo a capacidad de campo.

Además Martínez (2010), menciona otras ventajas tales como: Ahorro de mano de obra. Esto ocurre debido a que el sistema generalmente es automatizado o semi automatizado; control adecuado de la aplicación y la distribución del agua en el suelo; no existe interferencia a causa de los vientos, como en el sistema de riego por aspersión.

Del riego localizado se obtienen algunos beneficios agronómicos, tales como:

Aumento en la producción y calidad de los frutos, ya que se mantiene un bajo esfuerzo de humedad del suelo durante todo el ciclo del cultivo; riego continuo del cultivo durante un tiempo prolongado sin que esto traiga problemas de asfixia radicular; fertilización a través del agua de riego, aumentando la eficiencia, la localización y dosis de los abonos. De esta misma manera se pueden aplicar otros agroquímicos, permite realizar simultáneamente al riego otras labores culturales, ya que al haber zonas secas, no se presenta obstáculo para desplazarse sobre el terreno. Evita la lixiviación de los nutrientes del suelo y el control sanitario se reduce notablemente.

#### **2.2.4. Desventajas del sistema de riego de alta frecuencia**

Martínez (2010), menciona que costo inicial de adquisición es elevado, dependiendo del cultivo, topografía y el grado de automatización que se quiera del equipo, El taponamiento de los emisores (goteros principalmente) debido a que su área de salida es bastante reducida, esto está relacionado directamente con la filtración y la calidad química del agua. En caso de utilizar aguas con alto contenido de sales periódicamente sin realizar lavados al final de cada ciclo, el suelo corre el peligro de aumentar el contenido de sales a corto o mediano plazo; requiere que los usuarios tengan conocimientos en el manejo adecuado del equipo instalado; no es recomendable utilizarlo en cultivos de cobertura total.

#### **2.2.5. Aplicación de Riego por Goteo en Cacao**

Entre las experiencias de investigación registradas oficialmente en el país, se puede citar los resultados obtenidos por Romero y Proaño en el año 2008 donde determinaron que al aplicar un sistema de riego por goteo utilizando el 80% de la lámina de riego programada, se obtiene un incremento de la producción y no se produce un detrimento en la producción anual por hectárea, producto de la época seca.

Romero & Proaño (2008), comparando el sistema de riego por goteo versus micro-aspersión, determinaron que el sistema por micro-aspersión requiere un 12% más agua que el goteo. El rendimiento alcanzado con la implementación de un sistema de riego

por goteo fue de 2000 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, superiores a lo 1 681 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> que produjo los sistemas de micro-aspersión, acotando que estos se produjo con una fertilización cero.

## **2.3. FACTORES DEL SUELO QUE INFLUYEN SOBRE EL RÉGIMEN DE RIEGO**

### **2.3.1. Propiedades Físicas del Suelo**

#### **2.3.1.1. Densidad aparente del suelo**

Avidan (1994), menciona que la densidad aparente de un suelo es la relación que existe entre el peso seco a (105° C) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo este volumen incluye las partículas sólidas y el volumen ocupado por poros:

$$Da = \frac{Ws}{Vt}$$

En donde:

Da= Densidad Aparente del suelo, g cm<sup>-3</sup>.

Ws= Peso seco de una muestra de suelo, g

Vt= Volumen total de la muestra, cm<sup>3</sup>

En relación a la zona del proyecto se reporta que en la mayoría de suelos de origen volcánico presentan una densidad aparente de  $\geq 0,9$  g cm<sup>-3</sup> lo que daría una característica esponjosa a estos suelos (Neall, 2010).

### 2.3.1.2. Densidad real del suelo

Jaramillo (2002), define la densidad real como el peso de las partículas sólidas del suelo, relacionado con el volumen que ocupan, sin involucrar en el volumen el espacio ocupado por los poros y como constante los suelos de origen volcánico presentan una densidad de  $2.65 \text{ g cm}^{-3}$  para suelos de origen volcánico.

Su fórmula es: 
$$Dr = \frac{Ws}{Vs}$$

En donde:

$Dr$ = Densidad Real del suelo,  $\text{g cm}^{-3}$

$Ws$ = Peso seco de una muestra de suelo, g

$Vs$ = Volumen ocupado por las partículas sólidas de la misma muestra,  $\text{cm}^3$

### 2.3.1.3. Porosidad

La porosidad total del suelo es el volumen de éste que no está ocupado por sólidos; es el volumen que hay disponible en el suelo para los líquidos y los gases. Debido a que la porosidad del suelo depende de las características de su fracción sólida, ella se estima con base en las densidades real y aparente, según la relación:

$$P = \left[ 1 - \frac{Da}{Dr} \right] * 100$$

Donde:

P= Porosidad total, %.

Da= Densidad aparente, g cm<sup>-3</sup>

Dr= Densidad real, g cm<sup>-3</sup>

#### **2.3.1.4. Textura del suelo**

La textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina, en el suelo; estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (Ar), Limo (Lo) y Arcilla (Ac) (Fuentes, 2003). La textura del suelo tiene especial significado en: aireación, movimiento del agua, retención de humedad, retención y liberación de iones, disponibilidad de nutrientes y con ellos en su productividad, erodabilidad, uso y manejo.

Entre las partículas más finas y representativas de los suelos volcánicos se encuentran las arcillas Alofanos, Imogolitas, Protoimogolitas y los Hidroxidos de hierro. Las arcillas Alofanos tienen una característica singular son una microesfera, que les transfiere la capacidad de contener agua en su interior, cuando estas arcillas se secan estas colapsan y cuando se rehidratan vuelven a su tamaño original (Neall, 2010).

### **2.3.2. Estados de Humedad del Suelo**

#### **2.3.2.1. Saturación.**

Según Pizarro (1990), un suelo está saturado cuando todos sus poros están llenos de agua. Esta situación se puede presentar cuando a cierta profundidad existe un estrato impermeable, cuando el drenaje es demasiado lento, etc. Si se permite que un suelo saturado drene libremente, el contenido en agua comienza a descender vaciándose primero los poros más grandes, que son ocupados por el aire. El agua eliminada se denomina agua libre o gravitacional y no es retenida por el suelo. En el estado de saturación, el potencial mátrico es cero.

#### **2.3.2.2. Capacidad de campo**

Pizarro (1990), define a la capacidad de campo, donde el drenaje un momento finaliza en que el suelo es decir no pierde más agua. En este estado se dice que el suelo está a capacidad de campo (CC), los poros más pequeños retienen el agua contra la fuerza de la gravedad y los poros mayores están en buena parte ocupados por aire. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos, que encuentran en el suelo agua abundante retenida con una energía que es fácilmente superada por la de succión de las raíces al mismo tiempo que el suelo está suficientemente aireado para permitir la respiración radicular.



Jaramillo (2002), define a la Capacidad de Campo como el contenido de humedad con que queda el suelo, luego de que sus macroporos han drenado completamente; se llega a esta condición de humedad luego de dejar drenar el suelo saturado, entre 48 y 72 horas; el agua en esta condición está retenida a tensiones comprendidas entre -0,1 y -0,3 bares.

Neall (2010), menciona que los suelos de origen volcánico presentan una propiedad característica, la cual es su alto contenido de agua en capacidad de campo.

#### **2.3.2.3. Punto de marchitez permanente**

Otro punto de equilibrio de la humedad del suelo, es el punto de marchitez permanente (PMP) que no depende sólo de la humedad del suelo, ya que intervienen también las condiciones meteorológicas, densidad de raíces, condiciones osmóticas, de la solución del suelo, etc. Sin embargo, numerosas mediciones han mostrado que ese estado corresponde a un potencial mátrico comprendido entre -10 y -20 bares, con un valor medio aproximado de -15 bares. Al igual que la capacidad de campo, el punto de marchitez depende más de la textura que de la estructura y se puede medir en muestras alteradas (Pizarro, 1990).

### 2.3.3. Agua Util.

Según Pizarro (1990), los defectos e imprecisiones de los conceptos capacidad de campo y punto de marchites, tienen un gran significado agronómico, ya que representan los límites máximo y mínimo de la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos; la cantidad de agua comprendida entre esos dos valores se define como Agua útil (Au). La humedad correspondiente a los estados de capacidad de campo (CC) y punto de marchites (PMP) y el agua útil (Au) se puede expresar en términos de humedad gravimétrica o volumétrica; en cualquier caso se cumple:

$$Au = CC - PMP$$

Gráficamente los estados de humedad en el suelo se pueden representar con el siguiente gráfico:

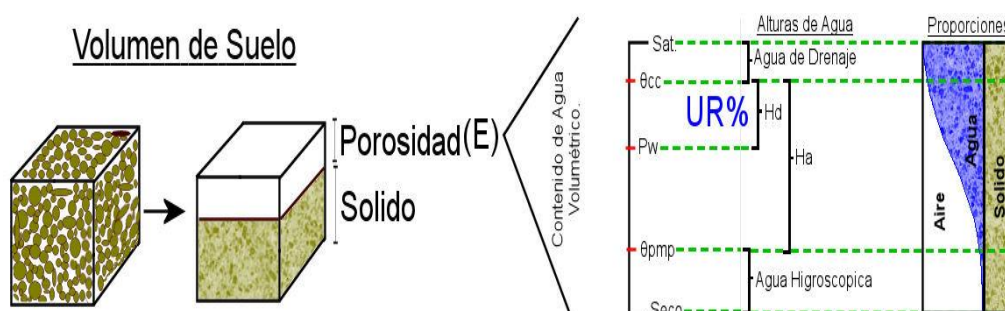


Figura 2. Dinámica del agua en el suelo

Fuente: (Vallarino 1997)

Donde: Saturación (Sat), Capacidad de Campo ( $\theta_{cc}$ ), Humedad del Suelo (Pw), Punto de Marchitez Permanente ( $\theta_{pmp}$ ), Humedad aprovechable (Ha), Humedad disponible o de déficit (Hd).

### 2.3.3.1. Determinación del contenido de agua

Se trata de establecer la cantidad de agua que contiene el suelo, expresada como porcentaje, con base en el peso (contenido gravimétrico), o en el volumen (contenido volumétrico) de una muestra representativa de aquel. La manera más común de medir la humedad del suelo es la gravimétrica y se calcula con base en el suelo seco al horno, para tener un nivel de referencia igual en todos los suelos y poderlos comparar, según la siguiente expresión:

$$W (\%) = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} * 100$$

Donde:

W: Porcentaje de humedad, %

Psh: Peso del suelo húmedo, g

Pss: Peso del suelo seco al horno, g

### 2.3.4. El flujo o Movimiento de Agua en el Suelo

Cuando el agua del suelo está en equilibrio, el potencial total en el sistema es constante y, por lo tanto, no hay ningún movimiento de ella en el suelo. El movimiento de agua en el suelo se da cuando las condiciones de equilibrio se rompen y se generan diferencias de potencial entre los diferentes puntos del sistema.

### 2.3.4.1. Permeabilidad

GEOSOPORT (2007), define la permeabilidad como la capacidad de un cuerpo (en términos particulares, un suelo) para permitir en su seno el paso de un fluido (en términos particulares, el agua) sin que dicho tránsito altere la estructura interna del cuerpo. Dicha propiedad se determina objetivamente mediante la imposición de un gradiente hidráulico en una sección del cuerpo, y a lo largo de una trayectoria determinada.

El concepto permeabilidad puede recibir también las acepciones de conductividad o transmisividad hidráulica, dependiendo del contexto en el cual sea empleado.

La permeabilidad se cuantifica en base al coeficiente de permeabilidad, definido como la velocidad de traslación del agua en el seno del terreno y para un gradiente unitario. El coeficiente de permeabilidad puede ser expresado según la siguiente función:

$$k = Q / I A$$

Donde

k: coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica  $m s^{-1}$

Q: caudal,  $m^3 s^{-1}$

I: gradiente hidráulico  $m m^{-1}$

A: sección  $m^2$

En proyectos de ingeniería y arquitectura, las unidades con las que se expresa generalmente el coeficiente de permeabilidad son  $\text{cm s}^{-1}$  y  $\text{m s}^{-1}$ ; en los ámbitos de la hidráulica o la hidrogeología es habitual observar notaciones como  $\text{cm día}^{-1}$ ,  $\text{m año}^{-1}$  y similares.

#### **2.3.4.2. Infiltración**

Se define como infiltración la cantidad de agua en movimiento que atraviesa verticalmente la superficie del suelo producto de la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares, esta cantidad de agua quedara retenida en el suelo o alcanzara el nivel freático del acuífero, incrementando el volumen de este (UNALM, 2004).

Entre los factores más importantes que afectan la velocidad o tasa de infiltración son:

- Características físicas de la textura del suelo.
- Carga hidráulica o lámina sobre la superficie del suelo.
- Contenido de materia orgánica y carbonatos sobre el suelo.
- Contenido de humedad en el suelo (inicial y saturación).
- Grado de uniformidad en el suelo.
- Acción microbiana en el suelo.
- Temperatura del suelo y agua.

- Cobertura vegetal
- Uso del suelo.
- Cantidad de aire atrapado en el suelo.
- Lavado de material fino.
- Compactación del suelo.

#### **2.3.4.3. Velocidad de infiltración.**

La infiltración es la penetración del agua en el suelo, y está condicionada por las modificaciones instantáneas del volumen del agua y de la presión en la superficie del suelo cuando este es sometido a una precipitación más o menos intensa, a un riego o a un vertido contaminante (Seoánez, 1999).

La velocidad de infiltración o intensidad de entrada, se puede definir como la velocidad de penetración del agua en el perfil del suelo, cuando la superficie del terreno está cubierta por una capa de agua poco profunda.

Cuando se administra agua a un área de terreno, con el fin de restituir el contenido de agua en el suelo, puede ocurrir que la cantidad de agua absorbida aumente con el tiempo menos que proporcionalmente. Al representar gráficamente la lámina acumulada del agua infiltrada ( $I_{acum}$ ) contra el tiempo ( $t$ ), resulta un tipo de curva (Holzapfel y Matta, 2001).

La infiltración acumulada se la puede dimensionar con la siguiente formula:

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

Dónde:

$I_{cum}$  =Lámina infiltrada acumulada, mm h<sup>-1</sup>

A =Infiltración instantánea, mm

t =Tiempo transcurrido durante el cual el agua se encuentra sobre la superficie del suelo (min).

B =Pendiente de la recta de la curva de  $I_{cum}$ .

#### **2.3.4.4. Almacenamiento y drenaje.**

En particular los suelos con muchos elementos gruesos dentro del perfil y sobre la superficie presentan grandes variaciones en sus propiedades (hidrológicas principalmente) de carácter anisotrópico que se manifiestan a cortas distancias.

Neall (2010), menciona que en la mayoría de suelos de origen volcánico pueden retener el agua con una fuerza de hasta 0,33 bar, esto junto con densidades de 0,9 g cm<sup>-3</sup> le dan a estos suelos propiedades como suelos esponjosos y consistencia friables, además menciona que estos suelos poseen excelentes propiedades de drenaje, debido a la gran cantidad de macro poros que drenan relativamente rápido el agua por acción de la gravedad, factores que en conjunto proporcionan al suelo una alta conductividad hidráulica. Menciona también que los suelos de origen volcánico poseen la capacidad de almacenar pequeñas cantidades de agua en sus

arcillas Alófanas debido a que estas poseen una cavidad en forma de micro esfera donde almacenan agua que puede ser usada por las especies vegetales en momento de escases de agua en los suelos.

## **2.4. NECESIDAD DE RIEGO DE LOS CULTIVOS.**

Castañón citado por Granda (2006), menciona que “Para regar correctamente los cultivos es necesario conocer no solo las relaciones agua-suelo, cuentan también las relaciones del agua con la atmósfera.” Debido a las condiciones climáticas existen movimientos de agua entre suelo, planta y atmósfera de ahí que es necesario conocer las relaciones de la planta con la atmósfera, determinados en los siguientes conceptos.

### **2.4.1. La Evapotranspiración.**

La transpiración es el agua que penetrando a través de la raíces es utilizada en la construcción de tejidos o emitida hacia la atmósfera y la evaporación es el agua evaporada por el terreno adyacente, por la superficie del agua o desde la superficie de las hojas de las plantas.



#### **2.4.1.1. Evapotranspiración de referencia, Eto.**

La Eto es la pérdida de agua de una cubierta vegetal abundante, sin suelo desnudo, sin limitaciones de suministro hídrico, cuando los factores meteorológicos son los únicos que condicionan dicha evapotranspiración.

#### **2.4.1.2. Evapotranspiración del Cultivo, Etc.**

La Etc se refiere a la evapotranspiración de un cultivo sano que crece en un suelo fértil y con suficiente cantidad de agua para dar un cultivo pleno.

#### **2.4.2. Uso Consuntivo o Necesidades de Riego**

El Uso Consuntivo permite determinar las necesidades hídricas de los cultivos, dichas necesidades que generalmente se denominan Etc, depende de:

- a)** Parámetros climáticos.
- b)** Disponibilidad de agua.
- c)** Tipo y variedad de cultivo.
- d)** Densidad de siembra.
- e)** Estado de desarrollo del cultivo.

El Uso Consuntivo o Evapotranspiración de cualquier cultivo se obtiene mediante la siguiente fórmula: (Granda, 2006).

$$\mathbf{Etc = Eto \times Kc}$$

**Donde:**

Etc = Evapotranspiración del cultivo, mm día<sup>-1</sup>.

Eto = Evapotranspiración del cultivo de referencia o potencial, mm día<sup>-1</sup>.

Kc = Coeficiente del cultivo, adimensional (ver anexo 2), texto de la FAO 56.

#### **2.4.2.1. Coeficiente del Cultivo, Kc.**

Conocido como también como coeficiente cultural. Varía con el cultivo y el periodo vegetativo, suele calcularse por meses o por periodo del ciclo en que su valor cambia. El cálculo del Kc se realizan de los periodos más representativos del ciclo del cultivo como son inicial que comprende el desarrollo vegetativo, medio el cual esta formado por la floración y fructificación, y el periodo final que es la cosecha.

El coeficiente de cultivo (Kc) para cacao está establecido en 0.90 para las cuatro etapas fenológicas del cultivo, dato publicado por la Universidad Agraria del Ecuador como parte del proyecto IG-CV-087 financiado por el PROMSA y citado por (Romero & Proaño 2008).

Según la FAO(2006),establece que los Kc para Cacao son Kc inicial 1,0, Kc medio 1,05 y un Kc final de 1,05ver anexo 2.

### **Fases vegetativas del cacao**

El CATIE (2008), en sus investigaciones resume que el cacao no tiene crecimiento continuo, tiene fases de reposo vegetativo. Las plantas jóvenes tienen un crecimiento rítmico con periodos de reposo constante, lo que sugiere que está controlado por factores endógenos.

En cambio plantas adultas crecen con periodos de desarrollo y de reposo irregulares, lo que sugiere que depende de factores exógenos (temperatura, precipitación y contenido de nutrientes en el suelo).

El crecimiento inicial es ortotrópico con emisión de hojas a un ritmo que sugiere que es independiente del clima, más bien está bajo control interno de la planta. Crecen menos a pleno sol debido a las limitaciones de la expansión de la hoja debido a la excesiva transpiración (estrés por agua).

### **Factores que afectan el crecimiento**

- La temperatura media óptima es de 23°C a 25°C
- Por debajo de las temperaturas óptimas se reduce la tasa fotosintética, el crecimiento vegetativo, la floración y el desarrollo de frutos.
- Las oscilaciones de temperaturas inducen a la brotación. Principalmente cuando hay diferencias de 9°C entre temperaturas máxima y mínimas durante un periodo de por lo menos dos semanas.
- La disponibilidad de agua es indispensable para el desarrollo y funcionamiento del cacao.
- Cuando hay un déficit hídrico significa que la evaporación es superior a la precipitación produce efectos negativos, se retarda el crecimiento vegetativo, se retarda la emisión y crecimiento foliar, se produce una deshidratación y caída de hojas y flores, causa problemas fisiológicos a la floración y al desarrollo de los frutos.
- Un buen contenido de K le da al cacao más tolerancia a las sequías

## **CAPÍTULO III.**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO**

Provincia: Santo Domingo de los Tsáchilas

Cantón: Santo Domingo

Parroquia: Luz de América

Sector: El Congoma

Dirección: Km 15 Vía Santo Domingo Quevedo sector el Congoma

La ubicación Geográfica en UTM van desde:

9961800 hasta 9961500 para el Norte

682100 hasta 692300 para el Este

De acuerdo a la propuesta preliminar del sistema de clasificación vegetal para el Ecuador continental de (Sierra *et al.*) el sector pertenece a la formación natural de Bosque Tropical Húmedo (bh-T), entre 250 – 1300 m.s.n.m.

Altitud: 270 msnm.

Temperatura: 24,9 °C

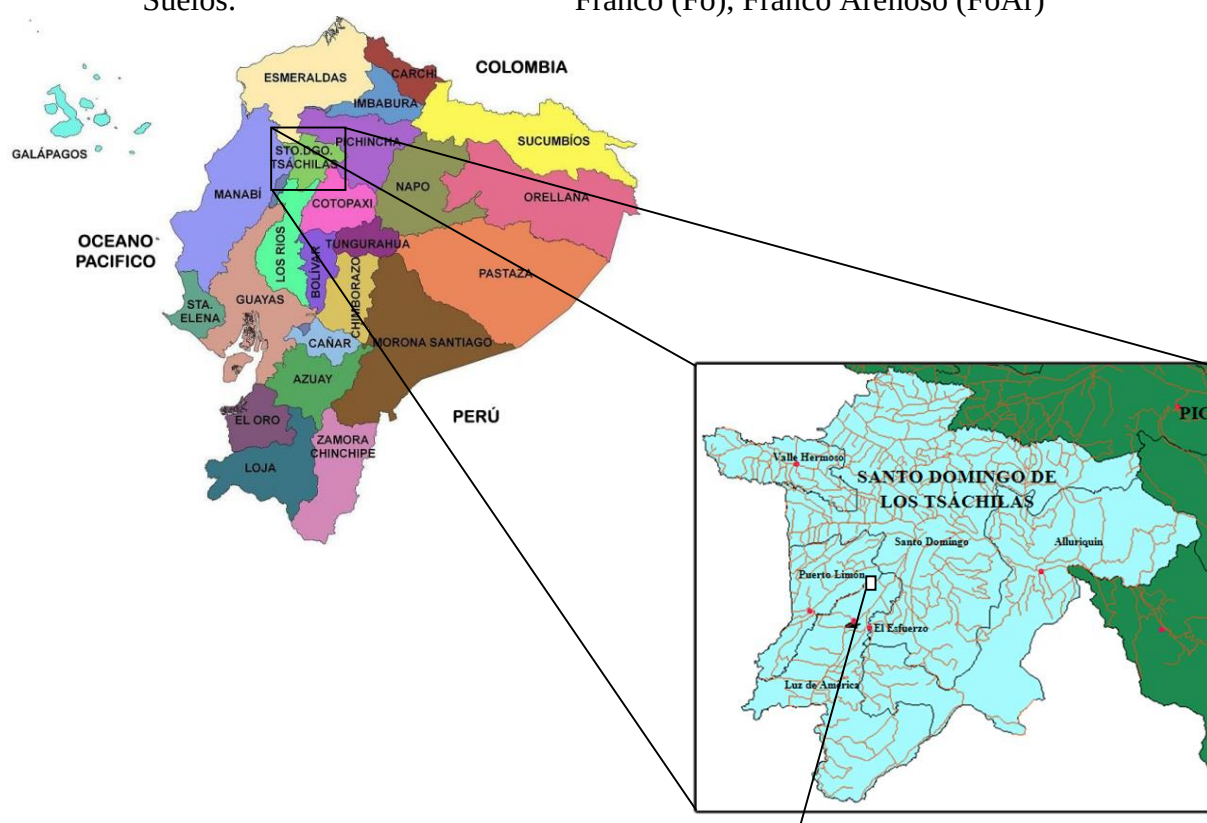
Precipitación: 2877,4 mm año<sup>-1</sup>. Estación de Puerto Ila y  
2986,3 mm año<sup>-1</sup>. Estación de Santo Domingo

Humedad relativa: 89 %

Velocidad del viento: 1,6 m seg<sup>-1</sup> SW

Heliofania: 680 h-sol año<sup>-1</sup>

Suelos: Franco (Fo), Franco Arenoso (FoAr)



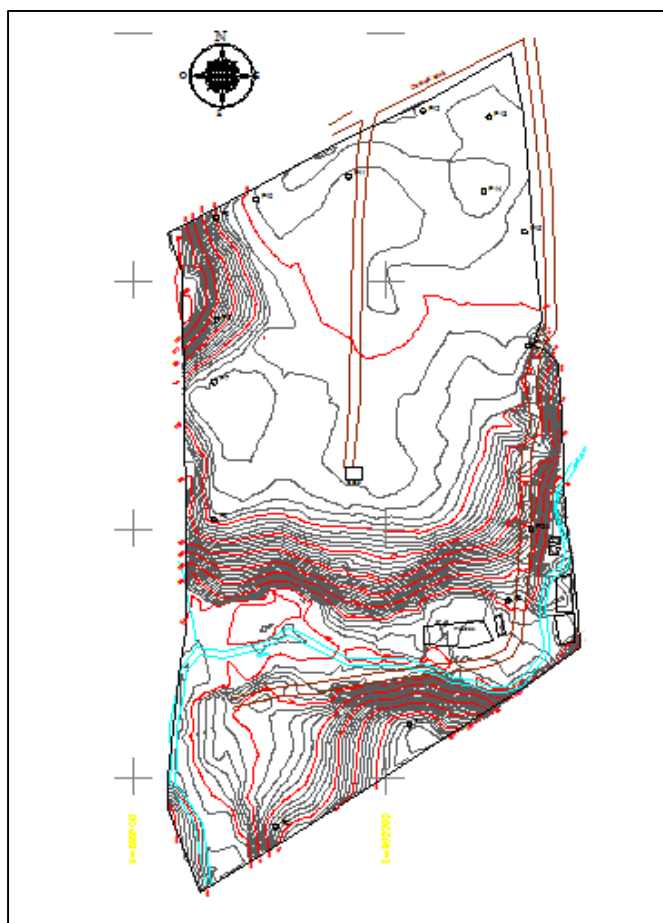


Figura 3. Localización Geográfica de la zona en estudio Comuna el Congoma Santo Domingo de los Tsáchilas.

Fuente: (ArcView 3.2)

## 3.2. MATERIALES

### 3.2.1. Materiales y Herramientas

Canecas de agua, fundas para coleccionar muestras, pala redonda y cuadrada, machete, cilindros infiltrómetros, cilindros Densidad aparente, nivel, combo flexómetro, plástico adherente, cañas, alambre, plástico, pala abre hoyos, barreno de inserción, barreno saca muestras, tanque de 200 l, estacas, agua destilada, manguera, marcador permanente, navaja, pipeta, probeta, lupa, libro de campo, mapa base digitalizado de la finca, probetas de 1000ml, hojas de campo.

### **3.2.2. Equipos**

Computadora, peachímetro, conductivímetro, estufa, mufla, balanza digital, cámara fotográfica, GPS, hidrómetro de Bouyucos, cronómetros, termómetro, licuadora industrial.

## **3.3. MÉTODOS.**

### **3.3.1. Descripción de las Características Físicas y Edáficas del suelo en Estudio.**

#### **3.3.1.1. Levantamiento topográfico del terreno.**

El levantamiento topográfico se ejecutó en febrero del 2012. En la propiedad del señor Efrén Ochoa, que cuenta con una superficie de 3,8 ha totales de superficies pero las destinadas al cultivo de cacao son 3,5 ha la forma del terreno es rectangular. El levantamiento topográfico se detalló con curvas de nivel a 0,5 metros. Por el centro del predio se trazó un transecto donde se ubicaron tres puntos de muestreo con estos se construyeron las calicatas (una por punto de muestreo) para caracterizar los perfiles del suelo. El levantamiento topográfico se constituyó como el mapa base para el presente estudio.

#### **3.3.1.2. Descripción de paisajes y perfiles de suelos.**

La descripción del paisaje y perfiles de suelo de la finca se fundamentó en la “Guía para la descripción de Suelos”, de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Estas descripciones se realizaron en cada una de las tres calicatas establecidas en el transecto.

#### **3.3.1.3. Mapeo del suelo.**

El mapeo de suelos se lo efectuó mediante la ayuda de software AutoCAD tomando como referencia en mapa base de la finca, a una escala de 1:1500 al igual que todos los mapas consecuentes del estudio.

#### **3.3.1.4. Mapa base.**

El mapa base (finca del Señor Efrén Ochoa), se realizó mediante el levantamiento topográfico de la finca, que posteriormente se digitalizó en AutoCAD a escala 1:1500. Este plano es el mapa base para los posteriores mapeos de las variables, velocidad de infiltración básica, textura, pendientes, del área en estudio.

#### **3.3.1.5. Mapa de Velocidad de Infiltración Básica, VIB.**



Se determinó la velocidad de infiltración básica en el área de estudio con ayuda de los anillos infiltrometros, y de acuerdo con la información encontrada se delimitó por zonas, las áreas que fueron semejantes o diferentes en su VIB, todo esto se realizó en el programa AutoCAD.

#### **3.3.1.6. Mapa de texturas.**

Para el mapa de texturas se tomaron dos muestras por punto de evaluación para sacar un valor promedio entre las dos muestras. Una vez analizados las texturas en laboratorio y por medio del análisis electrónico de texturas del USDA, se delimitó las áreas del mapa donde se representaron diferentes las texturas.

Las muestras que fueron consideradas en el mapeo de texturas de suelo fueron tomadas en los 20 cm superiores del suelo. El procedimiento para determinar la textura en laboratorio fue el siguiente:

**Para determinar la textura del suelo se siguió el siguiente procedimiento**

##### **Primero: Dispersión del suelo:**

- Se pesó 50 g de la muestra de suelo recolectada en campo previamente tamizada.

- Se colocó en un vaso de precipitación de 100 ml y se agregó 10 ml del dispersante hidróxido de sodio (Na OH) 0,1N, posteriormente se completó a 100 ml con agua destilada
- Se agitó con una varilla y dejó reposar el suelo por 30 min.
- Transcurrido los 30 minutos, se transfirió la suspensión al vaso de la licuadora eléctrica, teniendo cuidado de lavar el residuo de suelo que pudo quedar en el vaso de precipitación, para lo cual se usó la pipeta.
- Se agitó el suelo durante 5 min.
- Se transfirió la suspensión a la probeta de 1000 ml se completó con agua destilada el volumen total del cilindro. Se generó espuma y se agregó tres gotas de alcohol isoamílico.

### **Segundo: Suspensión del suelo y recolección de datos.**

- Se colocó un guante de caucho en la boca del cilindro y se mezcló la suspensión sostenido firmemente con ambas manos el cilindro durante 3 minutos.
- Se depositó sobre la mesa y se registró el tiempo (se puso en marcha el cronómetro).
- Inmediatamente, se sumergió con cuidado el hidrómetro en la suspensión (es recomendable observar el hidrómetro previamente para familiarizarse con el y la forma de lectura del mismo) y se tomó una lectura cuando transcurrió 40

segundos. Se registró la lectura del hidrómetro en gramos por litro y del tiempo en segundos.

- Se tomó la temperatura en grados centígrados de la suspensión y se registró.
- A los 120 min (2 horas) se tomó otra lectura con el hidrómetro al igual que de la temperatura de la suspensión.

### **Tercero: Cálculo de los resultados.**

Formulas generales:

$\% \text{ de Arena} = 100 - (\text{Primera lectura corregida a los } 40 \times 2)$

$\% \text{ de Arcillas} = \text{Segunda lectura corregida a las 2 horas} \times 2$

$\% \text{ de Limo} = 100 - (\% \text{ de Arena} + \% \text{ de Arcilla})$

La corrección de las lecturas se la hace mediante una tabla ya establecida para el efecto.

#### **3.3.1.7. Mapa de pendientes.**

Para el mapa de pendientes se realizó una apreciación y valoración de las pendientes existentes en la zona para luego realizar la gráfica de las mismas, este mapeo se lo realizó en el programa AutoCAD a escala 1:1500, Para la clasificación se tomó como base la clases de gradiente de pendientes de suelos realizada por la FAO (2009).

Cuadro 1. Descripción de suelos según sus clases de gradiente de suelo de acuerdo con el criterio de la FAO (2009).

| Clase | Descripción               | %       |
|-------|---------------------------|---------|
| 01    | Plano                     | 0-0.2   |
| 02    | Nivel                     | 0.2-0.5 |
| 03    | Cercano al nivel          | 0.5-1.0 |
| 04    | Muy ligeramente inclinado | 1.0-2.0 |
| 05    | Ligeramente inclinado     | 2-5     |
| 06    | Inclinado                 | 5-10    |
| 07    | Fuertemente inclinado     | 10-15   |
| 08    | Moderadamente escarpado   | 15-30   |
| 09    | Escarpado                 | 30-60   |
| 10    | Muy escarpado             | >60     |

### **3.3.2. Evaluación de las Condiciones Ambientales y Meteorológicas del Área en Estudio**

#### **3.3.2.1. Obtención de Información Meteorológica.**

Se utilizó la información meteorológica y climática histórica con base a una estadística desde el año 1964 hasta el 2009, que se encuentra disponible en los anuarios del Instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología INAMHI, y que son de libre acceso en su respectiva página web: [www.inamhi.gob.ec](http://www.inamhi.gob.ec)

### **3.3.2.2. Elaboración de matriz para determinar el uso consuntivo del cultivo y la variables meteorológicas.**

Se creó una matriz con los datos de importancia para el diseño de riego. Datos como:

Temperatura máxima.

Temperatura mínima.

Precipitación media mensual.

Humedad Relativa promedio en %.

Heliofanía media mensual.

Velocidad del Viento.

Evaporación.

Los valores procesados se utilizaron para determinar el uso consuntivo del cultivo de cacao.

### **3.3.2.3. Determinación de la (Eto)**

Se calculó en valor de la Eto (evapotranspiración potencial), para esto se utilizó el software CROPWAT el cual incluye la fórmula de PenmanMontheit aprobada por la FAO para calcular la Eto y la cual requirió los datos meteorológicos históricos antes mencionados.

Fórmula PenmanMontheit

$$ET_o(P - M) = \frac{0,408 * \Delta(Rn - G) + \gamma * \frac{900}{T+273} * U_2 * (es - ea)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)}$$

**Dónde:**

Eto= Evapo-transpiración de referencia calculada, mm día<sup>-1</sup>

$\Delta$  = Tangente de la curva de la presión del vapor de agua, Kpa°C<sup>-1</sup>

Rn = Radiación neta sobre la superficie del cultivo, MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>

G = Densidad de flujo de calor del suelo, MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>

$\gamma$  = Constante psicrométrica, Kpa °C<sup>-1</sup>

T = Temperatura media diaria del aire a 2 m de altura, °C

U2 = Velocidad del viento a la altura 39arabóli de 2 m, m s<sup>-1</sup>

es = Presión del vapor de agua a saturación, Kpa

ea = Presión del vapor actual, Kpa

(es – ea)= Déficit de la presión del vapor de agua a saturación, Kpa

G = Se omite a los cálculos cuando el intervalo entre riegos sucesivos es corto.

El valor de la Eto(mm día<sup>-1</sup>) tomada en cuenta para el diseño de riego fue el de mayor valor registrado en el año.

### **3.3.2.4. Programación de riego**

La programación del riego, se realizó mediante el programa informático CROPWAT, incluyendo el análisis de los datos climáticos y el cálculo de la evapotranspiración potencial (mm mes<sup>-1</sup>), adicionalmente se consideró el cálculo de la precipitación efectiva (mmmes<sup>-1</sup>), requerimientos de agua del cultivo (CWR),mmmes<sup>-1</sup>, y el ratio de las necesidades de riego (IWR), mmmes<sup>-1</sup>; para una frecuencia de riego determinada, dependiendo del sistema de riego a emplearse y del cultivo en estudio.

A continuación de resumen las fórmulas necesarias para la utilización e interpretación de los resultados en el programa CROWAT 8.0 (FAO, 2006).

$$\mathbf{CWR = Etm = Kc \times Eto}$$

**Donde:**

CWR = Requerimiento de agua del cultivo, mm día<sup>-1</sup>

Etm = Evapotranspiración máxima, mm día<sup>-1</sup>

Kc = Coeficiente del cultivo (adimensional)

Eto = Evapotranspiración potencial, mm día<sup>-1</sup>

$$\mathbf{IWR = CWR - Eff. Rain}$$

**Donde:**

IWR = Requerimiento de agua de riego, mm mes<sup>-1</sup>.

Eff. Rain = Precipitación efectiva, mmmes<sup>-1</sup>.

$$\mathbf{TAM = CC - PMP}$$

**Donde:**

TAM = Humedad total almacenada, mm

CC = Capacidad de campo, % hbs (porcentaje de humedad en base seca)

PMP = Punto de marchites permanente, % hbs

$$\mathbf{RAM = (P) \times TAM}$$

**Donde:**

RAM = Agua fácilmente disponible para el cultivo, mm

(P) = Factor de agotamiento o umbral de riego.

La lámina neta se calculó en base a la siguiente ecuación.

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{100} \right) * Da * 1000$$

**Donde:**

Ln = Lámina neta considerada a 1m de profundidad, mm m<sup>-1</sup>

Da = Densidad aparente, g cm<sup>-3</sup>

### **3.3.3. Planificación y Diseño de un Sistema de Riego por Goteo de Acuerdo a Condiciones Edafo-climáticas y Fisiológicas del Cultivo.**

#### **3.3.3.1. Requerimiento de agua del cultivo de Cacao**

##### **Determinación de la Etc**

Para determinar el valor de la Etc se aplicó la siguiente fórmula:

$$ETc = ETo * Kc$$

**Donde:**

Etc= Es la evapotranspiración del cultivo, mm día<sup>-1</sup>

Eto= Evapotranspiración de referencia, mm día<sup>-1</sup>

Kc= Coeficiente del cultivo

##### **Cantidad de agua por árbol**



Para calcular la cantidad de agua aplicar por árbol, se empleó la siguiente fórmula con ayuda de la Etc calculada anteriormente:

$$Vt = \frac{ETc * Eeh * Esh}{Efa}$$

**Donde:**

Vt = es el volumen total por árbol, l día<sup>-1</sup>

Etc=es la evapotranspiración del cultivo, mm día<sup>-1</sup>

Eeh, = el espaciamiento de los árboles entre hileras, m

Esh, = espaciamiento de los árboles sobre la hilera, m

Efa, = la eficiencia de aplicación, %

### **Selección del emisor**

En la selección del emisor, se considerará la forma y el tamaño del volumen humedecido en el suelo, esto depende de la densidad aparente del suelo y la textura que posea, además está determinado del arreglo y número de emisores, del programa de riego y las características del movimiento de agua en el suelo.

### **Número de emisores**

El número de emisores por planta es variable y es función del estado de desarrollo de los cultivos o árboles, de la densidad de plantación, el volumen radicular que se desea humedecer, el volumen total a aplicar, el tiempo de riego y del tipo de gotero.

El número de emisores se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Ne = \frac{Vt}{Qe * Hrs}$$

**Donde:**

$N_e$  = es el número de emisores,

$V_t$  = es el volumen total de agua a aplicar,  $l \text{ dia}^{-1} \text{ arbol}^{-1}$

$Q_e$  = caudal del emisor,  $l \text{ h}^{-1}$

Hrs, = corresponde al número de horas de riego por subunidad(es), que funcionan en forma simultánea, h.

Para la selección del número de emisores, se ha considerado el volumen máximo de agua a reponer, que se corresponde a la Etc-max.

Para seleccionar el número de emisores se ha de considerar aspectos como el costo por emisor, el costo en energía de mantener activados los equipos de riego y el patrón de humedecimiento que se requiera.

### **Patrón de humedecimiento**

El patrón de humedecimiento para riego por goteo depende de la descarga del emisor, el tipo de suelo y el espaciamiento entre emisores, para este análisis se tomará como base los estudios realizados por Karmeliet *al*, en (1985), que relacionan el diámetro humedecido con la descarga del emisor, para diferentes tipos de suelo.

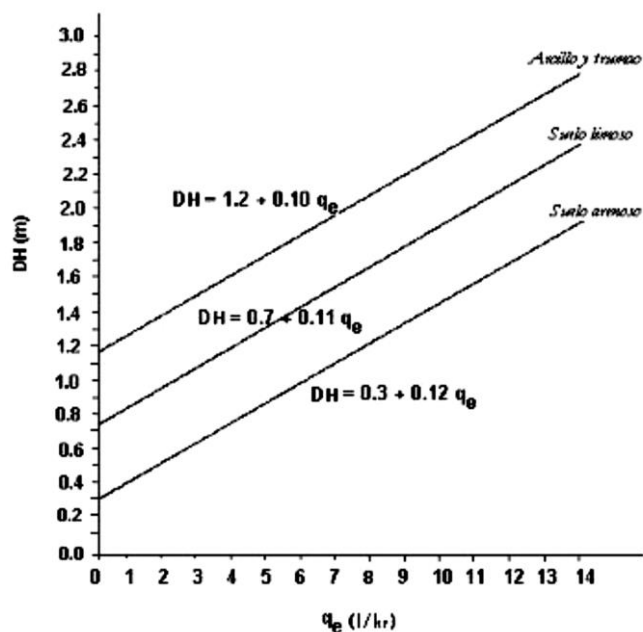


Figura 4. Relación entre el diámetro de humedecimiento (DH) con el caudal de un emisor ( $q_e$ ) para distintos tipos de suelo (Karmeli *et al.*, 1985).

### Diámetro Húmedo

Para determinar el diámetro húmedo, se utilizará la fórmula de (Karmeli *et al.*, 1985), acorde a la textura de suelo que se halle mediante análisis.

Para suelos arcillosos y francos, la fórmula queda de la siguiente manera.

$$DH = 1,2 + 0,10q_e$$

**Donde.**

DH = corresponde al diámetro húmedo descrito por el emisor (m);

$q_e$  = es el caudal nominal del emisor ( $l\ h^{-1}$ ) a una presión determinada.

### Área de Humedecimiento

Ahora en base al DH se determinará el área de humedecimiento, aplicando la siguiente ecuación:

$$AH = \frac{\pi * DH^2}{4}$$

**Donde.**

AH = área de humedecimiento descrita por el emisor, m<sup>2</sup>.

DH = Diámetro húmedo, m.

$\pi$  = valor de PI (3,14).

### **Porcentaje de Humedecimiento.**

El porcentaje de humedecimiento viene a ser el área humedecida, respecto del área del cultivo o marco de plantación, obteniéndose con la formula siguiente:

$$P = \frac{AH}{Eeh * Esh} * 100$$

**Donde.**

P = es el porcentaje de humedecimiento, %

AH = el área de humedecimiento, m<sup>2</sup>

Eeh y Esh, = es el factor entre espaciamento de hileras y columnas de plantas, m.

### **Gotero óptimo económico**

En la selección óptima económico de goteros se consideran tanto los costos fijos anuales (CF) como los costos variables anuales (CV), asociados a un sistema de riego localizado. Al sumar ambos resultados se obtiene el costo total anualizado (CTA), conocido también como costo anual equivalente. El gotero que resulte con el menor valor mencionado corresponderá al gotero óptimo económico. El CTA, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$CTA = CF + CV$$

Los costos fijos corresponden a los costos relacionados a la inversión requerida en la adquisición e instalación de los goteros. Los costos variables son aquellos relacionados a la operación y mantención del sistema.

### **Costos fijos para goteros**

Un factor importante a considerar es el valor que tiene el dinero en el tiempo para el posterior análisis de costos. Esto se logra trabajando en base a un valor presente o en base al costo fijo anualizado. En cualquier caso se tienen que considerar los siguientes factores: tasa de interés anual ( $i$ ), vida útil del gotero en años ( $n$ ), y tasa anual de aumento de costos de energía  $\epsilon$  (Zazueta 1992).

El factor de recuperación del capital (FRC) está dado por:

$$FRC(i, n) = \frac{i * (i + 1)^n}{(i + 1)^n - 1}$$

El costo fijo anualizado para cada gotero está dado por:

$$CF(G) = \{CI(G) + C(G)\} * N(G) * FRC(i, n)$$

Donde  $CF(G)$  es el costo fijo anualizado para un determinado número de goteros (idéntico modelo y caudal, en \$/año),  $CI(G)$  es el costo instalación de un gotero (\$),  $C(G)$  es el costo de adquisición de un gotero (\$),  $N(G)$  es el número de goteros que cumplan con el requerimiento del cultivo en un sistema de riego,  $FRC(i, n)$  es el factor de recuperación del capital a un interés anual  $i$  para una vida útil del gotero de  $n$  años.

### **Costos variables para goteros**

El factor de costo equivalente de la energía anualizado (FCE) está dado por:

$$FCE(e, i, n) = \left[ \frac{(1 + e)^n - (1 + i)^n}{e - i} \right] * \left[ \frac{i}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

Donde **e** es la tasa de incremento anual de la energía en fracción decimal, **i** corresponde a la tasa de interés anual en fracción decimal y **n** es la vida útil de un sistema de riego por goteo, en años.

El costo variable o de operación (CV), se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$CV = \frac{CAEE * Q * N(G) * Pe}{NS * 367200}$$

Donde CV es el costo de operación anual (\$/año), CAEE es el costo anual equivalente de la energía (\$/año), Q es el caudal del emisor (l h<sup>-1</sup>), N(G) es el número de goteros que cumplan con el requerimiento del cultivo en un sistema de riego, NS es la superficie que se riega en forma simultánea y Pe es la presión de operación del emisor (m.c.a).

El costo anual equivalente de la energía (CAEE), esta dado por la siguiente 47arabóli:

$$CAEE = \frac{To * Cc * FCE(e, i, n)}{Eb * PPUC}$$

Donde CAEE es el costo anual equivalente de la energía (\$ año<sup>-1</sup>), To, es el número de horas de operación al año (hr), Cc es el costo del combustible (\$/unidad de combustible o energía), FCE(e,i,n) es el factor de costo equivalente para una tasa de incremento anual de energía €, un interés (i), y una vida útil (n), Eb es la eficiencia de

la bomba en forma decimal, y PPUC es la potencia generada por unidad de combustible, HP-hr/l o HP-hr/kW-hr.

Cuadro 2. Valores de energía generada por unidad de combustible.

| <i>Unidad de potencia</i>        | <i>Energía generada</i>   |
|----------------------------------|---------------------------|
| Diesel                           | 4,0 HP-h/l                |
| Gasolina (enfriamiento por agua) | 2,8 HP-h/l                |
| Combustible de tractor           | 2,2 HP-h/l                |
| Butano – propano                 | 2,5 HP-h/m <sup>3</sup>   |
| Gas natural                      | 3,0 HP-h-h/m <sup>3</sup> |
| Eléctrica                        | 1,2 HP/Kw-h               |

Fuente: Zazueta (1992)

### 3.3.3.2. Diseño de Subunidad.

El diseño de la subunidad incluye el cálculo de los parámetros hidráulicos de la red de riego, es decir el caudal de riego por lateral, caudal en la tubería secundaria y caudal en el auxiliar; así también los diámetros hidráulicos de las tuberías calculadas.

Para el diseño de la subunidad se requerirán los siguientes parámetros.

- Caudal del emisor
- No. Emisores por árbol
- Caudal por árbol
- Presión de trabajo del emisor
- Tolerancia de presión en subunidad (20% e)
- Longitud del lateral
- Longitud del secundario
- Espaciamiento de emisores
- Espaciamiento de laterales

Estos parámetros, se ingresarán en la hoja de cálculo de Excel configurada para el efecto “Diseño de Microriego” 49arabólica49es49s resultados del diseño.

### **Características de la tubería lateral**

Los parámetros hidráulicos del lateral incluyen: diámetro, longitud, caudal, pérdidas de carga, presión de entrada, presión del último emisor.

Las pérdidas de carga se determinaron de acuerdo con la ecuación de Darcy-Weisbach, la que se indica a continuación:

$$H_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

H<sub>f</sub>= Pérdidas de carga en el lateral, m.c.a.

f = Factor de fricción salidas múltiples, adim.

L = Largo del lateral, m

D = Diámetro del lateral, m

V = Velocidad del fluido, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

g = Aceleración de gravedad, 9,81 m s<sup>-2</sup>

Las pérdidas de carga unitarias de acuerdo con Darcy-Weisbach, expresada en términos de gasto quedan:

$$j = 0,0826 * f * \frac{Q^2}{D^5}$$

Donde:

f = Factor de fricción salidas múltiples



$Q$  = Caudal total en la tubería,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

$D$  = Diámetro interno de la tubería,  $\text{m}$

El valor de  $f$ , corresponde al coeficiente de fricción y depende del Número de Reynolds. Para cada sector de flujo dependiendo si este esté laminar, turbulento o se ubica en la franja de transición el valor de  $f$  adopta varios valores en la ecuación, quedando en cada caso como se indica a continuación:

$$\text{Re} < 2000 \quad f = 64 \cdot \text{Re}^{-1}$$

$$3000 > \text{Re} > 107 \quad f = 0,32 \cdot \text{Re}^{0,25} \text{ Ecu. de Blasius}$$

$$10^5 > \text{Re} > 10^7 \quad f = 0,13 \cdot \text{Re}^{-0,172}$$

El número de Reynolds a ser empleado en las Ecuaciones, en función del gasto se determina de acuerdo con la ecuación:

$$\text{Re} = 352,64 * \frac{Q}{D}$$

Donde

$\text{Re}$  = Número de Reynolds

$Q$  = Caudal total que circula por la tubería,  $\text{l h}^{-1}$

$D$  = Diámetro interno de la tubería,  $\text{mm}$

Las pérdidas de carga por longitud y rozamiento se determinan de acuerdo con la siguiente formula:

$$H_p = L * J * F$$

Donde:

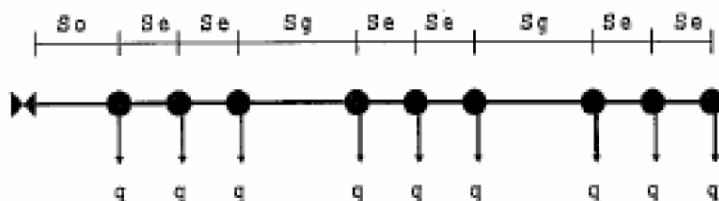
$H_p$  = Pérdidas de carga por longitud y rozamiento,  $\text{m.c.a.}$

$L$  = Longitud del tramo o de la tubería, m

$F$  = Factor de salidas múltiples, adim

$J$  = Perdidas de carga unitaria,  $m\ m^{-1}$

La longitud máxima del lateral, considerara el criterio para consumos intermedios agrupados.



La longitud  $L$ , se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$L = (S_o - S_g) + N_1 * N_2 * S_e + (S_g - S_e) * N_2$$

Donde:

$L$  = Longitud máxima del lateral, m.

$S_o$  = Espaciamiento del primer emisor, m.

$S_e$  = Espaciamiento entre emisores, m.

$S_g$  = Espaciamiento entre grupo de emisores, m.

$N_1$  = Número de emisores por grupo (6 en el presente proyecto)

$N_2$  = Número de grupos (corresponden al número de plantas por lateral)

El factor  $F$  para emisores instalados en grupo, se determinan en función de un factor de forma  $Fr$  y del  $F$  de Christiansen, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$Fr = \frac{S_2}{S_1}$$

$$F_g = \frac{1 - Fr}{1 + Fr} * F\left(\frac{N}{2}, m\right) + \frac{2 * Fr}{1 + Fr} * F(N, m)$$

Dónde:

$F(N/2,m)$  = Es el factor de Christiansen para  $N/2$  orificios y un  $m$  que para Darcy-Weisbach es 1,75.

$S2$  = Es la menor separación entre emisores o laterales, m.

$S1$  = Es la mayor separación entre emisores o laterales, m.

Para determinar el diámetro de la tubería a utilizar, se consideró las pérdidas de carga por longitud y rozamiento  $H_p$ , cuidando siempre que esta no exceda de las pérdidas de carga admisibles; para el caso de las laterales corresponden al 15% de la presión de trabajo del gotero (20 m.c.a.), siendo en el presente proyecto de 3 m.c.a. En la tubería secundaria se admitió el criterio del 5% de la presión de operación del emisor, siendo esta de 1 m.c.a. En el diseño hidráulico se considera la presión máxima, que corresponde a la presión de entrada, bien sea para los laterales, como para la tubería secundaria. Hay que tomar en cuenta la pendiente del terreno ( $H_g$ ), a la que se debe sumar o restar, dependiendo en cada caso si esta es positiva o negativa. La ecuación se define por:

$$P_{max} = P_{op} + 3/4H_p \pm \frac{H_g}{2}$$

Dónde:

$P_{máx}$  = Presión máxima a la entrada de la tubería, m.c.a.

$P_{op}$  = Presión de operación (presión de operación del aspersor), m.c.a.

$H_p$  = Pérdidas de carga por longitud y rozamiento, m.c.a.

$H_g$  = Desnivel del terreno, m.

La presión mínima, también conocida como la presión en el último emisor, se determina mediante la ecuación:

$$P_{min} = P_{op} - 1/4H_p \pm \frac{Hg}{2}$$

Los parámetros son los mismos de la Ecuación anterior. Seguidamente el cálculo hidráulico de los laterales.

### **Características de la tubería terciaria**

Los parámetros hidráulicos del terciario son los siguientes: diámetro, longitud, pérdidas de carga, caudal.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en el terciario, se empleó así mismo la ecuación de Darcy- Weisbach. Cabe aclarar que las subunidades con geometría trapezoidal el procedimiento de cálculo del factor de salidas múltiples de Christiansen no se aplica en esta condición, debiendo corregirse de acuerdo con un factor de ajuste  $S_f$  y se calcula conforme la siguiente ecuación.

$$S_f = \frac{2q_N}{q_1 + q_N} \quad (q_N > q_1)$$

Dónde:

$S_f$  = factor de forma de la subunidad de riego

$q_N$  = Caudal del último lateral

$q_1$  = Caudal del lateral inicial

### **Características de la tubería secundaria**

Los parámetros hidráulicos del secundario son los siguientes: diámetro, longitud, pérdidas de carga, caudal.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en el secundario, se empleó así mismo la ecuación de Darcy- Weisbach.

De igual forma se tomó en cuenta los mismos factores que el cálculo de la tubería terciaria y laterales como los número de Reynolds ( $Re$ ), pérdidas de carga por longitud y rozamiento ( $H_p$ ), factor de forma de la subunidad de riego ( $S_f$ ).

### **Características de la tubería matriz**

El cálculo hidráulico de la tubería matriz, incluyo las pérdidas de carga con el caudal y longitud desde la bomba de cada subunidad. Este procedimiento es importante, porque permite determinar a ciencia cierta cuál es la subunidad más demandante en caudal y presión para poder establecer las condiciones de la bomba. Las pérdidas de carga se obtuvieron de forma similar, con la ecuación de Darcy-Weisbach.

### **Pérdidas de carga por singularidad en cada sector**

Las pérdidas de carga incluyeron los accesorios instalados a nivel de la estación de bombeo, pasando por la tubería secundaria, concluyendo el lateral. Las pérdidas singulares para la tubería secundaria con sus respectivas laterales, se calcularon para cada módulo de riego, no así la estación de bombeo, que es igual en todos los casos.

Las pérdidas se calcularon en función del gasto empleándose la siguiente fórmula a continuación:

$$H_{acc} = k \frac{0,0826}{D^4} Q^2$$

Donde:

$H_{acc}$  = Pérdidas singulares, m

K = Coeficiente que depende de cada accesorio, (ver tabla en Anexo 8)

D = Diámetro hidráulico, m

Q = Caudal de diseño,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

Para facilitar todos estos cálculos se elaboró una hoja electrónica en el programa Excel el cual se resume en la siguiente subrutina.

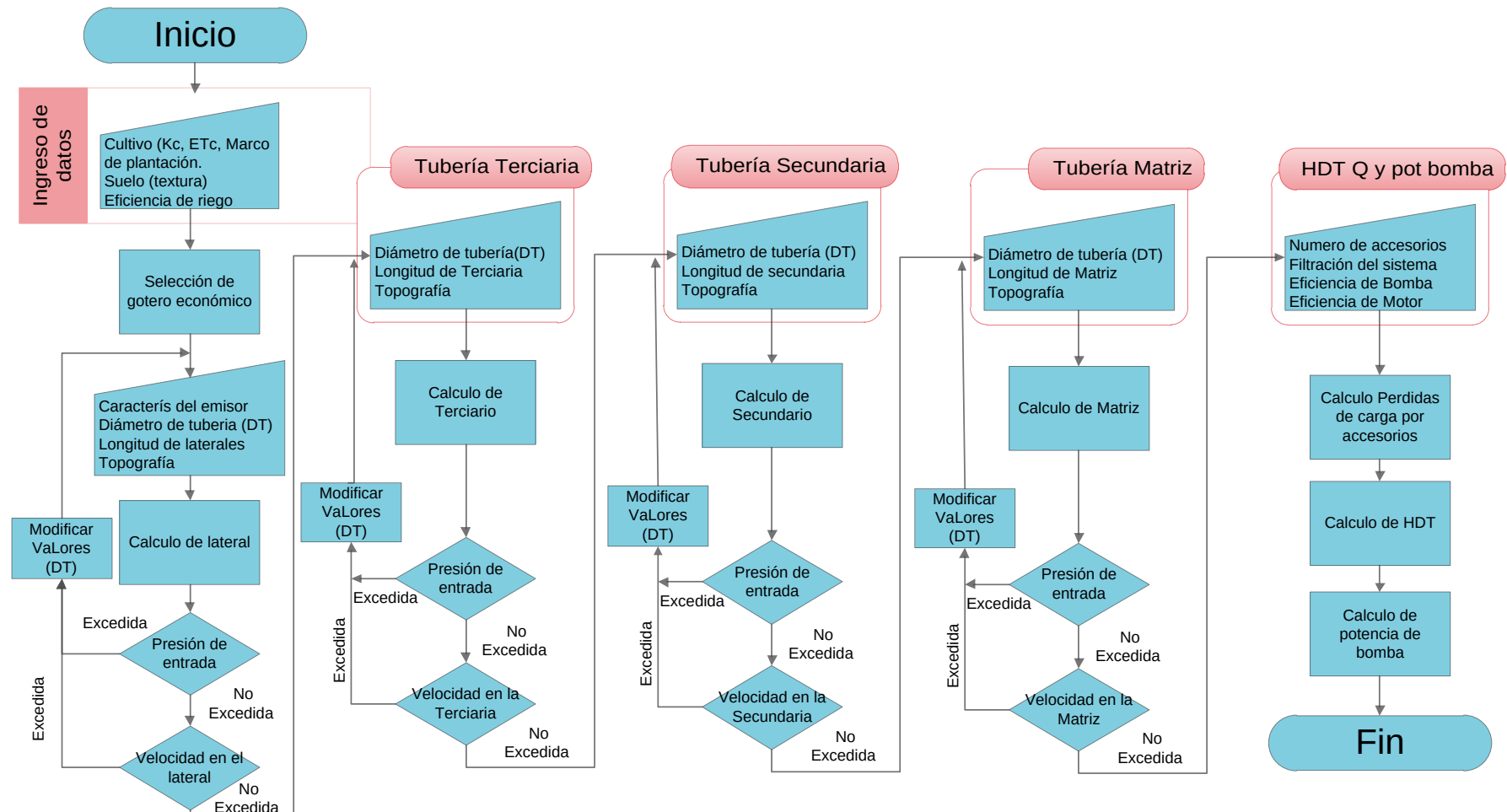


Figura 5. Subrutina de cálculo y diseño de riego por goteo

### **3.3.4. Planificación y Diseño de un Sistema de Riego por microaspersión de Acuerdo a Condiciones Edafo-climáticas y Fisiológicas del Cultivo.**

#### **3.3.4.1. Parámetros de diseño para el riego por microaspersión**

##### **Lámina de agua a reponer considerando criterio de riego**

El criterio de riego del cultivo de cacao se ha considerado el valor en 0,30 para condiciones sin estrés hídrico (FAO, 1990). Los datos de CC, PMP y Da se tomaron de los cuadros realizados anteriormente para el diseño de riego por goteo, considerandos para los diferentes estratos del perfil, hasta donde las condiciones son favorables para el desarrollo de raíces

La lámina de riego se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$LR = \frac{CC - PMP}{100} \times Da \times Pr \times CR$$

Donde:

LR = Lámina de riego

CC = Capacidad de campo, %hbs

PMP = Punto de marchitez permanente, %hbs

Da = Densidad aparente, g cm<sup>-3</sup>

Pr = Profundidad radicular, mm

CR = Criterio de riego



### **Frecuencia de riego.**

En el cálculo de la frecuencia de riego, se requiere conocer la humedad equivalente (mm) del suelo y la Evapotranspiración actual (mm día<sup>-1</sup>). Con fines de diseño se considera la Etc máxima exhibida por el cultivo en todo su período vegetativo. Se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{Lr}{ETc}$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego, días

Lr = Lámina de riego, mm

Etc = Evapotranspiración del cultivo, mm día<sup>-1</sup>

### **Velocidad de infiltración básica a considerar en el proyecto**

La velocidad de infiltración básica (VIB) y la infiltración acumulada (Icum) se obtuvo mediante el método de los cilindros infiltrómetros. Los datos obtenidos a nivel de campo se procesaron de acuerdo al método estadístico de los mínimos cuadrados.

Las siguientes fórmulas permitieron estimar la velocidad de infiltración en cada sitio.

$$1) \ m = \frac{\sum xy - (\sum x \cdot \sum y) / N}{\sum (x^2) - (\sum x)^2 / N}$$

$$2) \quad b = \frac{\sum y - (m.x)}{N}$$

$$3) \quad I_{cum} = At^B$$

$$4) \quad I_v \text{ (mm/h)} = I_{nf} \text{ (mm)} / t \text{ (min)} * 60$$

$$5) \quad T_b = - 600 b \text{ (Tb en minutos)}$$

$$6) \quad V_{lb} = a . T_b^b \text{ (Lb en minutos)}$$

Donde:

N = Número de datos recolectados.

I<sub>cum</sub> = Lámina acumulada o infiltrada.

I<sub>v</sub> = Velocidad de infiltración

T<sub>b</sub> = Tiempo básico

V<sub>lb</sub> = Velocidad de infiltración básica.

### **Selección del aspersor y características de trabajo**

En la selección del aspersor primeramente se ha determinado cual es la velocidad del viento prevaleciente en la zona; estudios refieren valores del orden de 4,32 Km

$h^{-1}$  este dato permite a priori, establecer las características del aspersor de acuerdo con el catálogo del fabricante. Seguidamente se seleccionó el aspersor, con fines de riego considerando las siguientes características.

Número de toberas, diámetro de toberas, presión ideal de trabajo, diámetro húmedo (a 0,5 m de altura del porta aspersor), radio de alcance, caudal, disposición (triangular), espaciamiento máximo de acuerdo con fabricante.

### **Cálculo del espaciamiento entre aspersores y laterales**

Para el cálculo del espaciamiento entre aspersores y laterales, se ha observado la velocidad del viento (V), cuyo valor es de  $4,32 \text{ Km h}^{-1}$ . Con base en V, para una disposición triangular, se recomienda un espaciamiento entre aspersores (Se) igual al 75% del diámetro húmedo (Dh). En este caso, el valor de 75%, viene a ser un factor de corrección por incidencia del viento, pudiendo variar entre 30 y 75% dependiendo de las condiciones de la zona.

Para el cálculo del espaciamiento en una disposición triangular, donde Se es diferente a Sl, se ha empleado la siguiente ecuación:

$$Sl = \frac{Se}{2} * \text{tang } 60$$

Dónde:

Se = Espaciamiento entre emisores, m.

Sl = Espaciamiento entre laterales, m.

### 3.3.4.2. Diseño de la subunidad.

#### Características de la tubería lateral

Los parámetros hidráulicos del lateral incluyen: diámetro, longitud, caudal, pérdidas de carga, presión de entrada, presión del último emisor.

Las pérdidas de carga se han determinado de acuerdo con la ecuación de Hazen Williams, la que se indica a continuación.

$$J = 10,665 \frac{Q^{1,852}}{(C)^{1,852} \cdot D^{4,869}}$$

Dónde:

Hf = Pérdida de carga, m.

Q = Caudal, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams (depende del material, tabla 3)

D = Diámetro hidráulico, m.

Cuadro 3. Coeficiente Hazen-Williams para algunos materiales

| <i>Material</i>                 | <i>C</i> | <i>Material</i>    | <i>C</i> |
|---------------------------------|----------|--------------------|----------|
| Asbesto cemento                 | 140      | Hierro galvanizado | 120      |
| Latón                           | 130-140  | Vidrio             | 140      |
| Ladrillo de saneamiento         | 100      | Plomo              | 130-140  |
| Hierro fundido, nuevo           | 130      | Plástico (PE, PVC) | 140-150  |
| Hierro fundido, 10 años de edad | 107-113  | Tubería lisa nueva | 140      |
| Hierro fundido, 20 años de edad | 89-100   | Acero nuevo        | 140-150  |
| Hierro fundido, 30 años de edad | 75-90    | Acero              | 130      |
| Hierro fundido, 40 años de edad | 64-83    | Acero rolado       | 110      |
| Concreto                        | 120-140  | Lata               | 130      |
| Cobre                           | 130-140  | Madera             | 120      |
| Hierro dúctil                   | 120      | Hormigón           | 120-140  |

Fuente: (Miliarium, 2006).

Las pérdidas de carga por longitud y rozamiento se determinaron de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$H_p = L * J * F$$

Donde:

$H_p$  = Pérdidas de carga por longitud y rozamiento (m.c.a.)

$L$  = Longitud del tramo o de la tubería (m)

F = Factor de salidas múltiples

J = Pérdida de carga unitaria, m m<sup>-1</sup>

El factor de salidas múltiples, conocido también como Coeficiente de Christiansen, se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2 * N} + \frac{(m-1)^{1/2}}{6 * N^2}$$

Dónde:

F = Factor de corrección por salidas múltiples

m = 1,851

N = Número de salidas (Corresponde al número de aspersores)

Para determinar el diámetro de la tubería a utilizar, se consideró las pérdidas de carga por longitud y rozamiento Hp, cuidando siempre que esta no exceda las pérdidas de carga admisibles.

En el diseño hidráulico se considera la presión máxima, que corresponde a la presión de entrada, bien sea para los laterales, como para la tubería secundaria. Hay que tomar en cuenta la pendiente del terreno (Hg), a la que se debe sumar o restar, dependiendo en cada caso si esta es positiva o negativa. La ecuación se define por:

$$P_{\max} = P_{op} + \frac{3}{4} Hp \pm \frac{Hg}{2} + Ha$$

Dónde:

$P_{\text{máx}}$  = Presión máxima a la entrada de la tubería (m.c.a)

$P_{\text{op}}$  = Presión de operación (presión de operación del aspersor, m.c.a.)

$H_p$  = Pérdidas de carga por longitud y rozamiento (m.c.a.)

$H_g$  = Desnivel del terreno (m)

$H_a$  = Altura del porta-aspersor (m)

La presión mínima, también conocida como la presión en el último aspersor, se determina mediante la ecuación:

$$P_{\text{min}} = P_{\text{op}} - \frac{1}{4} H_p \pm \frac{H_g}{2}$$

Los parámetros son los mismos que la ecuación anterior.

### **Características de la tubería terciaria.**

Los parámetros hidráulicos del terciario son los siguientes: diámetro, longitud, pérdidas de carga, caudal.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en el ario, se empleo así mismo la ecuación de Hazen-William. Cabe aclarar que las subunidades con geometría trapezoidal el

procedimiento de cálculo del secundario se lo hizo tramo a tramo, donde el único dato que cambia es el caudal de descarga de cada tramo, en este caso del lateral del riego.

La ecuación se traduce en:

$$H_f = 10,665 \cdot L \cdot \frac{Q^{1,852}}{(C)^{1,852} \cdot D^{4,869}}$$

Dónde:

$H_f$  = Pérdida de carga, m.c.a. (metros de columna de agua)

$Q$  = Caudal,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

$C$  = Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams

$D$  = Diámetro hidráulico, m.

$L$  = Longitud equidistante de cada tramo entre laterales, m.

### **Pérdidas de carga en la tubería matriz**

El cálculo hidráulico de la tubería matriz, incluyo las pérdidas de carga con el caudal y longitud desde la bomba de cada subunidad. Este procedimiento es importante, porque permitió determinar a ciencia cierta cuál es la subunidad más demandante en caudal y presión para poder establecer las condiciones de la tubería matriz. Las pérdidas de carga se obtuvieron de forma similar, con la ecuación de Hazen-Williams.

### **Pérdidas de carga por singularidad en cada sector**



Las pérdidas se calcularon en función del gasto empleándose la siguiente fórmula a continuación:

$$H_{acc} = k \frac{0,0826}{D^4} Q^2$$

Dónde:

$H_{acc}$  = Pérdidas singulares, m.c.a. (metros de columna de agua)

$K$  = Coeficiente que depende de cada accesorio, adim.

$D$  = Diámetro hidráulico, m.

$Q$  = Caudal de diseño,  $m^3 s^{-1}$

### 3.3.5. Altura Dinámica Total y Caudal del Equipo de Bombeo

Para el cálculo de la altura dinámica total, se consideró todas las pérdidas de carga (presión), registradas desde la bomba, hasta el emisor más crítico tanto en el sistema de riego por microaspersión como el de goteo. Se determinaron de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$HDT = Pe + Hlat + Hsec + Hmat + Hacc \pm \Delta top + Hsuc$$

Dónde:

HDT = Altura dinámica total, m.c.a. (metros de columna de agua)

$Pe$  = Presión de entrada, m.c.a. (metros de columna de agua)

$Hlat$  = Pérdidas de carga en el lateral, m.c.a. (metros de columna de agua)

$Hsec$  = Pérdidas de carga en el secundario, m.c.a. (metros de columna de agua)

$Hmat$  = Pérdidas de carga en la tubería matriz, m.c.a. (metros de columna de agua)

$Hacc$  = Pérdida de carga por accesorios, m.c.a. (metros de columna de agua)

$\Delta top$  = Diferencia de nivel por topografía (m)

$Hsuc$  = Altura de succión de la bomba (m)

En el cálculo de la potencia de la bomba se ha empleado la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q * HDT}{76 * Eb * Em}$$

Dónde:

P = Potencia de la bomba , HP

Q = Caudal

HDT = Altura dinámica total ,m.c.a

Eb = Eficiencia de la bomba, %

Em = Eficiencia del motor, %

Con fines de diseño, se puede establecer, valores de Eb entre 60 y 70%, para Em entre 70 y 80%, en ambos casos considerando que el equipo es nuevo. En el presente ejercicio se asume el valor de 70% y 80% para Eb y Em respectivamente.

### **Cálculo del NPSH y selección del equipo.**

La altura neta de succión positiva es la cantidad de energía requerida para mover el agua dentro del impulsor y necesaria para que dicha bomba no sufra el fenómeno de cavitación. Para evitar el fenómeno de cavitación el fabricante debe proporcionar el NPSHR y se debe determinar la altura neta de succión positiva disponible (NPSHA) y esta debe ser mayor que el NPSHR.

El cálculo de NPSHA, se determina a partir de la siguiente expresión:

$$NPSHA = ATS - CEA - H_p - e$$

Donde:

NPSHA = Altura neta de succión positiva disponible, m.c.a

ATS = Altura teórica de succión, m.c.a.

CEA = Carga estática de aspiración, m.c.a.

$H_p$  = Pérdidas por fricción en la tubería de aspiración, m.c.a.

$e$  = Presión de vapor del líquido, m.c.a.

La altura teórica de succión depende de la altitud y latitud, en función de la altura sobre el nivel del mar y se la estima a partir del siguiente cuadro.

Cuadro 4. Altura de succión máxima teórica, en función de la altitud sobre el nivel del mar.

| Altura sobre el nivel del mar | Altura teórica de Succión |
|-------------------------------|---------------------------|
| 0                             | 10                        |
| 1000                          | 9,2                       |
| 2000                          | 8,1                       |
| 3000                          | 7,2                       |
| 4000                          | 6,3                       |

Fuente: Jara *et al.* 2005. U de C (Universidad de concepción)

### **Presión de vapor del líquido**

La presión de vapor del líquido a la temperatura de operación puede ser estimada a partir de la siguiente tabla:

Cuadro 5. Presión de vapor del líquido a la temperatura de operación.

|                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura agua °C    | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 40   | 50   |
| Presión de vapor, e(m) | 0,06 | 0,09 | 0,13 | 0,17 | 0,24 | 0,32 | 0,43 | 0,76 | 1,18 |

Fuente: Jara *et al.* 2005.U de C (Universidad de concepción).

### 3.3.6. Cálculo del Filtrado.

Para el cálculo del filtrado, determinamos el área de flujo del gotero, en este caso es de 2 mm<sup>2</sup> (condiciones proporcionadas por el fabricante), que determina un diámetro de 1,59 mm

El diámetro del poro de filtrado se calcula a partir de

$$\theta_{poro} = \frac{\theta_{pasogotero}}{8}$$

Con el valor de mesh o diámetro de poro, se determinó el filtro de arena. En el Anexo 4, se valoró el tamaño más próximo.

El tamaño de partículas mínimos que queda retenida en el filtro es función del caudal que pasa y del tamaño de los granos de arena, normalmente los caudales oscilan entre 30 y 60 m<sup>3</sup> por hora por m<sup>2</sup> de lecho filtrante. El caudal de filtración por metro cuadrado de filtrado se selecciona en función de la calidad de agua a tratar (Anexo 4).

Para la selección del filtro de arena ocupamos los siguientes datos

- Caudal del sistema,  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$
- Diámetro de paso del gotero, mm
- Calidad del agua, condición.

El área de filtración se calculó de acuerdo a:

$$A_{\text{filtrado}} = \frac{Q_{\text{sistema}}}{Q_{\text{específico}}}$$

Q específico= es el caudal que se filtra por unidad de superficie de acuerdo a la calidad del agua, ver (Anexo 4). El caudal del sistema, corresponde al volumen de agua en la unidad de tiempo que consumirá la subunidad de riego

Para facilitar todos estos cálculos se elaboró una hoja electrónica en el programa Excel el cual se resume en la siguiente subrutina.

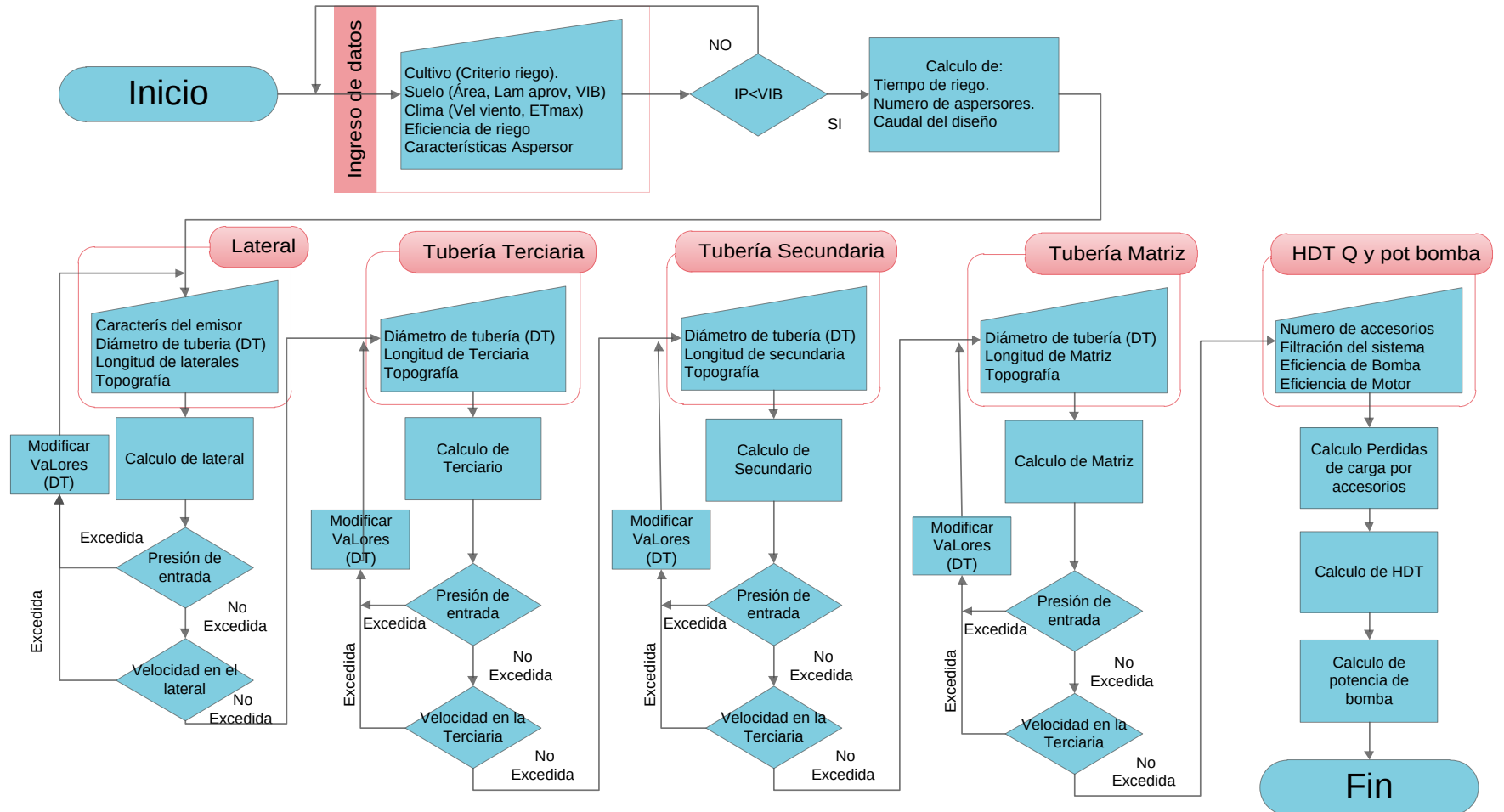


Figura 6. Subrutina de cálculo y diseño de riego por microaspersión.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y EDÁFICAS DEL SUELO EN ESTUDIO.

En el presente estudio se realizaron tres calicatas de los sitios más representativos de la propiedad del Sr. Vinicio Ochoa cuyos datos recolectados serán descritos y analizados a continuación.

Cuadro 6. Ubicación geográfica, altitud, y área aproximada de los sitios de muestreo (calicatas).

| Categorización | Ubicación UTM          | Altitud<br>m.s.n.m. | Área aprox<br>hectáreas |
|----------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
| Calicata 1     | 99611256 N<br>692197 E | 365                 | 1,61                    |
| Calicata 2     | 9961172 N<br>692200 E  | 360                 | 1,14                    |
| Calicata 3     | 9961109 N<br>692203 E  | 361                 | 0,57                    |

Cuadro 7. Características físicas del suelo en los sitios representativos de muestreo.

| Características Físicas |                      |           |            |       |           |         |         |                          |                          |                |
|-------------------------|----------------------|-----------|------------|-------|-----------|---------|---------|--------------------------|--------------------------|----------------|
|                         | Sitio de<br>muestreo | Horizonte | Prof<br>cm | Arena | Limo<br>% | Arcilla | Textura | Da<br>g cm <sup>-3</sup> | DR<br>g cm <sup>-3</sup> | Porosidad<br>% |
| Calicata 1              | Punto 1              | A         | 12         | 56,4  | 10,2      | 33,4    | FoAr    | 0,82                     | 2,65                     | 68,88          |
|                         |                      | B1        | 53         | 60,6  | 13,7      | 25,7    | FoAr    | 0,88                     | 2,65                     | 66,72          |
|                         |                      | B         | 35         | 57,4  | 15,2      | 27,4    | FoAr    | 0,91                     | 2,65                     | 65,66          |
| Calicata 2              | Punto 2              | A         | 14         | 48,8  | 13,2      | 38      | Fo      | 0,92                     | 2,65                     | 65,45          |
|                         |                      | B1        | 50         | 58,4  | 11,7      | 29,9    | FoAr    | 0,95                     | 2,65                     | 64,29          |
|                         |                      | B         | 36         | 50,4  | 15,7      | 33,9    | Fo      | 0,78                     | 2,65                     | 70,75          |
| Calicata 3              | Punto 3              | A         | 10         | 58,4  | 12,2      | 29,4    | FoAr    | 0,83                     | 2,65                     | 68,84          |
|                         |                      | B1        | 56         | 58    | 15,9      | 26,1    | FoAr    | 0,91                     | 2,65                     | 65,55          |
|                         |                      | B         | 34         | 54,4  | 12,6      | 33      | FoAr    | 0,89                     | 2,65                     | 66,40          |



Cuadro 8. Características físicas del suelo en los sitios representativos de muestreo parte dos.

| Características Físicas |                   |           |            |       |      |                     |              |       |      |                   |
|-------------------------|-------------------|-----------|------------|-------|------|---------------------|--------------|-------|------|-------------------|
|                         | Sitio de muestreo | Horizonte | Color seco |       |      |                     | Color húmedo |       |      |                   |
|                         |                   |           | HUE        | VALUE | CHRO | Descripción         | HUE          | VALUE | CHRO | Descripción       |
| Calicata 1              | Punto 1           | A         | 10 YR      | 5     | 4    | Brown (Marrón)      | 7,5 YR       | 3     | 2    | Darkbrown         |
|                         |                   | B1        | 2,5Y       | 6     | 8    | Olive yelow         | 10 YR        | 4     | 3    | Brown             |
|                         |                   | B         | 5 Y        | 5     | 6    | Olive               | 10YR         | 4     | 2    | Darkgrayishbrown  |
| Calicata 2              | Punto 2           | A         | 10 YR      | 5     | 3    | Brown               | 7,5YR        | 3     | 2    | Darkbrown         |
|                         |                   | B1        | 2,5 Y      | 6     | 6    | Ligthyelowwishbrown | 10 YR        | 3     | 3    | Darkbrown         |
|                         |                   | B         | 2,5 Y      | 6     | 4    | Ligthyelowwishbrown | 10 YR        | 3     | 4    | Darkyelowishbrown |
| Calicata 3              | Punto 3           | A         | 10 YR      | 4     | 4    | Darkyelowishbrown   | 7,5 YR       | 3     | 2    | Darkbrown         |
|                         |                   | B1        | 2,5 Y      | 6     | 6    | Olive yelow         | 10 YR        | 3     | 4    | Darkyelowishbrown |
|                         |                   | B         | 2,5 Y      | 7     | 6    | Yelow               | 2,5Y         | 4     | 3    | Olive brown       |

Cuadro 9. Características Químicas e Hidrofísicas del suelo de los puntos de muestreo.

|               | PUNTO de<br>muestreo | Horizonte | Características químicas |              |      | Características hidrofísicas           |                                         |                                                |                     |
|---------------|----------------------|-----------|--------------------------|--------------|------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------|
|               |                      |           | MO<br>%                  | Cec<br>μS/cm | pH   | CC<br>cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> | PMP<br>cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> | Saturación<br>cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> | Inf. Básica<br>mm/h |
| Calicata<br>1 | Punto 1              | A         | 10,61                    | 0,149        | 6,34 | 0,322                                  | 0,195                                   | 0,69                                           | 73,87               |
|               |                      | B1        | 6,66                     | 0,080        | 6,47 |                                        |                                         | 0,67                                           |                     |
|               |                      | B         | 6,29                     | 0,044        | 6,57 |                                        |                                         | 0,66                                           |                     |
| Calicata<br>2 | Punto 2              | A         | 11,48                    | 0,163        | 6,34 | 0,334                                  | 0,204                                   | 0,65                                           | 80,56               |
|               |                      | B1        | 6,77                     | 0,074        | 6,44 |                                        |                                         | 0,64                                           |                     |
|               |                      | B         | 6,78                     | 0,072        | 6,36 |                                        |                                         | 0,71                                           |                     |
| Calicata<br>3 | Punto 3              | A         | 10,23                    | 0,109        | 6,31 | 0,393                                  | 0,245                                   | 0,69                                           | 83,74               |
|               |                      | B1        | 7,18                     | 0,045        | 6,46 |                                        |                                         | 0,66                                           |                     |
|               |                      | B         | 5,36                     | 0,061        | 6,62 |                                        |                                         | 0,66                                           |                     |

Los porcentajes de materia orgánica determinados mediante el método de calcinación en laboratorio, se mostraron con porcentajes elevados en el horizonte superior de cada uno de los sitios de muestreo, mientras que su porcentaje sigue bajando mientras más profunda es la muestra.

La conductividad eléctrica analizada en laboratorio se presentó con parámetros normales, presentándose con un mayor valor en el horizonte superior del suelo. El pH del suelo tiende a ser más ácido en los horizontes superiores.

La velocidad de infiltración en estos suelos medida por el método de los anillos, se presentó bastante elevada a pesar de que su textura es franco y franco arenoso, es debido muy posiblemente a la gran cantidad de raíces de árboles talados que se encontraron durante la elaboración de las calicatas.

#### **4.2. CONDICIONES AMBIENTALES Y METEOROLÓGICAS DEL ÁREA EN ESTUDIO**

Las condiciones medioambientales resumidas a continuación son una recopilación de información desde el año 1964 al 2009

Cuadro 10. Datos meteorológicos estación Puerto Ila año 1964-2009.

| Mes del año | Precipitación<br>mm | TemMínima<br>°C | TemMáxima<br>°C | Humedad<br>Relativa<br>% | Viento<br>Km h <sup>-1</sup> | Insolación<br>Horas día <sup>-1</sup> | Radiación<br>MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> | ETO<br>mm día <sup>-1</sup> |
|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|
| Enero       | 449,5               | 19,6            | 32,2            | 89                       | 5,29                         | 1,9                                   | 12,0                                              | 2,83                        |
| Febrero     | 492,6               | 19,9            | 32,3            | 89                       | 5,21                         | 2,2                                   | 12,8                                              | 2,98                        |
| Marzo       | 543,7               | 19,9            | 32,8            | 88                       | 5,33                         | 2,7                                   | 13,7                                              | 3,21                        |
| Abril       | 529,9               | 20,2            | 32,6            | 89                       | 5,13                         | 2,8                                   | 13,4                                              | 3,11                        |
| Mayo        | 251,4               | 20              | 32,0            | 89                       | 4,58                         | 2,1                                   | 11,7                                              | 2,74                        |
| Junio       | 115,2               | 19              | 31,1            | 90                       | 4,54                         | 1,4                                   | 10,3                                              | 2,43                        |
| Julio       | 51,6                | 18              | 30,7            | 90                       | 4,25                         | 1,6                                   | 10,7                                              | 2,44                        |
| Agosto      | 41,5                | 17,8            | 31,6            | 89                       | 4,01                         | 1,9                                   | 11,7                                              | 2,67                        |
| Septiembre  | 77,5                | 18,4            | 32,2            | 88                       | 4,50                         | 1,6                                   | 11,8                                              | 2,80                        |
| Octubre     | 68,5                | 18,3            | 31,5            | 88                       | 4,83                         | 1,4                                   | 11,5                                              | 2,75                        |
| Noviembre   | 82,8                | 17,8            | 32,3            | 87                       | 5,04                         | 1,4                                   | 11,2                                              | 2,76                        |
| Diciembre   | 173,2               | 19              | 32,3            | 88                       | 4,79                         | 1,5                                   | 11,2                                              | 2,70                        |
| PROMEDIO    |                     | 18,99           | 31,97           | 88,67                    | 4,79                         | 1,88                                  | 11,83                                             | 2,79                        |
| TOTAL       | 2877,4              |                 |                 |                          |                              |                                       |                                                   |                             |

Los proyectos de riego, y toda actividad agrícola se ve afectada por eventos extremos, un ejemplo de ello son las sequías, de ahí la necesidad de garantizar una suficiente dotación de agua. El cuadro corresponde al resumen estadístico de los años (1964-2009), en él se observa que los meses de mayor evapotranspiración son marzo con 3,21 mm, abril con 3,11 y febrero con 2,98mm, estos resultados son la base para establecer la cantidad de agua que se debe aplicar al cultivo y además son la base del diseño de riego.

Cuadro 11. Resultado de análisis en laboratorio de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP), mediante el método de las ollas de presión de Richard.

| Punto de Muestreo | Coordenadas UTM Norte | Coordenadas UTM Este | CC a 1/3 Atm (%) | PMP a 15 Atm (%) | Agua Aprovechable (%) |
|-------------------|-----------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 01                | 9961725               | 692175               | 34,15            | 20,88            | 13,27                 |
| 02                | 9961725               | 692225               | 36,07            | 22,23            | 13,84                 |
| 03                | 9961675               | 692175               | 32,23            | 19,53            | 12,70                 |
| 04                | 9961675               | 692225               | 27,83            | 16,44            | 11,39                 |
| 05                | 9961625               | 692175               | 32,02            | 19,38            | 12,64                 |
| 06                | 9961625               | 692225               | 32,08            | 19,43            | 12,65                 |
| 07                | 9961575               | 692175               | 35,18            | 21,61            | 13,57                 |
| 08                | 9961575               | 692225               | 33,48            | 20,41            | 13,07                 |
| 09                | 9961525               | 692175               | 29,04            | 17,29            | 11,75                 |
| 10                | 9961525               | 692225               | 39,39            | 24,56            | 14,83                 |
| 11                | 9961780               | 692246               | 34,89            | 18,96            | 15,93                 |
| 12                | 9961761               | 692197               | 43,53            | 23,66            | 19,87                 |
| 13                | 9961719               | 692126               | 31,64            | 17,20            | 14,45                 |
| 14                | 9961703               | 692257               | 34,65            | 18,83            | 15,82                 |
| 15                | 9961657               | 692133               | 41,26            | 22,24            | 18,84                 |
| 16                | 9961656               | 692246               | 35,19            | 19,12            | 16,06                 |
| 17                | 9961605               | 692132               | 32,16            | 17,48            | 14,68                 |
| 18                | 9961533               | 692249               | 37,63            | 20,45            | 17,18                 |
| 19                | 9961503               | 692149               | 32,97            | 17,92            | 15,05                 |
| 20                | 9961487               | 692126               | 31,03            | 16,86            | 14,17                 |

Los puntos de muestreo corresponden al centro de un cuadrante, el cual se graficó, (ver anexo 9)

### 4.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEÓ.

#### 4.3.1. Cálculo de gotero Económico

Cuadro 12. Consideraciones generales para el diseño del sistema de riego.

| Características del diseño de riego  |                |                                          |
|--------------------------------------|----------------|------------------------------------------|
| Espaciamiento entre plantas          | 4,00           | m                                        |
| Espaciamiento entre hileras          | 3,61           | m                                        |
| Eto (Evapotranspiración referencia)  | 3,21           | Mm día <sup>-1</sup>                     |
| Coeficiente de cultivo de Cacao      | 1,05           | Kc                                       |
| Etc (Evapotranspiración de cultivo)  | 3,37           | Mmdía <sup>-1</sup>                      |
| Eficiencia del sistema de riego      | 90,00          | %                                        |
| Cantidad de agua a reponer por árbol | 54,08          | l planta <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> |
| Número de Planta por hectárea        | 693            | Plantas ha <sup>-1</sup>                 |
| Textura de Suelo                     | Franco Arenoso |                                          |

Para la selección del número de emisores, se ha considerado el volumen máximo de agua a reponer, que se corresponde a la Etc máxima multiplicado por el Kc del cultivo, exhibiendo un valor de 54,08 l planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Se ha considerado este valor, ya que al tratarse de riego por goteo, se riega diariamente y la demanda debe ajustarse al intervalo más corto en días. Con fines de ejercicio se ha considerado un tiempo de riego no mayor a cinco horas diarias, y emisores con caudales de 2, 3, 4, 8, 12, 14 l h<sup>-1</sup>, obteniéndose los siguientes valores los que se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 13. Número de emisores, obtenido a diferentes caudales y horas de riego con una Etc máxima de 3,37 mm/día

| Tiempo de riego (h)              | 1               | 2     | 3     | 4     | 5     |
|----------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| Vol. (l planta h <sup>-1</sup> ) | 54,08           | 27,04 | 18,03 | 13,52 | 10,82 |
| Caudal (l h <sup>-1</sup> )      | No. De emisores |       |       |       |       |
| 2                                | 28              | 14    | 10    | 7     | 6     |
| 3                                | 19              | 10    | 7     | 5     | 4     |
| 4                                | 14              | 7     | 5     | 4     | 3     |
| 6                                | 10              | 5     | 5     | 3     | 2     |
| 8                                | 7               | 4     | 3     | 2     | 2     |
| 12                               | 5               | 3     | 2     | 2     | 1     |
| 14                               | 4               | 2     | 2     | 1     | 1     |

En el cuadro 13 se observa que el número de goteros varía con el caudal de los emisores y con el tiempo de riego, así se tiene que para suministrar un caudal de 54,08 l planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, en 1 hora con emisores de 2 l h<sup>-1</sup>, se requieren 28 goteros por árbol, valor bastante alto considerando el costo de emisores y de la energía. Se observa también, que con un emisor de 8 l h<sup>-1</sup>, se requiere 7 emisores para 1 hora de riego, y 3 emisores si se quiere regar durante 3 horas, y 2 emisor si se riegan 4 o 5 horas, queda entonces como paso 80arabólica80es evaluar el área de humedecimiento dependiendo de cada caso.

El patrón de humedecimiento para riego por goteo depende de la descarga del emisor, el tipo de suelo y el espaciamiento entre emisores. En la Fig. 4 de la metodología se muestra un gráfico de base empírica (Karmeli et al, 1985), que relaciona el diámetro humedecido con la descarga del emisor, para diferentes tipos de suelo.

El desarrollo del presente estudio, considera un suelo franco arenoso, con densidad aparente ( $D_a$ ) de  $0,82 \text{ g cm}^{-3}$ , y una profundidad no mayor a  $0,3 \text{ m}$ . La función de descarga del gotero ( $\text{l h}^{-1}$ ), respecto del tipo de suelo (franco arenoso), para el cálculo del Diámetro Húmedo ( $m$ ), se definió por la ecuación  $DH = 1,2 + 0,10q$  que se explica de mejor manera en la metodología.

El porcentaje de humedecimiento viene a ser el área humedecida, respecto del área del cultivo o marco de plantación.

A continuación se muestra el porcentaje de humedad total y diámetro húmedo descrito por los emisores, asumiendo un tiempo de riego de tres horas y emisores entre  $2$  a  $14 \text{ l h}^{-1}$ , en cada caso.

Cuadro 14. Porcentaje de suelo humedecido para un tiempo de 3 horas de riego a diferentes caudales.

| Caudal del emisor | Diam. Mojado | No. Emisores | A mojada x 1 emisor | Área mojada por emisores | % Suelo mojado |
|-------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------------------|----------------|
| $\text{l h}^{-1}$ | $m$          | No.          | $M^2$               | $m^2$                    | %              |
| 2                 | 1,4          | 10           | 1,54                | 15,39                    | 96             |
| 3                 | 1,5          | 7            | 1,77                | 12,37                    | 77             |
| 4                 | 1,6          | 5            | 2,01                | 10,05                    | 63             |
| 6                 | 1,8          | 5            | 2,54                | 12,72                    | 80             |
| 8                 | 2            | 3            | 3,14                | 9,42                     | 59             |
| 12                | 2,4          | 2            | 4,52                | 9,05                     | 57             |
| 14                | 2,6          | 2            | 5,31                | 10,62                    | 66             |

Del cuadro 14 se observa que para un tiempo de riego de tres horas, un adecuado porcentaje de humedecimiento se obtiene con 3 emisores con un caudal nominal de 8



$\text{l h}^{-1}$ , determinado un valor de 59% de área humedecida respecto al área de cultivo, valor bastante aceptable para este tipo de cultivo.

Tomando en consideración el criterio de humedecimiento para un cultivo adulto, que debe estar entre 30 a 60%, se determina que el gotero que emite 8 l/h se encuentra dentro de un porcentaje ideal. A la postre se realizó el análisis económico, es decir cuál es el emisor que menor costo fijo (CF) o costo variable (CV), representa.

Cuadro 15. Consideraciones generales para la selección del gotero óptimo económico.

| Características del diseño de riego |          |                                       |
|-------------------------------------|----------|---------------------------------------|
| Cantidad de agua por árbol          | 54,08    | $\text{l planta}^{-1}\text{día}^{-1}$ |
| Número de emisores por planta       | 3        | Unidad $\text{planta}^{-1}$           |
| Número de Planta por hectárea       | 693      | Unidades                              |
| Tasa de interés                     | 12       | %                                     |
| Tasa de interés de energía          | 13       | %                                     |
| Vida útil                           | 8        | años                                  |
| Costo de instalación por gotero     | 0,083    | \$                                    |
| Energía Utilizada                   | gasolina |                                       |
| Potencia de la energía              | 2,8      | $\text{HP h}^{-1}\text{l}^{-1}$       |
| Costo de la energía                 | 0,397    | $\text{\$l}^{-1}$                     |
| Caudal del emisor                   | 8        | $\text{l h}^{-1}$                     |
| Número de hora a regar              | 3        | horas                                 |
| Diámetro húmedo                     | 2        | m                                     |
| Área humedecimiento 3 emisores      | 6        | $\text{m}^2$                          |
| Porcentaje de humedecimiento        | 59       | %                                     |

Los goteros seleccionados para ser evaluados se detallan en el cuadro 16, donde se caracteriza cada uno con su respectivo costo, caudal, presión, horas de operación al año, número de goteros por planta, y total de goteros por hectárea.

Como se observa el cuadro número 14 se determinó que el menor número de goteros necesarios para cubrir las demandas hídricas del cultivo fue el que emite 8 litros por hora, con un riego de tres horas por día y desde allí se considera cuál es el más económico.

Finalmente en los Cuadros 16 y 17 se determina el gotero óptimo económico bajo los criterios enunciados en el Cuadro 14.

Cuadro 16. Características de los goteros elegidos para la selección optima-económica

| Nombre de gotero | Marca   | Tipo           | Q<br>l h <sup>-1</sup> | P<br>m.c.a. | No. Horas<br>día<br>h | % de<br>suelo<br>húmedo<br>% | No. Horas<br>al año de<br>trabajo<br>h | No. Got.<br>Plan.<br>Unidades | No. Got.<br>Ha<br>Unidades |
|------------------|---------|----------------|------------------------|-------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| PCJ-LCNL         | Netafim | Autocompensado | 2                      | 10          | 3                     | 96                           | 1095                                   | 10                            | 6925                       |
| Idrop            | Irritec | Autocompensado | 4                      | 10          | 4                     | 38                           | 1460                                   | 5                             | 3463                       |
| PCJ-LCNL         | Netafim | Autocompensado | 4                      | 10          | 4                     | 50                           | 1460                                   | 5                             | 3463                       |
| PCJ-LCNL         | Netafim | Autocompensado | 8                      | 10          | 4                     | 39                           | 1460                                   | 2                             | 1385                       |
| PCJ-LCNL         | Netafim | Autocompensado | 8                      | 10          | 3                     | 59                           | 1095                                   | 3                             | 2078                       |
| PTC              | AGRIFIM | Autocompensado | 8                      | 10          | 3                     | 59                           | 1095                                   | 3                             | 2078                       |
| PC               | Irritec | Autocompensado | 8                      | 10          | 3                     | 59                           | 1095                                   | 3                             | 2078                       |
| PCJ-LCNL         | Netafim | Autocompensado | 12                     | 10          | 3                     | 57                           | 1095                                   | 2                             | 1385                       |

Dónde Q es el caudal, P es la presión de trabajo, m.c.a. es la unidad de presión que expresa metros de columna de agua de presión, Auto compensado emite un caudal constante independientemente de la presión de trabajo.

Cuadro 17. Evaluación optima-económica de goteros para cultivo de Cacao (*Theobroma cacao*) CCN-51

| Nombre de<br>gotero | Q<br>l h <sup>-1</sup> | Horas<br>día<br>h | FRC   | Costos (\$ US) |            | CF<br>\$ US | FCE <sub>(e,i,n)</sub><br>\$ US | CAEE<br>\$ US | CV<br>\$ US | CT<br>\$ US |
|---------------------|------------------------|-------------------|-------|----------------|------------|-------------|---------------------------------|---------------|-------------|-------------|
|                     |                        |                   |       | Cost,Uni.      | Cost. Tot. |             |                                 |               |             |             |
|                     |                        |                   |       | Emisor         | Emis.      |             |                                 |               |             |             |
| PCJ-LCNL            | 2                      | 3                 | 0,201 | 0,18           | 1 246,54   | 367,06      | 1,09                            | 242,27        | 91,38       | 458,44      |
| Idrop               | 4                      | 4                 | 0,201 | 0,18           | 623,27     | 183,53      | 1,09                            | 323,03        | 121,84      | 305,37      |
| PCJ-LCNL            | 4                      | 4                 | 0,201 | 0,18           | 623,27     | 183,53      | 1,09                            | 323,03        | 121,84      | 305,37      |
| PCJ-LCNL            | 8                      | 4                 | 0,201 | 0,2            | 277,01     | 78,99       | 1,09                            | 323,03        | 97,48       | 176,46      |
| PCJ-LCNL            | 8                      | 3                 | 0,201 | 0,2            | 415,51     | 118,48      | 1,09                            | 242,27        | 109,66      | 228,14      |
| PTC                 | 8                      | 3                 | 0,201 | 0,18           | 373,96     | 110,12      | 1,09                            | 242,27        | 109,66      | 219,78      |
| PC                  | 8                      | 3                 | 0,201 | 0,19           | 394,74     | 114,30      | 1,09                            | 242,27        | 109,66      | 223,96      |
| PCJ-LCNL            | 12                     | 3                 | 0,201 | 0,2            | 277,01     | 78,99       | 1,09                            | 242,27        | 109,66      | 188,65      |

Dónde: Q es caudal, FRC es factor de recuperación de capital, CF costos fijos, FCE factor de costo equivalente de energía anualizado, CAEE es el costo anual equivalente a la energía, CV costos variables y CT cotos totales.

En el cuadro 16 se puede observar que para regar con 3 goteros por planta se requieren de 2 078 goteros por hectárea considerando una densidad de 693 plantas ha<sup>-1</sup>, los goteros utilizados para realizar el riego son los tipo auto compensados, en este cuadro se ha puesto a consideración varias opciones para evaluar cuál es la más adecuada desde el punto de vista económico y de funcionamiento.

Del cuadro 17 se desprende que el emisor que menor costo total anual representa, corresponde al gotero de botón PTC, de la marca AGRIFIM, arrojando un valor de costo fijo (CF) de \$110,12 ha<sup>-1</sup>, un costo variable (CV) de \$109,66ha<sup>-1</sup>, determinado un costo total(CT) anual de \$219,78 ha<sup>-1</sup>. El gotero PTC verde es autocompensado, es decir que emite un caudal constante de 8 l h<sup>-1</sup> independientemente de la presión de trabajo; requisito básico es tener en el lateral una presión de 8 metros de columna de agua en los goteros autocompensados. Sin embargo el emisor autocompensado PCJ-LCNL de NETAFIM tiene un mejor funcionamiento y vida útil respecto al anterior, y tiene escasamente una diferencia de apenas \$ 8,36 por hectárea, por lo que se optó escoger este último para el diseño hidráulico del sistema de riego.

#### **4.3.2. Diseño de la Subunidad de goteo**

El diseño de la subunidad incluye el cálculo de los parámetros hidráulicos de la red de riego, es decir el caudal de riego por lateral, caudal en la tubería secundaria y caudal en el auxiliar; así también los diámetros hidráulicos de las tuberías indicadas. En el diseño del lateral se ha considerado un caudal de 24 l h<sup>-1</sup>, que corresponde a 3

goteros con un caudal nominal de  $8 \text{ l h}^{-1}$ , por cada planta. Los parámetros de diseño se resumen a continuación:

Cuadro 18. Parámetros de diseño de la subunidad de riego

| Parámetro                                  |                      |
|--------------------------------------------|----------------------|
| Caudal del emisor                          | 8 $\text{l h}^{-1}$  |
| No. Emisores por árbol                     | 3 Unidades           |
| Caudal por árbol                           | 24 $\text{l h}^{-1}$ |
| Presión de trabajo del emisor              | 20 m.c.a.            |
| Tolerancia de presión en subunidad (20% e) | 4 m.c.a.             |
| Espaciamiento de emisores                  | 1 m                  |
| Espaciamiento de laterales                 | 3,61 m               |

Los parámetros consignados en el cuadro 17, se ingresaron en la hoja de cálculo de Excel “Diseño de Riego por goteo” y se obtuvieron los siguientes resultados.

#### **4.3.2.1. Características de la tubería lateral (diámetro, longitud, caudal, pérdidas de carga, presión de entrada, presión del último emisor).**

Con fines de diseño, al tener un tipo de subunidad no rectangular (trapezoidal), estas se han subdividido en 2 sectores (A y B), con criterios hidráulicos similares, dando un total de 4, cada una con un área aproximada a 0,53 ha, las que se regaran 3 horas por día, simultáneamente. Las pérdidas de carga se determinaron de acuerdo con la ecuación de Darcy-Weisbach (Ver mapa de diseño hidráulico adjunto en el anexo 9)

Cuadro 19. Cálculo hidráulico de los laterales críticos de cada subunidad de riego

| <i>Tramo</i> | <i>DE</i>   | <i>Long.</i> | <i>Q. lateral</i>                     | <i>Re</i> | <i>f</i> | <i>J</i>        | <i>Hp</i>       | <i>Presión<br/>Entrada</i> | <i>Pre. Ultimo<br/>Emisor.</i> |
|--------------|-------------|--------------|---------------------------------------|-----------|----------|-----------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
|              | <i>(mm)</i> | <i>(m)</i>   | <i>(m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</i> |           |          | <i>(m.c.a.)</i> | <i>(m.c.a.)</i> | <i>(m.c.a.)</i>            | <i>(m.c.a.)</i>                |
| A1-1         | 16          | 11,97        | 0,00001                               | 1226,6    | 0,052    | 0,0015          | 0,0060          | 20,00                      | 20,00                          |
| A1-2         | 16          | 70,37        | 0,00011                               | 10425,9   | 0,032    | 0,0671          | 1,8843          | 21,16                      | 19,78                          |
| A2-1         | 16          | 63,28        | 0,00010                               | 9199,3    | 0,033    | 0,0539          | 1,3403          | 19,76                      | 20,91                          |
| A2-2         | 16          | 71,57        | 0,00011                               | 10425,9   | 0,032    | 0,0671          | 1,8843          | 20,91                      | 20,03                          |
| B1-1         | 16          | 22,62        | 0,00003                               | 3066,4    | 0,043    | 0,0079          | 0,0692          | 19,55                      | 20,48                          |
| B1-2         | 16          | 78,23        | 0,00013                               | 11652,5   | 0,031    | 0,0816          | 2,5514          | 18,91                      | 22,36                          |
| B2-1         | 16          | 10,86        | 0,00001                               | 1226,6    | 0,052    | 0,0015          | 0,0060          | 19,50                      | 20,50                          |
| B2-2         | 16          | 80,29        | 0,00013                               | 12265,7   | 0,030    | 0,0892          | 2,9344          | 21,20                      | 20,27                          |

Dónde: DE es Diámetro externo de la tubería, Q caudal, Re número de Reynolds, f factor de fricción de Darcyn, J actor de salidas múltiples, Hp Pérdidas de carga por longitud y rozamiento.

En el cuadro 19 se puede observar las diferentes sub unidades del módulo A y B, diseñándose 2 por cada módulo de riego (A1, A2, B1, B2). Al tener subunidades con geometría distinta, es decir rectangulares y trapezoidales, en el cálculo de los laterales, se consideró el lateral crítico (mayor longitud), así mismo el más pequeño.

Los valores obtenidos de caudal en los laterales son la base de cálculo para dimensionar las tuberías terciarias, además las pérdidas de carga por longitud y rozamiento ( $H_p$ ) son adecuadas para el diseño no son superiores al admisible que es de 3 m.c.a.

#### **4.3.2.2. Características de la tubería terciaria (diámetro, longitud, pérdidas de carga, caudal).**

En el cálculo de la tubería terciaria se tomó en cuenta el número de laterales totales, y se ubicó esta tubería en la parte central de cada módulo.



Cuadro 20. Cálculo Hidráulico de la tubería Terciaria

| Subunidad | DE   | Long.  | Q. Terciari                       | Re      | f     | J        | Sf  | F <sub>sm</sub> | Hp       | H. Max.  |
|-----------|------|--------|-----------------------------------|---------|-------|----------|-----|-----------------|----------|----------|
|           | (mm) | (m)    | (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) |         |       | (m.c.a.) |     |                 | (m.c.a.) | (m.c.a.) |
| A1        | 63   | 92,25  | 0,00165                           | 35311,7 | 0,023 | 0,0072   | 2   | 0,587           | 0,3894   | 21,21    |
| A2        | 63   | 77,74  | 0,00235                           | 50322,7 | 0,021 | 0,0134   | 1   | 0,387           | 0,4021   | 20,96    |
| B1        | 63   | 65,94  | 0,00152                           | 32595,4 | 0,024 | 0,0063   | 1,5 | 0,487           | 0,2007   | 20,69    |
| B2        | 63   | 112,36 | 0,00235                           | 50322,7 | 0,021 | 0,0134   | 2   | 0,583           | 0,8755   | 21,19    |

Dónde: DE es Diámetro externo de la tubería, Q caudal, Re número de Reynolds, f factor de fricción de Darcyn, J factor de salidas múltiples, Sf factor de forma de la subunidad, Ffactor dependiendo del número de salidas de la subunidad, Hp Pérdidas de carga por longitud y rozamiento.

Los valores obtenidos del caudal en las tuberías terciarias son la base de cálculo para dimensionar las tuberías secundarias, además las pérdidas de carga por longitud y rozamiento ( $H_p$ ) son adecuadas para el diseño no son superiores al admisible que es de 1m.c.a., lo cual aplica para el cálculo del siguiente parámetros a evaluar el cual es la presión máxima ( $H_{max}$ ).

#### **4.3.2.3. Características de la tubería secundaria (diámetro, longitud, pérdidas de carga, caudal).**

Cuando el caudal a alimentar es muy elevado (laterales largos o muchos emisores para una superficie dada) es mejor alimentar el modulo por el punto medio para reducir los diámetros de la instalación. El proceso de cálculo es el mismo que en los otros casos, se considera cada tramo por separado, siendo ambas ramas como simétricas e idénticas, lo que permite calcular sólo una de ellas. En este caso el auxiliar o secundario en el punto de alimentación debe tener la presión calculada y el doble de caudal para distribuir a dos derivaciones, y ambos ramales tienen las mismas dimensiones.

A continuación se muestran las características hidráulicas de los secundarios

Cuadro 21. Cálculo Hidráulico de la tubería secundaria

| Subunidad | DE<br>(mm) | Long.<br>(m) | Q.<br>Secundaria<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | Re      | f     | J<br>(m.c.a.) | Hp<br>(m.c.a.) | H. Max.<br>(m.c.a.) | Vel. Lateral<br>(m/s) |
|-----------|------------|--------------|-------------------------------------------------------|---------|-------|---------------|----------------|---------------------|-----------------------|
| A1        | 75         | 47,4         | 0,00329                                               | 59219,5 | 0,021 | 0,0105        | 0,3221         | 21,70               | 0,86                  |
| A2        | 75         | 47,4         | 0,00235                                               | 42196,9 | 0,022 | 0,0058        | 0,2742         | 21,42               | 0,62                  |
| B1        | 75         | 9,6          | 0,00152                                               | 27332,1 | 0,025 | 0,0027        | 0,0259         | 20,71               | 0,41                  |
| B2        | 75         | 50,6         | 0,00235                                               | 42196,9 | 0,022 | 0,0058        | 0,2930         | 21,16               | 0,62                  |

Dónde: DE es Diámetro externo de la tubería, Q caudal, Re número de Reynolds, f factor de fricción de Darcyn, J factor de salidas múltiples, Sfactor de forma de la subunidad, Ffactor dependiendo del número de salidas de la subunidad, Hp Pérdidas de carga por longitud y rozamiento.

Al igual que el anterior cuadro, los valores obtenidos del caudal en las tuberías secundaria son la base de cálculo para dimensionar las tuberías secundarias, además las pérdidas de carga por longitud y rozamiento ( $H_p$ ) son adecuadas para el diseño no son superiores al admisible que es de 1 m.c.a., lo cual aplica para el cálculo del siguiente parámetros a evaluar el cual es la presión máxima ( $H_{max}$ ). El valor obtenido de ( $H_{max}$ ) nos ayudaran al cálculo de la tubería matriz.

#### **4.3.2.4. Pérdidas de carga en la tubería matriz**

El cálculo hidráulico de la tubería matriz, incluyo las pérdidas de carga con el caudal y longitud desde la bomba hasta cada módulo o cada secundaria. Este procedimiento es importante, porque permite determinar a ciencia cierta cuál es la subunidad más demandante en caudal y presión para poder establecer las condiciones de la bomba (caudal y perdida de carga). Las pérdidas de carga se obtuvieron de forma similar, con la ecuación de Darcy-Weisbach.

Cuadro 22. Cálculo Hidráulico de la tubería matriz

| Modulo | Área  | DE   | Long.  | Q matriz                          | Re       | f     | J        | Hp       | H. Máx   | Vel. Tub. Matriz     |
|--------|-------|------|--------|-----------------------------------|----------|-------|----------|----------|----------|----------------------|
|        |       | (mm) | (m)    | (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) |          |       | (m.c.a.) | (m.c.a.) | (m.c.a.) | (m s <sup>-1</sup> ) |
| A      | 10661 | 90   | 186,18 | 0,0066                            | 98839,2  | 0,018 | 0,015    | 1,8053   | 29,55    | 1,16                 |
| B      | 10753 | 90   | 143,00 | 0,0077                            | 116046,1 | 0,017 | 0,020    | 1,8362   | 28,04    | 1,35                 |

Dónde: DE es Diámetro externo de la tubería, Q caudal, Re número de Reynolds, f factor de fricción de Darcyn, J factor de salidas múltiples, Hp Pérdidas de carga por longitud y rozamiento.

En el Cuadro 22 se observa que el caudal mayor corresponde a la subunidad B, con un valor de  $0,0077 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , así mismo la subunidad que mayor presión de trabajo demandando corresponde a la subunidad A, con un valor de 29,55 m.c.a. Con el criterio de no exceder la velocidad permisible de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ , se llegó a encontrar el diámetro hidráulico de 90 mm (PVC-Clase 6), con una longitud de 186,18 m. Hay que resaltar que el terreno no es uniforme y mantiene un cierto nivel de pendiente, con un valor aproximado del 15%.

Cuadro 23. Resumen de pérdidas singulares, Hacc

| Modulo | Succión y descarga<br>m.c.a. | Tubería Secundaria<br>m.c.a. | Tubería. Terciaria<br>m.c.a. | Lateral<br>m.c.a. | Cabecal<br>m.c.a. | Total Hacc<br>m.c.a. |
|--------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| A      | 0,927                        | 1,223                        | 0,008                        | 0,081             | 3,2               | 5,438                |
| B      | 1,278                        | 1,316                        | 0,008                        | 0,136             | 3,2               | 5,937                |

La mayor pérdida de carga por singularidad (Hacc) se registra en la subunidad B, con un valor de 5,94 m.c.a., y la menor, en el módulo A con un valor de 5,44 m.c.a.

El análisis del HDT (altura dinámica total) y del caudal Q, para la selección del equipo de bombeo, ha considerado el análisis para cada módulo de riego, determinando los siguientes resultados:

Cuadro 24. Cálculo del HDT y caudal para la determinación de la potencia de la bomba

| Modulo | Caudal            | P. ent | Hp             | Hp             | Hp        | Hp            | Hacc   | $\Delta$ Topografía | H.     | HDT    | Pot.  |
|--------|-------------------|--------|----------------|----------------|-----------|---------------|--------|---------------------|--------|--------|-------|
|        |                   |        | (lat. Crítico) | (tub. Secund.) | (tub.aux) | (tub. Matriz) |        | $\pm$               | Succ   | Total  | Bomba |
|        | $\text{l s}^{-1}$ | m.c.a. | m.c.a.         | m.c.a.         | m.c.a.    | m.c.a.        | m.c.a. | (m)                 | m.c.a. | m.c.a. | HP    |
| A      | 6,59              | 21,16  | 1,88           | 0,40           | 0,3221    | 1,81          | 5,44   | 13                  | 2,00   | 46,02  | 7,12  |
| B      | 7,73              | 21,20  | 2,93           | 0,88           | 0,2930    | 1,84          | 5,94   | 11                  | 2,00   | 46,08  | 8,37  |

Dónde: Hp es perdida de carga, Hacc son las pérdidas por singularidades (debido a los accesorios de riego), H suc es la altura de succión de la bomba, HDT es la altura dinámica total, m.c.a. (metros de columna de agua), HP es la abreviatura en ingles de caballos de fuerza.

Del cuadro 24 se puede destacar que el mayor gasto o caudal ocurre en el módulo B, con un valor de  $7,73 \text{ l s}^{-1}$ , así mismo, se aprecia que es correspondiente con el mayor HDT observado, determinando un valor de 46,08 m.c.a.; con estos valores se obtiene una potencia en bomba de 8,37 HP.

El valor encontrado de 8,37 HP, se aproxima a 9 HP, ya que comercialmente es más fácil encontrar un equipo de bombeo de este nivel de potencia.

#### **4.3.2.5. Selección de la bomba y cálculo del NPSH**

Con los datos calculados, HDT de 46,08 y un caudal de  $7,73 \text{ l s}^{-1}$  ( $\approx 28 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ), se escoge la bomba que mejor se ajuste a las condiciones de diseño. Haciendo una revisión de los catálogos comerciales, se ha optado por una bomba eléctrica trifásica Pedrollo (Anexo 3), pero se debe hacer una comparación con los requerimientos en caudal, HDT y potencia del sistema de riego por microaspersión.

Para el cálculo del NPSHA se toman criterios que se describen a continuación.

El NPSHA abreviado en inglés es la altura neta de succión positiva es decir la cantidad de energía requerida para mover el agua dentro del impulsor y necesaria para que dicha bomba no sufra el fenómeno de cavitación. Para evitar el fenómeno de cavitación el fabricante debe proporcionar el NPSHR y se debe determinar la altura neta de succión positiva disponible (NPSHA) y esta debe ser mayor que el NPSHR.



### **Altura teórica de succión**

En el Congoma donde se encuentra el predio en estudio se encuentra a una altura aproximada de 360 m sobre el nivel del mar, por lo tanto, interpolando los de los datos de la tabla 4 que se incluye en la metodología, se obtiene una altura teórica de succión de 9,7 m.

### **Presión de vapor**

En la época de mayor demanda hídrica se tiene una temperatura promedio de 32 °C; del cuadro 5 que se incluye en la metodología, se determina que la presión de vapor para la zona de estudio equivale a 0,43.

### **Pérdidas por fricción en la tubería de aspiración**

Para el cálculo de  $H_p$  (pérdidas por fricción en la tubería de aspiración) de la tubería de succión se ha considerado un tubo de diámetro hidráulico de (90 mm), con una longitud de 2 m, determinando un valor de **0,12 m.c.a.** En general, para las bombas centrifugas se admite una altura máxima de succión entre 5 y 7 m, en base a lo señalado se adopta un valor de **5 m**. A continuación se resume el cuadro siguiente, con el cálculo del NPSHA

Cuadro 25. Parámetros para determinar el NPSHA de la bomba.

| Datos para NPSH                               | m.c.a.                           |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|
| Altura teórica de succión                     | 9,7                              |
| Carga estática de succión                     | 5                                |
| Perdida por fricción en tubería de aspiración | 0,12                             |
| Presión de vapor del líquido (T 30°C)         | 0,43                             |
| NPSH                                          | $9,7 - (5 + 0,12 + 0,43) = 4,35$ |

#### 4.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION.

Por petición del propietario y con fin de obtener una referencia sobre la aplicación de riego por aspersión en el cacao se decidió diseñar un área aproximadamente de una hectárea con riego por aspersión de donde se obtuvieron los siguientes resultados.

##### 4.4.1. Determinación de la velocidad de infiltración.

Cuadro 26. Resultados de Velocidad de infiltración. Calicata 1.

| Resultados                                      |                          |
|-------------------------------------------------|--------------------------|
| Velocidad de infiltración $I_v$ (mm/min)=       | $4,86 \times t^{-0,27}$  |
| Velocidad de infiltración $I_v$ (mm/hora)=      | $291,6 \times t^{-0,27}$ |
| Tiempo básico $T_b$ =                           | 162                      |
| Velocidad de infiltración básico VIB (mm/hora)= | 73,9                     |

#### 4.4.2. Selección de microaspersor.

El microaspersor escogido fue el mini Wobblerde de la marca Senninger con boquilla dorada cuyos datos técnicos se describen a continuación o se pueden observar en la hoja técnica del anexo 7.

|                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| Número de boquillas            | = 1                      |
| Color de boquilla              | = dorada                 |
| Diámetro de toberas            | = #6 [2,38 mm]           |
| Presión ideal de trabajo       | = (2,0bar)               |
| Diámetro húmedo (a 0,5 m alt)= | 11,3, m                  |
| Radio de alcance               | = 5,65, m                |
| Caudal (1 toberas)             | = 0,08 l s <sup>-1</sup> |

El microaspersor mini Wobblerde produce una emisión tipo de llovizna en forma de 100arabólica con gotas muy finas que no producen daño en las hojas flores de las plantas por lo que este aspersor se recomienda para el uso en viveros y plantaciones de ornamentales y frutales donde no se quiere dañar las flores de las plantas.

#### 4.4.3. Diseño de la subunidad de microaspersión

Cuadro 27. Parámetros de diseño de riego por microaspersión.

| Característica de diseño                                                  | valor   | Unidad             |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|
| Etc                                                                       | 3,37    | mm                 |
| Capacidad de Campo                                                        | 32,09   | %                  |
| Punto de Marchitez Permanente                                             | 18,42   | %                  |
| Densidad aparente del suelo                                               | 0,82    | g cm <sup>-3</sup> |
| Profundidad                                                               | 400     | mm                 |
| Criterio de Riego (Fracción agotamiento) FAO.                             | 30      | %                  |
| Lámina Aprovechable $LA = \frac{CC - PMP}{100} \times Da \times Pr$       | 44,8    | mm                 |
| Lámina de Riego $LR = \frac{CC - PMP}{100} \times Da \times Pr \times CR$ | 13,4    | mm                 |
| Lámina Bruta                                                              | 13,7    | mm                 |
| Frecuencia de Riego $Fr = \frac{LR}{ETc}$                                 | 3,8 = 4 | días               |
| Distancia entre emisores $Se = D * 0.75$                                  | 8,0     | m                  |
| Distancia entre Laterales $Sl = Se / 2 * \tan 60$                         | 6,9     | m                  |
| Superficie de riego por emisor $S = Se * Sl$                              | 55,2    | m <sup>2</sup>     |
| Intensidad de precipitación $Ip = 3600 * Qe(l/s) / S(m2)$                 | 5,22    | mm h <sup>-1</sup> |
| Tiempo de Riego $Tr = Lb / Ip$                                            | 2,6     | h                  |

Los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente se tomaron a partir de los promedios de los puntos muestreados en el área destinada para la microaspersión módulos (C, D).

La disposición de los microaspersores es triangular donde la distancia entre emisores es de 8 m x 8m en triángulo. La pluviometría o intensidad de precipitación del aspersor es de 5,0 mm h<sup>-1</sup>, si se la compara con la VIB básica del suelo que es del orden de 70 mm h<sup>-1</sup>, se concluye que el aspersor se ajusta bien a las condiciones de

diseño, es decir que la precipitación no supera a la cantidad de agua que puede admitir el suelo en la unidad de tiempo.

#### 4.4.3.1. Características de la tubería lateral (diámetro, longitud, caudal, pérdidas de carga, presión de entrada, presión del último emisor).

La tubería lateral es la destinada a sostener los emisores y es por donde el agua circula con mayor velocidad siendo la velocidad máxima de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ , fuera de esta no se recomienda el diseño, ya que puede afectar las tuberías por la onda de velocidad (golpe de ariete). Al tener subunidades con geometría distinta, es decir rectangulares y trapezoidales, en el cálculo de los laterales, se considero el lateral crítico (mayor longitud), así mismo el más pequeño.

Cuadro 28. Cálculo hidráulico de los laterales críticos de cada subunidad de riego.

| Tramo | DE   | C   | Long. | Q.Asp                           | J        | Hp       | H.       | Vel.                  | H. ulti. |
|-------|------|-----|-------|---------------------------------|----------|----------|----------|-----------------------|----------|
|       |      |     |       |                                 |          |          | Entrada  | Lat                   | Asp.     |
|       | (mm) |     | (m)   | ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) | (m.c.a.) | (m.c.a.) | (m.c.a.) | ( $\text{m s}^{-1}$ ) | (m.c.a.) |
| C1-1  | 40   | 150 | 52,44 | 0,29                            | 0,013    | 0,2954   | 20,47    | 0,62                  | 20,18    |
| C1-2  | 40   | 150 | 93,48 | 0,29                            | 0,036    | 1,3121   | 15,48    | 1,05                  | 25,67    |
| D1-1  | 40   | 150 | 55,55 | 0,29                            | 0,013    | 0,2954   | 24,22    | 0,62                  | 16,43    |
| D1-2  | 40   | 150 | 88,92 | 0,29                            | 0,031    | 1,0300   | 21,77    | 0,97                  | 19,24    |

Dónde: DE es Diámetro externo de la tubería, Q caudal, J factor de salidas múltiples, Hp Pérdidas de carga por longitud y rozamiento, H es la presión, m.c.a. metros de columna de agua.

Para determinar el diámetro de la tubería a utilizar, se consideró las pérdidas de carga por longitud y rozamiento  $H_p$ , cuidando siempre que esta no exceda de las pérdidas de carga admisibles; para el caso de las laterales corresponden al 20% de la presión de trabajo del aspersor (20 m.c.a.), siendo en el presente proyecto de 4 m.c.a. En la tubería secundaria se admitió el criterio del 15% de la presión de operación del aspersor, siendo esta de 3 m.c.a. Tanto en el lateral como en la tubería secundaria el diámetro interno corresponde a tubería de PVC.

**4.4.3.2. Características de la tubería terciaria y la secundaria (diámetro, longitud, caudal, pérdidas de carga, presión de entrada, presión del último emisor).**

Cuadro. 29. Cálculo Hidráulico de la tubería terciaria

| Modulo | DE   | DI   | C   | Long. | No. Lat. | Q. Secun.                         | Hp       | $\Delta H$ admisible | H. Max.  |
|--------|------|------|-----|-------|----------|-----------------------------------|----------|----------------------|----------|
|        | (mm) | (mm) |     | (m)   |          | (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | (m.c.a.) | (m.c.a.)             | (m.c.a.) |
| C      | 5    | 70,6 | 150 | 56,41 | 9,17     | 0,0071                            | 1,815    | 3,00                 | 17,08    |
| D      | 75   | 70,6 | 150 | 55,66 | 9,07     | 0,0068                            | 1,652    | 3,00                 | 32,02    |

Dónde: DE es Diámetro externo de la tubería, DI Diámetro interno, C Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams (depende del material, tabla 3), Q caudal, Hp Pérdidas de carga por longitud y rozamiento, m.c.a. metros de columna de agua..

Cuadro. 30. Cálculo Hidráulico de la tubería secundaria

| Modulo | DE   | C   | Long. | Q. Subunid.                       | H.secun | H. Máx   | Vel. Tub. Secun      |
|--------|------|-----|-------|-----------------------------------|---------|----------|----------------------|
|        | (mm) |     | (m)   | (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) |         | (m.c.a.) | (m s <sup>-1</sup> ) |
| C      | 75   | 150 | 75.36 | 0.00712                           | 29.53   | 38.80    | 1.78                 |
| D      | 75   | 150 | 71.73 | 0.00680                           | 29.03   | 38.01    | 1.70                 |

Dónde: DE es Diámetro externo de la tubería, C Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams (tabla 3), Q caudal.

En el cuadro 29 se puede destacar que el modulo con mayor demanda de agua es el modulo C con  $0,00712 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , por lo que se tomó a este como base para los siguientes cálculos en las tuberías secundarias.

Observando el cuadro 30 se observa que la velocidad en la tubería no supera los  $2 \text{ m s}^{-1}$ , lo que es adecuado para el diseño.

#### 4.4.3.3. Pérdidas de carga en la tubería matriz

Cuadro. 31. Cálculo Hidráulico de la matriz

| Modulo | DE   | C   | Long. | Q. Subunid.                     | J        | Hp       | H. Máx   | Vel. Tub.             |
|--------|------|-----|-------|---------------------------------|----------|----------|----------|-----------------------|
|        | (mm) |     | (m)   | ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | (m.c.a.) | (m.c.a.) | (m.c.a.) | ( $\text{m s}^{-1}$ ) |
| C      | 90   | 150 | 161   | 0,00712                         | 0,016    | 2,5560   | 38,45    | 1,21                  |
| D      | 90   | 150 | 161   | 0,00680                         | 0,015    | 2,3473   | 37,79    | 1,16                  |

Dónde: DE es Diámetro externo de la tubería, Q caudal, J factor de salidas múltiples, Hp Pérdidas de carga por longitud y rozamiento, C Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams (tabla 3), m.c.a. metros de columna de agua.

En el cuadro 31 se observa que el caudal mayor corresponde a la subunidad C, con un valor de  $0,00712 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , así mismo la subunidad que mayor presión de trabajo admite es la C, con un valor de 38,45 m.c.a. Con el criterio de no exceder la velocidad permisible de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ , se llegó a encontrar el diámetro hidráulico de 86,4 mm (90 mm exterior) en tubería de PVC, clase 4, con una longitud de 161 m. Hay que resaltar



que el terreno no es uniforme en pendiente, dando un valor aproximado del 20% de pendiente.

#### 4.4.3.4. Pérdidas de carga por singularidad en cada sector

Las pérdidas de carga incluyeron los accesorios instalados a nivel de la estación de bombeo, pasando por la tubería secundaria, concluyendo con el lateral, las perdidas singulares para la tubería secundaria con sus respectivas laterales, se calcularon para cada módulo de riego, no así la estación de bombeo, que es igual en todos los casos.

A continuación se resumen las pérdidas singulares encontradas para cada módulo de riego.

Cuadro 32. Resumen de pérdidas singulares, Hacc

| Modulo | Succ, des.<br>Tm<br>m.c.a | Tubería<br>secundaria<br>m.c.a | Tubería<br>Terciaria<br>m.c.a | Lateral<br>m.c.a | Cabezal<br>riego<br>m.c.a | TOTAL<br>m.c.a |
|--------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|----------------|
| C      | 4,407                     | 1,378                          | 0,051                         | 0,025            | 2,2                       | 8,06           |
| D      | 4,019                     | 1,378                          | 0,051                         | 0,025            | 2,2                       | 7,67           |

La mayor pérdida de carga por singularidad se registra en el módulo de riego C, con un valor de 8,06 m.c.a, y la menor, en el módulo D con un valor de 7,67 m.c.a.; este último se ubica más próximo a la bomba.

#### **4.4.3.5. Altura dinámica total, caudal del equipo de bombeo y cálculo de potencia de bomba.**

Para el cálculo de la altura dinámica total (HDT), se consideró todas las pérdidas de carga (presión), registradas desde la bomba, hasta el microaspersor más crítico.

El análisis del HDT y del caudal (Q), para la selección del equipo, ha considerado el análisis para cada módulo de riego, determinando los siguientes resultados:

Cuadro 33. Cálculo del HDT y caudal para la determinación de la potencia de la bomba

| Mod | Caudal            | P. ent | Hp (lat.<br>Crítico) | Hp (tub. Sec.) | Hp (tub.<br>Ter.) | Hp (tub. Mat) | Hacc   | $\Delta\text{Top} \pm$ | H. Succ | HDT    | Pot.<br>Bomba |
|-----|-------------------|--------|----------------------|----------------|-------------------|---------------|--------|------------------------|---------|--------|---------------|
|     | $\text{l s}^{-1}$ | m.c.a. | m.c.a.               | m.c.a.         | m.c.a.            | m.c.a.        | m.c.a. | (m)                    | m.c.a.  | m.c.a. | HP            |
| C   | 7,12              | 29,60  | 0,08                 | 3,03           | 1,82              | 3,03          | 8,06   | 13                     | 2,00    | 60,61  | 10,14         |
| D   | 6,80              | 29,09  | 0,08                 | 2,65           | 1,65              | 2,65          | 7,67   | 13                     | 2,00    | 58,79  | 9,39          |

Dónde: P presión, Hp Pérdidas de carga por longitud y rozamiento, m.c.a. metros de columna de agua, Hacc pérdida de carga por singularidad,  $\Delta\text{Top} \pm$  diferencia de topografía, HDT altura dinámica total, HP caballos de fuerza.

Del cuadro 33 se desprende que el mayor gasto o caudal ocurre en el módulo C, con un valor de  $7,12 \text{ l s}^{-1}$  ( $25635 \text{ l h}^{-1}$ ;  $25,64 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) así mismo, se aprecia que es correspondiente con el mayor HDT observado, determinando un valor de 60,61 m.c.a.; con estos valores se obtiene una potencia en bomba de 10,14 HP.

#### 4.5. SELECCIÓN DE BOMBA Y CÁLCULO DE NPSH

Comparando los resultados de potencia de bomba requeridos para los módulos de goteo (cuadro 24), se observa que estos son inferiores al requerido por los módulos de micro aspersión, por lo que se establece que la potencia de bomba necesaria que se utilizara es la del módulo C.

La bomba escogida para el trabajo es la Pedrollo F40/250C de 12,5Hp, debido a que es la que más se aproxima al requerimiento de  $25,64 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  y un valor de 60,61 m.c.a. para la HDT. Cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo 4 tomadas de la página 89 del catálogo de pedrollo.

Cuadro 34. Características de la bomba

| DETALLE  | VALOR                             |
|----------|-----------------------------------|
| Marca    | PEDROLLO                          |
| Modelo   | F40/250C                          |
| Rodete   | Ø 160                             |
| NPSH     | 3,5 m                             |
| Potencia | 12,5 HP                           |
| Caudal   | $25,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ |
| HDT      | 61 m.c.a                          |

#### 4.5.1. Cálculo del NPSH altura neta de succión positiva.

El valor del NPSH calculado anteriormente es el mismo que se utilizara en el sector de riego por microaspersión por lo que su valor es de 4,35 m.c.a. (cuadro 19).

El valor del NPSHA obtenido es de 4,35 m.c.a., mayor al NPSHR de la bomba suministrada por el fabricante (3,5 m.c.a.), en tal sentido la bomba cumple con las condiciones de diseño.

#### 4.6. CÁLCULO DE FILTRADO

Cuadro 35. Características y Cálculo del filtrado

| Característica del filtrado                                      |      |                                          |
|------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------|
| Caudal del sistema, $Q_s$                                        | 25,6 | $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$               |
| Área de flujo de gotero, $A$                                     | 2,00 | $\text{mm}^2$                            |
| Diámetro de flujo de gotero $D_g = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$ | 1,59 | mm                                       |
| Diámetro del poro filtrante $D_p = \frac{D_g}{8}$                | 0,19 | mm                                       |
| Tipo de material filtrante                                       | 11   | Granito #                                |
| Caudal específico, $Q_e$ Anexo 4                                 | 48   | $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{m}^{-2}$ |
| Área de filtrado $A_f = \frac{Q_s}{Q_e}$                         | 0,53 | $\text{m}^2$                             |
| Número de filtros Anexo 4                                        | 2    | uni                                      |
| Diámetro de filtros Anexo 4                                      | 61   | cm                                       |

El filtro de grava escogido para el proyecto fue el Odis modelo 4243 cuyo diámetro es de 60 cm con una capacidad de filtrado de 24  $\text{m}^3/\text{h}$ . Anexo 4.

#### 4.7. PRESUPUESTO DE ACCESORIOS Y MATERIALES

Cuadro 36. Costos considerados en laterales de riego por goteo

| Detalle                                    | Uni.    | Cant. | Costo Uni.<br>(\$US) | Costo Tot.<br>(\$US) |
|--------------------------------------------|---------|-------|----------------------|----------------------|
| Gotero autocom PCJ-LNCL 8l h <sup>-1</sup> | Goteros | 3981  | 0,2                  | 796,2                |
| Manguera ciega de 16mm                     | U.      | 5691  | 0,21                 | 1195,11              |
| Goma para head conector 16 mm              | U.      | 197   | 0,17                 | 33,49                |
| Head Conector 16mm                         | U.      | 197   | 0,08                 | 15,76                |
| SUB TOTAL                                  |         |       |                      | 2 024,8              |

Cuadro 37. Costos considerados los terciarios de riego por goteo.

| Detalle                                   | Uni. | Cant. | Costo Uni.<br>(\$US) | Costo Tot.<br>(\$US) |
|-------------------------------------------|------|-------|----------------------|----------------------|
| Tubo pvc 63mm clase 6 de 6 metros         | U.   | 59    | 10,74                | 633,66               |
| Codo de pvc de 90° 63 mm                  | U.   | 6     | 2,35                 | 14,10                |
| Tapón pegable de pvc 63 mm                | U.   | 6     | 1,78                 | 10,68                |
| Válvula esférica pegable de 63 mm         | U.   | 4     | 8,21                 | 32,84                |
| Válvula de Aire de 1''                    | U.   | 4     | 31,00                | 124,00               |
| Collarín de 63 mm                         | U.   | 4     | 4,50                 | 18,00                |
| Reducción de pvc 75x63 mm                 | U.   | 4     | 1,87                 | 7,48                 |
| Tee pvc 63 mm                             | U.   | 2     | 3,36                 | 6,72                 |
| Filtro de anillos de 63 mm de 120 mesh    | U.   | 4     | 166,00               | 664,00               |
| Adaptador roscable a pegable pvc de 63 mm | U.   | 8     | 1,66                 | 13,28                |
| SUB TOTAL                                 |      |       |                      | 1524,76              |

Cuadro 38. Costos considerados en secundarios de riego por goteo.

| Detalle                            | Uni. | Cant. | Costo Uni.<br>(\$US) | Costo Tot.<br>(\$US) |
|------------------------------------|------|-------|----------------------|----------------------|
| Tubo PVC 75 mm clase 6 de 6 metros | U.   | 19    | 11,88                | 225,72               |
| Codo de PVC de 90° 75 mm           | U.   | 5     | 3,38                 | 16,9                 |
| Tee PVC 75 mm                      | U.   | 1     | 4,46                 | 4,46                 |
| Reducción PVC 90x75 mm             | U.   | 3     | 3,95                 | 11,85                |
| SUB TOTAL                          |      |       |                      | 258,93               |

Cuadro 39. Costos globales de riego por goteo

| Detalle            | Costo Tot. (\$US) |
|--------------------|-------------------|
| Costos laterales   | 2024,8            |
| Costos terciarias  | 1524,76           |
| Costos secundarias | 258,93            |
| TOTAL              | 3808,49           |

Cuadro 40. Costos considerados en laterales de riego por microaspersión

| Detalle                             | Uni. | Cant. | Costo Uni.<br>(\$US) | Costo Tot.<br>(\$US) |
|-------------------------------------|------|-------|----------------------|----------------------|
| Tubo PVC 40 mm clase 6 de 6 metros  | U.   | 238   | 5,37                 | 1278,06              |
| Tapón de PVC 40 mm                  | U.   | 40    | 0,43                 | 17,20                |
| Reductor PVC 75mm 40 mm             | U.   | 40    | 1,55                 | 62,00                |
| Mini Wobbler boquilla dorada        | U.   | 174   | 4,15                 | 722,10               |
| Porta aspersor (adaptador elevador) | U.   | 174   | 0,95                 | 165,30               |
| Manguera PE de 12 mm                | m    | 174   | 1,10                 | 191,40               |
| Goma para head conector 12 mm       | U.   | 174   | 0,26                 | 45,24                |
| Head Conector 12mm                  | U.   | 174   | 0,13                 | 22,62                |
| Soporte de tubería rígida           | U.   | 174   | 1,25                 | 217,50               |
| SUB TOTAL                           |      |       |                      | 2721,42              |

Cuadro 41. Costos considerados en terciarios de riego por microaspersión.

| Detalle                            | Uni. | Cant. | Costo Uni.<br>(\$US) | Costo Tot.<br>(\$US) |
|------------------------------------|------|-------|----------------------|----------------------|
| Tubo PVC 75 mm clase 6 de 6 metros | U.   | 23.00 | 15,81                | 363,63               |
| Tapón pegable de PVC 40 mm         | U.   | 4.00  | 4,08                 | 16,32                |
| Tee PVC 75 mm                      | U.   | 2.00  | 4,46                 | 8,92                 |
| Reductor PVC 75 x 50 mm            | U.   | 4.00  | 1,55                 | 6,20                 |
| Buje reductor de 50 x 40 mm        | U.   | 4.00  | 0,74                 | 2,96                 |
| TOTAL                              |      |       |                      | 398,03               |

Cuadro 42. Costos considerados en secundarios de riego microaspersión.

| Detalle                                   | Uni. | Cant. | Costo Uni.<br>(\$US) | Costo Tot.<br>(\$US) |
|-------------------------------------------|------|-------|----------------------|----------------------|
| Tubo PVC 75 mm clase 6 de 6 metros        | U.   | 20    | 15,81                | 316,20               |
| Codo de PVC de 90° 75 mm                  | U.   | 5     | 2,83                 | 14,15                |
| Válvula esférica pegable de 75 mm         | U.   | 2     | 16,50                | 33,00                |
| Válvula de Aire de 1''                    | U.   | 2     | 31,00                | 62,00                |
| Adaptador roscable a pegable PVC de 75 mm | U.   | 4     | 2,31                 | 9,24                 |
| Bushing reductor de 3'' a 1''             | U.   | 2     | 1,25                 | 2,50                 |
| Tee roscable de 75 mm                     | U.   | 2     | 3,50                 | 7,00                 |
| Filtro de anillos de 3'' de 120 mesh      | U.   | 2     | 166,00               | 332,00               |
| TOTAL                                     |      |       |                      | 776,09               |

Cuadro 43. Costos globales de riego por microaspersión

| Detalle            | Costo Tot. (\$US) |
|--------------------|-------------------|
| Costos laterales   | 2721,42           |
| Costos terciarias  | 398,03            |
| Costos secundarias | 776,09            |
| TOTAL              | 3895,54           |



Cuadro 44. Costo considerado en la tubería matriz

| Detalle                            | Uni. | Cant. | Costo Uni.<br>(\$US) | Costo Tot.<br>(\$US) |
|------------------------------------|------|-------|----------------------|----------------------|
| Tubo PVC 90 mm clase 6 de 6 metros | U.   | 31    | 17,5                 | 542,5                |
| Codo de PVC de 90° 90 mm           | U.   | 2     | 5,42                 | 10,84                |
| Tee PVC 90 mm                      | U.   | 3     | 9,94                 | 29,82                |
| SUB TOTAL                          |      |       |                      | 583,16               |

Cuadro 45. Costo considerado en cabezal de control de goteo y microaspersión

| Detalle                                                 | Uni. | Cant. | Costo Uni.<br>(\$US) | Costo Tot.<br>(\$US) |
|---------------------------------------------------------|------|-------|----------------------|----------------------|
| Bomba Pedrollo F40/250C                                 | U.   | 1     | 1257,43              | 1257,43              |
| Codo PVC 90° 90 mm                                      | U.   | 4     | 5,42                 | 21,68                |
| Válvula Bola 90 mm                                      | U.   | 1     | 31,15                | 31,15                |
| Válvula Check 90 mm                                     | U.   | 1     | 125,5                | 125,50               |
| Tubería PVC x 90 mm                                     | U.   | 3     | 17,5                 | 52,5                 |
| Universal PVC 90 mm                                     | U.   | 3     | 46                   | 138                  |
| Manómetro de 0 a 6 bar                                  | U.   | 2     | 42,00                | 84,00                |
| Collarín 90 mm x 1''                                    | U.   | 3     | 6,81                 | 20,43                |
| Válvula de Aire de 1''                                  | U.   | 1     | 31,00                | 31,00                |
| Válvula de pie de 3.5''                                 | U.   | 1     | 166,00               | 166,00               |
| Filtro de (granito molido # 11) de<br>24''m de diámetro | U.   | 2     | 300,00               | 600,00               |
| Filtro de Anillos horizontal 63mm                       | U.   | 2     | 75,00                | 150,00               |
| SUB TOTAL                                               |      |       |                      | 2677,69              |

Cuadro 46. Resumen de Costos

| Detalle                                     | Costo Total<br>(\$US) |
|---------------------------------------------|-----------------------|
| Costos globales de riego por goteo          | 3808,49               |
| Costos globales de riego por microaspersión | 3895,54               |
| Costo considerado en la tubería matriz      | 583,16                |
| Costos en el cabezal de control             | 2677,69               |
| Tablero                                     | 250,00                |
| Cableado                                    | 150,00                |
| Mano de Obra                                | 1200,00               |
| Diseño                                      | 700,00                |
| Transporte                                  | 300,00                |
| TOTAL                                       | 13565,00              |

Son: trece mil quinientos sesenta y cinco, dólares.

Separando los costos de los dos sistemas, se ha dividido para el área de proyecto (31 208 m<sup>2</sup>) el costo del cabezal de riego, la tubería matriz y otros costos varios (mano de obra, transporte diseño, cableados y tablero), obteniendo que el costo por hectárea es de \$ US 4 239,06. Aclarando que los materiales que se están presupuestando son los de mejor calidad en el mercado, además se está utilizando goteros autocompensados los cuales tienen mejores prestaciones que los goteros comunes.

Cuadro 47. Calculo de ingreso y egreso operacional

| Detalle                         | Preoperat | Año 1   | Año 2  | Año 3  | Año 4  | Año 5  | Año 6    | Año 7    | Año 8    | TOTAL   |
|---------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|---------|
| 1. Ingresos Operacionales       |           |         |        |        |        |        |          |          |          |         |
| Ventas                          | 0         | 0       | 8575   | 11235  | 12208  | 12432  | 16758    | 18270    | 19320    |         |
| Subtotal                        | 0         | 0       | 8575   | 11235  | 12208  | 12432  | 16758    | 18270    | 19320    | 98798,0 |
| 2. Egresos Operacionales        |           |         |        |        |        |        |          |          |          |         |
| Costo directo de producción     | 0         | 3720    | 3780   | 3790   | 4183   | 4669   | 4935     | 4970     | 4990     |         |
| Costo indirecto de producción   | 0         | 3400,8  | 3420,8 | 3430,8 | 3460,8 | 3460,8 | 5072,15  | 5072,15  | 5072,15  |         |
| Gasto de administración y venta | 0         | 958     | 958    | 958    | 958    | 958    | 958      | 958      | 958      |         |
| Subtotal                        | 0         | 8078,8  | 8158,8 | 8178,8 | 8601,8 | 9087,8 | 10965,15 | 11000,15 | 11020,15 | 75091,5 |
| 3. Flujo operacional (1-2)      |           | -8078,8 | 416,2  | 3056,2 | 3606,2 | 3344,2 | 5792,85  | 7269,85  | 8299,85  |         |

Para hallar el valor de la relación beneficio costo del proyecto se dividió la sumatoria de ingresos operacionales esperados para la sumatoria de egresos operacionales, dando un valor de 1,32 lo que implica que los ingresos son mayores que los egresos, es decir que el proyecto es viable.

## **CAPÍTULO V.**

### **CONCLUSIONES.**

Los valores de los principales parámetros climáticos, promedio desde 1964 al 2009 de la estación Puerto Ila, determinaron las siguientes condiciones del clima en el área del proyecto: Temperatura máxima 31,97 °C, temperatura mínima 18,99 °C, humedad relativa 88,67%, velocidad del viento 105 km día<sup>-1</sup>, heliofanía 1,88 horas día<sup>-1</sup>, precipitación total anual 2 877,4 mm. Eto promedio 2,79 mm día<sup>-1</sup>.

Se identificó en la finca 3 áreas definidas, donde se realizaron los análisis físicos y químicos de suelo con fines de riego: Punto 1 correspondiente a la parte plana 1,61 ha (48,49%); punto 2 1,14 ha (34,34%) de superficies inclinadas; punto 3 con 0,57 ha (17,16%) áreas inclinadas en la parte posterior de la finca.

La mayor parte de los suelos tienen condiciones favorables para el riego; buena profundidad efectiva, ausencia de erosión y alta velocidad de infiltración, factores propicios para el desarrollo del cacao. Existen limitantes, debido a la pendiente en los suelos de los puntos 2 y 3.

Se diseñaron cuatro módulos identificados como A, B, C, D., (A, B) se establecieron para el diseño de goteo, mientras que (C, D) por sus condiciones de falta de homogeneidad en la siembra, distancias de siembra diferentes y asociación del cultivo con Borojo y la Pimienta se optó por diseñar con riego por microaspersión.

En base a los datos del INAMHI desde 1964 al 2009, queda constatado que los meses de mayor evapotranspiración son marzo con 3,21 mm, abril con 3,11 y febrero con 2,98mm, dato que fue indispensable en el diseño para determinar las necesidades de riego del cultivo (ETc) siendo este de 3,37 mm día<sup>-1</sup>.

El volumen diario de agua que requiere una planta adulta de cacao es de 54,08 l, para los meses de julio a octubre.

El caudal de agua requerido para el sistema de riego en cada módulo fue: área de goteo módulos A y B 6,59 y 7,73 l s<sup>-1</sup>, respectivamente; mientras que el área de micro aspersión módulos C y D 7,12 y 6,80 l s<sup>-1</sup>.

La altura dinámica total (HDT) se determinó con 60,61 metros de columna de agua (m.c.a.) y un caudal de bombeo de 25,6 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

Los diámetros calculados de las tuberías de los módulos de goteo A y B son de 63 mm para las terciarias, 75 mm para la secundaria. Mientras que en la microaspersión módulos C y D los diámetros fueron de 75mm en terciarias y secundarias respectivamente. Ambos sistemas de riego comparten una tubería matriz de 90 mm de diámetro hidráulico.

En el filtrado se estableció como punto de cálculo el modulo que tenga mayor demanda de caudal siendo este el modulo A con 7,73 l s<sup>-1</sup> (27,83 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) determinando el empleo de 2 filtros de diámetro de 24 pulgadas con granito molido # 11 para realizar

el filtrado en el cabezal de control. En los cabezales de distribución de los sistemas de goteo y microaspersión para el filtrado se consideró un filtro de anillos de 120 mesh.

En el cálculo de la potencia de la bomba para el sistema de goteo se determinó que el Modulo A demanda mayor potencia, 8,37 HP, en tanto que la potencia requerida para el sector de microaspersión sector C es de 10,14 HP. siendo mayor a la requerida para el área de goteo; se tomó como la potencia de bombeo requerida en el área de proyecto en cada uno de los módulos de riego.

El costo total de implementación de los sistemas de riego por goteo y microaspersión en el cultivo de cacao es de \$ 13 565 para 3,12 has es decir \$ 4 239,06 por hectárea de riego, acotando que los equipos y materiales considerados son de primera calidad.

## **CAPÍTULO VI.**

### **RECOMENDACIONES**

El requerimiento de agua en el sistema de riego por goteo por árbol puede solventarse con 3 emisores de  $8 \text{ l h}^{-1}$  regando durante tres horas diarias. Se recomienda usar el gotero PCJ-LCNL por su calidad y precio.

Incorporar el uso del fertiriego en las actividades de manejo del cultivo, como una forma de elevar la eficiencia del sistema de riego y la aplicación de fertilizantes, para la planta, como ya se ha visto con la aplicación de biol en el cultivo de cacao. Equipamiento que costaría alrededor de \$ 250.

Analizando la relación costo beneficio se recomienda implementar el sistema de riego por goteo y microaspersión debido a que los ingresos son superiores que los egresos, el proyecto es viable. Realizar estudios de la variabilidad en el costo beneficio luego de la instalación del sistema de riego frente a la explotación tradicional.

Realizar estudios comparativos de respuesta de la planta frente a láminas de riego empleando sistemas de riego por goteo y microaspersión, para valorar sus ventajas y desventajas en los rendimientos del cultivo.

Recomiendo considerar este trabajo como referencia, para establecer instalaciones en mayores extensiones, puesto que los costos por hectárea se diluyen alrededor de los \$ 2000/ha si la superficie es mayor.

## **CAPÍTULO VII.**

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, T. y Villarroel. (2009). *Clasificación Agrológica de suelos con fines de uso agrícola y aptitud para el riego de la Finca “Ernesto Molestina”*.(Tesis de Ingeniería) Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de ciencias de la vida. Santo Domingo, Ecuador.
- Amores, F. y Agama, J. (2006). *Programa Nacional de Cacao y Café, Rendimiento de cacao seco por Hectárea en la localidad del Valle de Patere – Esmeraldas con 19 meses de observación*. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quevedo- Ecuador.
- ANECACAO, (2003). *Boletín técnico de Cacao: Sombra y podas en cacao nacional fino y de aroma*. Guayaquil-Ecuador.
- ANECACAO. (2009). *“Origen del cacao en el Ecuador”* Recuperado de <<http://anecacao.com/spanish/HistoriaCacao.aspx>>
- Bermeo, M.&Toala, G. (2008). *Diseño de un Sistema de Riego por Microaspersión y su Aplicación en el Cultivo de Cacao Variedad CCN-51*. (Tesis de Ingeniería). Universidad Técnica de Manabí. Porto Viejo Ecuador.
- CATIE. (2008). Centro Agronómico tropical de investigación y Enseñanza.
- CORPEI (2008). *Seminario Nacional sobre avances tecnológicos, agroindustriales y comerciales del cacao fino y aroma*. Manta.
- Crespo, E & Crespo, F. (1997). *Cultivo y beneficio del Cacao CCN51*. Quito Ecuador. Editorial El Conejo.



Fernández, J. (2000). *Enciclopedia Práctica de Agricultura y Ganadería*. Barcelona España: Editorial Océano S.A.

FAO, (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma Italia.

FAO, (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma Italia.

Fuentes, J.L. (2003). *Técnicas de Riego*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Cuarta Edición. Mundi Prensa. Madrid España.

Gonzales, J. (2009). *La comercialización del cacao*. Quito Ecuador: Editorial Graphus.

Granda, S. (2006). *Manual de Riegos y Drenajes*. Santo Domingo Ecuador.

GEOSOPORT. (2007). *Estudios Geotécnicos en el ámbito de la Ingeniería. Estudios de permeabilidad del suelo*. Recuperado de <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/pagina-ejemplo/>

Holzapfel, E., Lopez, R. Matta, y J.P. Joublan p. (2001) *Efecto del agua y fertirrigación en el desarrollo y producción de naranjos cv. Thompson navel*. Agricultura Técnica.

INEC, (2002) *III Censo Nacional Agropecuario. Resultados Nacionales*. INEC. Proyecto SICA. Quito, Ecuador.

ICCO, (2003). Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas CATIE. Programa de enseñanza para el desarrollo y la conservación. Escuela de postgrado. *Caracterización de árboles superiores de cacao (**Theobroma cacao**)*. Costa Rica.

INIAP. (1993). *Manual del cultivo de cacao Corregida y Aumentada*. Quevedo, Ecuador: Editorial INIAP.

INIAP. (1997). *Germoplasma existente en las estaciones de INIAP Pichilingue*. Quevedo Ecuador: Editorial INIAP.

IPNI. (2002). *International Plan Nutrition Institute. Requerimientos nutricionales de Cacao*. Recuperado de <http://www.ipni.net/article/IPNI-3231>

Jara et al. (2005). *Bombas de regadío. U de C, Fac. de Ingeniería Agrícola*. Chillan Chile.

Jaramillo, D. (2002). *Ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Medellin Colombia.

Karmeli, D., Peri, G.; Todes, M. (1985=). *Irrigation Systems: Design and operation*. Oxford University Press. Cape Town, England.

MAG. 2001. *Cultivo del Cacao. Programa nacional del cacao*. Quito Ecuador.

Martinez, R. (2010). *Riego presurizado Riego localizado*. Recuperado de: <<http://www.rregar.com/index.php?/201006171558/riego-por-aspersion/riego-presurizado-riego>>

MILIARIUM. (2006). *Ingenieria Civil y Medio Ambiente. Pérdidas de Carga en Tuberías*. Recuperado de <<http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>>

Neall, V. 2010. *Suelos volcánicos. Volumen VII*. Institute of Natural Resources, Massey University, Palmerston North, New Zealand.

Perez, R. (2009). *La calidad del cacao*. Quito Ecuador: Editorial Graphus

Pizarro, F. (1990). *Riego localizado de alta frecuencia*. Madrid España: Editorial Mundi Prensa.

- Rivas, A.(2006). Guía para el establecimiento de plantaciones de cacao, Ministerio del Ambiente Republica del Ecuador,
- Romero, J & Proaño, J. (2008). *Evaluación del efecto del riego por goteo y microaspersión en la productividad del cacao CCN-51 en un suelo Ustifluventtipic en la zona Chongon – Península de Santa Elena*. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Agraria del Ecuador.
- Seoáñez, M. (1999). *Contaminación del suelo: Estudios, tratamiento y gestión*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid España.
- Sierra, R. (1999). Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia . (R. Sierra, Ed.) Quito, Ecuador.
- Vera, J. 1993. Material de siembra y propagación. In manual del cultivo de cacao, “2da edición. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, p. 24-37.
- Zazueta, P. 1992. Micro Irrigación. ICFA Internacional. Mexico DF, Mexicopp 24-78.
- UNALM. 2004. Universidad Nacional Agraria la Molina. Clase III La Infiltracion. Curso IA – 4026 curso de hidrología. La Molina-Perú. P 8-12
- WIKIPEDIA. (2013). *Dinámica del agua en el suelo*. Recuperado de. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad\\_de\\_campo](http://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_de_campo)>